

**AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI**

*Əlyazması hüququnda*

**HETEROGEN MAYE HİDRODİNAMİKASINDA SƏRHƏD  
QATLARDA YARANAN EFFEKTLƏRİN TƏDQIQI**

İxtisas: 2003.01 -Maye, qaz və plazma mexanikası

Elm sahəsi: Mexanika

İddiaçı: **Pərviz Tofiq oğlu Müseyibli**

Fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi  
almaq üçün təqdim edilmiş dissertasiyanın

**AVTOREFERATI**

**Bakı – 2021**

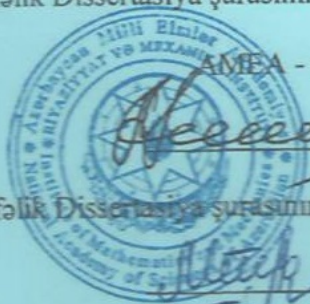
Dissertasiya işi Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Riyaziyyat və Mexanika İnstitutunun "Maye və qaz mexanikası" şöbəsində yerinə yetirilmişdir.

Elmi rəhbər: AMEA-nın müxbir üzvü, texnika elmləri doktoru  
**Qeyrani Minhac oğlu Pənahov**

Rəsmi opponentlər: AMEA - nın müxbir üzvü, t.e.d., professor  
**Qərib İsaq oğlu Calalov**  
fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor  
**Asəf Dağbəyi oğlu Zamanov**  
fizika-riyaziyyat elmləri namizədi, dosent  
**Müsrəddin Musa oğlu Tağıyev**

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Riyaziyyat və Mexanika İnstitutunun nəzdində fəaliyyət göstərən BFD 3.04 birdəfəlik dissertasiya şurası

Birdəfəlik Dissertasiya şurasının sədri:



AMEA - nın müxbir üzvü, f – r.e.d., professor

**Misir Cumail oğlu Mərdanov**

Birdəfəlik Dissertasiya şurasının elmi katibi: f – r.e.n., dosent

**Məhsəti Akif qızı Rüstəмова**

Elmi seminarın sədri:

t.e.d., professor

**Xanlar Mehvəli oğlu Həmzəyev**

## **İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI**

### **Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi.**

Azərbaycan Respublikası yanacaq kompleksində neftin və qazın xüsusi çəkisinin xeyli artdığı bir zamanda onların səmərəli istismarının təmin edilməsi və etibarlı nəqlinin həyata keçirilməsi vacib məsələlərdən sayıla bilər.

Digər tərəfdən, yataqların istismarında əldə olunan bütün karbohidrogenlər heterogenliyi ilə seçildiyindən, layihə səviyyəsində effektivliyi saxlamaq üçün burada əmələ gələn çətin texnoloji problemləri dəqiqləşdirmək və tənzimləmək lazım olur.

Maye qarışıqlarının birgə axınlarında yaranan təzahürlərin mürəkkəbliyi, tək fazalı sistemlərlə müqayisədə əhəmiyyətli dərəcədə fərqlənir. Problem, onların lazımı qədər öyrənilməməsi ilə bağlıdır. Sənaye sahələrinin normal işləməsini təmin etmək üçün bütün əlaqədar problemlər kompleks şəkildə həll edilməlidir.

Əlaqəli qanunauyğunluqları bilmədən, nəql sistemlərində və axınlarda gedən texnoloji proseslərin əsaslı layihələndirilməsi mümkün deyil.

Burada borularla maye-qaz qarışıqlarının axınlarını xarakterizə edən əsas hidrodinamik parametrlərinin dəyişilməsi qanunlarının tədqiq edilməsi xüsusi əhəmiyyət kəsb edir.

Son zamanlarda qaz – maye axın və süzülmələrində aparılan tədqiqatlar göstərmişdir ki, hətta az sərfdə belə iki fazalı axın ilə bir fazalı axın arasında əhəmiyyətli dərəcədə fərq var. Bunların birgə axınlarında, sərhəd qatlarda sisteməlik tədqiqatlar aparılmamışdır.

Qarışıqların axınlarında effektivliyin təmin edilməsi hidrodinamik göstəricilərdə əsas amillərdəndir.

Bu və digər parametrlərin tənzimlənməsi və nəzarətdə saxlanması axın rejimlərinin vəziyyəti ilə əlaqədar məsələlərin həllini təmin edir.

Sənaye sahələrində istifadə olunan qaz maye qarışıqları çox vaxt dispers sistemlər şəklində olur.

Belə sistemlərdə müxtəlif mühitlərdə zamandan asılı olaraq faza sərhədlərində sərhəd qatlarda dəyişilmələr baş verir ki, bunlar da, öz növbəsində qarşılıqlı təsirlər yaradaraq ayrı-ayrı fazaların,

axınlarında sürət qradiyentlərinin, təzyiq və temperatur dəyişilmələrinin yaranmasına, qaz - maye sistemlərində istilik axın mübadilələrinə və mühitdə müxtəlif paylanmalara gətirib çıxardır.

Digər tərəfdən bir çox hallarda qaz qabarcıqları olan axınlar maye təbəqələri ilə xarakterizə olunurlar. Belə təbəqələrdə olan qaz axınları müxtəlif maye təbəqələri ilə qarışa bilir. Kifayət qədər yüksək axın sürətində, təbəqənin səthində dalğalar yaranır.

Dispers sistemlər şəklində olan qaz-maye qarışıqlarının əsas xüsusiyyətlərdən biri də, mühitdə zamana görə dəyişən faza qatının yaranmasıdır. Bütün bu yaranmalar qaz-maye sistemlərində istilik və kütlə mübadilə proseslərinə təsir göstərərək onların mühitdə paylanmasını, intensivləşdirməsi və dayandırmasını tənzimləyə bilər. Bu istiqamətdə bir çox tədqiqatçıların, o cümlədən A.X. Mirzəcanzadə, R.İ. Niqmatulin, R.N. Baxtizin, V.Ye. Gubin, İ.M. Ametov, R.M. Səttarov, A.Q. Qumerov, Q.M. Pənahov, Q.İ. Calalov, Ə.X. Şahverdiyev, M.M. Hasanov və başqalarının işlərini qeyd etmək olar.

Qabarcıqlı axın rejimində, qaz fazasının ölçüləri sistemin xarakterik ölçülərindən daha kiçik olub, fərdi olaraq mayədə yayılır. Belə rejim axının tərkibində az sayda qaz qarışıqları olduqda baş verir. Bunlar öz növbəsində mühitdə birləşib qaz topa şəklində yığılaraq, borunun oxu boyunca periodik rəqsi hərəkəti ilə xarakterizə olunurlar.

Digər axın halında mayedən ayrılan böyük qaz qabarcıqları bir-birindən müəyyən məsafədə yerləşər və araları dispersiya şəklində xırda qabarcıqlarla dolu olan qarışıqlardan ibarət olar.

Bu halda, qaz fazasının sürətinin dəyişməsi və müvafiq olaraq, xaotik hərəkət etməsi onların toqquşmasına gətirir. Qabarcıqların birləşməsi şəraitində onların ölçülərində artım müşahidə olunur ki, bu da borularda ən kəsiyin radiusu ilə müqayisə oluna biləcək qədər ola bilər.

Bu istiqamətlərə A.X. Mirzəcanzadə, R.İ. Niqmatulin, R.Y. Əmənzadə, F.B. Nağıyev, İ.O. Protodyakonov, Van Wijk, S.İ. Ştralan və s. tədqiqatçılar öz işlərində daha geniş yer vermişlər.

Qaz qabarcıqlarının əmələ gəlməsi və böyüməsi halları müxtəlif şəraitdə bəzi qanunauyğunluqlarla olur. Burada yaranan

qanunauyğunluqların tədqiqi dissertasiya işində öz əksini tapmış, qaz ayrılmalarında bəzi xüsusiyyətlər modelləşdirmiş və fiziki mexanizmlər açıqlanmışdır.

Dissertasiya işində həll olunan bu və ya digər məsələlər axın və süzülmələrdə yaranan çətinliklərin araşdırılması və bunların tənzimləmə yollarının axtarılması istiqamətində həllərin daha ətraflı tədqiq olunaraq düzgün qərarların qəbul edilməsi səbəbindən aktualdır.

**Tədqiqatın obyekt və predmeti.** Heterogen maye hidrodinamikasında sərhəd qatlarında yaranan effektlər və onların hidrodinamik parametrlərə təsirlərinin tədqiqi.

**Tədqiqatın məqsəd və vəzifələri.** İşin məqsədi heterogen maye axınlarında sərhəd qatlarda yaranan daxili təsirlərin hidrodinamik parametrlərdə rolunun tədqiqindən ibarətdir.

**Tədqiqat metodları.** Qoyulmuş məsələlərin həlli nəzəri və təcrübi yolla modellərin qurulması, axın və süzülmə üzrə faktiki istismar göstəricilərinin emalı, riyazi statistika və proqram vasitələrindən istifadə edilməklə həyata keçirilmişdir.

#### **Müdafiyə çıxarılan əsas müddəalar.**

Heterogen maye axınlarında sərhəd qatlarda yaranan elektrokinetik proseslərin bu sistemlərin hidrodinamikasında rolunun tədqiqi.

Sərhəd qatlarda yaranan elektrokinetik proseslərin qaz əmələgəlmə dinamikası, hidrozərbə, qeyri-xətti dalğaların yayılmasına və qarışıqların axınlarına təsirlərinin tədqiqi.

Süzülmə və axınlarda qeyri-tarazlıq hallar, onların tənzimlənmə üsulları, qarışıqlarda pulsasiyalı axın və elektrokinetik məsələlərin tədqiqi.

**Tədqiqatın elmi yenilikləri.** Tədqiqatların elmi yenilikləri aşağıdakılardan ibarətdir:

1. Elastiki yarımsonsuz borularla ikifazlı özlü qabarcıqlı mayələrin pulsasiyalı axınlarında sıxlıq amplitudunun, dalğanın yayılma sürətinin və qarışıqın sürətinin qabarcıqların həcmi konsentrasiyasından asılılıq dərəcəsi qiymətləndirilmişdir.
2. İlk dəfə qaz – maye qarışıqlarının axınlarında elektrokinetik parametrlərin qaz yaranma dinamikasına təsirinin olduğu göstərilmiş,

sistemin elektrikkeçiriciliyinin artması ilə qabarcıq radiusunun genişlənməsi arasında tərs mütənəsbibliyin varlığı tapılmışdır.

3. Qaz qabarcıqlı mayelərdə qeyri xətti dalğaların yayılmasına elektrokinetik prosesin təsiri nəzəri əsaslandırılmış, qurulan simulyasiya proqramı əsasında potensiallar fərqi artması ilə dalğa amplitudasında azalmanın olması əsaslandırılmışdır.

4. Mayelərdə qaz qabarcıqlarının yaranma dinamikasında hidrozərbə dalğaların yayılmasını nəzəri qiymətləndirərək, dalğa amplitudası və axında zərbə təsirlərini azaltmaq üçün mühitdə qabarcıqların müntəzəm genişləndirilməsi vacibliyi alınmışdır.

5. İlk dəfə axınlarda qabarcığın radiusunun dəyişilməsinin təzyiqlər fərqi ilə potensiallar fərqi asılı olaraq birgə tədqiq edilmiş, təzyiqlər fərqi müəyyən potensiallar fərqi ilə əvəz olunma mümkünlüyü tapılaraq qiymətləndirmələr aparılmışdır.

6. İkifazlı qarışıqların hidravliki xarakteristikalarına axında yaranan elektrik sahəsinin təsirinin riyazi modeli verilmiş, mayenin elektrikkeçiriciliyinin nəzərə alınması, boru divarında qarışığın sürüşmə sürətinin digər parametərə nisbətən daha böyük olduğu alınmışdır.

7. Məsələli mühitlərdə maye axınında elektrokinetik təsirlər tədqiq edilmiş, elektroözlülük və sürüşmə effektləri aşkar edilərək proses modelləşdirilmişdir.

**Tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti.** Baxılan məsələlər axın və süzülmələrin düzgün idarəsi üçün sərhəd qatlarda yaranan qeyri stasionar proseslər, qaz yaranma dinamikası, hidrozərbə və qeyri xətti dalğaların yayılmalarında əsas texnoloji parametrləri optimallaşdırdığından, bu cür hallar vaxtında sistemlərin hidrodinamikasında tənzimləmə imkanını artırır.

Belə təklif və üsulların axınlarda yarana bilən və indiyə kimi nəzərə alınmayan vacib elektrokinetik təsirlərin axtarılması istiqamətində geniş tədqiqatların aparılması və onların neftqazçıxarma, nəql proseslərində düzgün həllərə gətirdiyindən iş praktik cəhətdən əhəmiyyətlidir.

**Aprobasiyası və tətbiqi.** Dissertasiya işinin əsas elmi nəticələri mütəmadi olaraq AMEA Riyaziyyat və Mexanika İnstitutunun «Maye və qaz mexanikası» şöbəsinin elmi seminarında,

eləcə də Ufa Dövlət Texniki Neft Universitetində akademik A.X.Mirzəcanzadənin anadan olmasının 88-illiyinə həsr olunmuş beynəlxalq konfransında (2016), AMEA Riyaziyyat və Mexanika İnstitutunun «Maye və qaz mexanikası» söbəsində (2017-2020), “Riyaziyyatın nəzəri və tətbiqi problemləri” beynəlxalq elmi konfransında, (Sumqayıt, 2017), akademik Akif Hacıyevin 80 illiyinə həsr olunmuş “Riyaziyyat və Mexanikanın müasir problemləri” beynəlxalq konfransında (Bakı 2018), Tbilisi Dövlət Universitetinin 100 illiyinə həsr olunmuş, Gürcüstan Riyaziyyatçılar Cəmiyyətinin IX Beynəlxalq konfransında (Gürcüstan, 2018), akademik A.X.Mirzəcanzadənin 90 illik yubileyinə həsr olunmuş beynəlxalq elmi konfransında (Bakı, 2018), Riyaziyyat və Mexanika İnstitutunun 60 illiyinə həsr olunmuş “Riyaziyyat və Mexanikanın müasir problemləri” adlı beynəlxalq konfransında (Bakı, 2019) müzakirə edilmişdir.

**Müəllifin şəxsi töhfəsi.** İşdə bəzi məsələlərin qoyuluşu, istisna olmaqla bütünlüklə əsas həllərdə ifadələrin alınması eksperimentlərdə iştirakı, proqram tərtibatları və hesablamaların aparılması dissertasiya müəllifinə məxsusdur.

**Müəllifin nəşrləri.** Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında AAK–ın tövsiyə etdiyi nəşriyyatlarda 7 məqalə, 5 tezis nəşr olunmuşdur.

**Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilatın adı.** Dissertasiya işi AMEA Riyaziyyat və Mexanika İnstitutunun “Maye və qaz mexanikası” şöbəsində yerinə yetirilmişdir.

**Dissertasiyanın struktur bölmələrinin ayrılıqda həcmi qeyd olunmaqla dissertasiyanın işarə ilə ümumi həcmi** Dissertasiya işinin ümumi həcmi – 213947 işarədir (titul səhifəsi – 386 işarə, mündəricat – 2391 işarə, giriş 15070 işarə, birinci fəsil – 64000 işarə, ikinci fəsil – 50000 işarə, üçüncü fəsil – 80000 işarə, nəticə-2100 işarə). Dissertasiya işi 172 adda ədəbiyyat siyahısı və 30 şəkildən ibarətdir.

## İŞİN ƏSAS MƏZMUNU

Dissertasiyanın giriş hissəsində mövzunun aktuallığı, tədqiqatın məqsədi, elmi yeniliyi, nəzəri və praktiki əhəmiyyəti haqqında məlumatlar verilmiş və əsaslandırılmışdır.

Aparılan tədqiqatlar hidravliki parametrlərə təsir edən qaz qabarcıqları kimi ayrıca fazanın yaranmasına səbəb, ancaq xarici təsirlərdən və onların xarakterindən yox, həm də axın prosesində daxili struktur dəyişilməsi və sürtünmələrdən əmələ gələn elektrik potensialların nəticəsində olduğunu təsdiqləmişdir.

Burada qoyulan məsələlər qeyd olunan istiqamətdə nəzəri və praktiki aspektləri geniş açaraq, qaz yaranmalarının dinamikasında riyazi modelləşdirməni əks etdirmişdir.

Proses maye qarışığının sürtünməsindən yaranan potensiallar fərqi nəzərə almaqla bütün təsir parametrlərini özündə birləşdirən tənliklər sistemi şəklində yazılmışdır. Məsələnin həlli ədədi üsulla aparılaraq, proqram paketi ilə təchiz olunmuşdur.

Elastiki yarımsonsuz silindirik boruda axan qabarcıqlı mayenin döyüntülü axınlarında dalğaların yayılması və vacib sayılan sərhəd qatı effektlərinin yaranması məsələləri həll olunaraq, tənzimləmə parametrləri tapılmışdır.

Qabarcığın radiusunun təzyiqlər fərqli ilə potensiallar fərqi asılı olaraq dəyişilməsi birgə tədqiq edilərək bir – birini əvəz etmə mümkünlüyü tapılaraq qiymətləndirmələr aparılmış, qazlı özlü mayedən ibarət qarışıq ilə qazsız özlü maye axınlarının sərhəddində yaranan sürüşmə effektinin varlığını əsaslandıraraq riyazi ifadə alınmışdır.

Tədqiqatlar nəticəsində həmçinin kapilyarlarda potensiallar fərqi nəzərə alınması sürət profilində dəyişilmənin olduğu tapılaraq, simulyasiya proqramı ilə visual təsvirlər alınmışdır.

Aparılan tədqiqatlar hidrodinamika və dalğa dinamikasının qanunauyğunluqlarının araşdırılmasında və bir sıra tətbiq sahələrində o cümlədən hemodinamika, kimya mühəndisliyi, neft-qaz sənayesi və aviasiyada yaranan problemlərin həll edilməsində öz yerini tapacaqdır.



**Birinci fəsil** heterogen maye axınlarında qeyri–stasionar halların tədqiqlərinə həsr olunmuşdur.

**1.1**–də maye sistemlərində hidrodinamik dayanıqsızlıqlar araşdırılaraq, axın və süzülmələrdə uyğun qeyri – stasionar proseslər və onların tənzimlənmə məsələlərinin həlləri verilmişdir.

Son illərdə aparılan çoxsaylı araşdırmalar göstərmişdir ki, çoxkomponentli sistemlərin axınları bir sıra dayanıqsızlıqlarla müşayiət olunurlar.

Belə sistemlərin hidrodinamiki xüsusiyyətlərinin hesablanmalarında ənənəvi yanaşmada bir qayda olaraq, bütün təsirlər nəzərə alınmır. Məlum olduğu kimi yalnız bir amilin nəzərə alınmaması nəzəri və eksperimental nəticələr arasında əhəmiyyətli dərəcədə uyğunsuzluqlara gətirib çıxarır.

Qeyd etmək lazımdır ki, əlavə çoxlu amillərin təsirlərinin tədqiqi zamanı ilkin olaraq məlumatların qarışıqlığından və ölçü avadanlıqlarının olmamasından axın proseslərin xüsusiyyətlərini dəqiq müəyyən etmək mümkün olmur. Ona görə də bu, modellərdə tədqiqatların aparılması çətinləşmələrə və səhvlərin artmasına gətirib çıxarır. Bu baxımdan, son dövrdə deterministik üsullarla yanaşı, çoxkomponentli sistem modellərinin empirik üsullarla öyrənilməsinin vacibliyi öz əksini tapmışdır.

Model parametrlərinin əsaslandırılmış seçimi, bu mühitin hərəkətindən yaranan çətinliklərin əsas qanunauyğunluqlarını və onların müxtəlif komponentli sistemlərin hidrodinamik xüsusiyyətlərinə təsirinin öyrənilməsinə tələb edir. Belə problemlərin öyrənilməsi vacib və aktual olduğundan dissertasiya işində bu istiqamətə geniş yer ayrılmışdır.

Heterogen sistemlər axınların idarə edilməsi və optimallaşdırılmasında baş verən prosesləri düzgün təsvir edən modellərin seçimi ilə bağlıdır. Çoxkomponentli sistemlərin hərəkət modellərinin qurulması, ilk növbədə, tədqiq olunan obyektin daxili strukturunun təyini və seçilmiş model parametrlərinin qiymətləndirilməsi ilə əlaqədardır.

Qaz və mayələrin bircə axınlarında yaranan qeyri stasionar hallar və əmələ gələn çevrilmələr, onlara müxtəlif sahələrin təsiri yollarının axtarılmasını aktual edir.

Burada, qaz hissəciklərinin müxtəlif mayelərdə hərəkəti zamanı parçalanması və koalesensiyası məsələlərin həm nəzəri və həm də eksperimental tədqiqləri verilmiş, proseslərə təsirdə fiziki sahələrin rollarının əsas olması göstərilmişdir.

Maye və qaz qabarcıqlarında kütlə mübadiləsinə dəyişən elektrik cərəyanının və maqnit sahələrinin təsirinin öyrənilməsi bu sistemlərin həmişə təsadüf etdiyi neft mədən, nəql və kimya sənaye sahələrində yaranan bəzi problemlərin həllində öz yerini tapa bilər. Qaz-maye sistemlərində səthi gərilmə dəyişilmələrinə təsir edən amillər arasında fazalararası qatda səthi gərilmə, temperatur fərqi və elektrik sahəsi ola bilər ki, bunlarla əlaqədar kütlə mübadilə prosesi zamanı (Maranqoni effekti) fazalarda sərhəd boyunca əlavə axın yaranır<sup>1</sup>. Maddənin fazalararası səth boyunca hərəkəti onların bir-birinə nisbətən axın xarakterindən asılı olaraq dəyişir. Sonuncu vəziyyətdə, səthi gərilmə əmsalı kiçik pulsasiyalar meydana gətirir. İzotermik şəraitdə doyma təzyiqi ətrafında əmələ gələn qaz qabarcıq başlanğıcları axın və süzülmələrdə hidravliki müqavimətin azalmasına, daha “böyük” ölçülərdə və ya sərbəst qabarcıq şəklində ayrılma isə müəyyən miqdarda müqavimətin artmasına gətirir. Bu proses dəyişən diametrlı borularda və qeyri izotermik şəraitdə daha çox özünü göstərir. Belə halların tənzimlənməsi texnoloji və iqtisadi cəhətdən çox məqsəduyğundur.

Bunların araşdırılıb lazımı aspektlərin tapılması vacib olduğundan, işdə **1.2-də** bu istiqamət üzrə uyğun qeyri – stasionar proseslərin tədqiqləri həyata keçirilmişdir.

Qeyd olunduğu kimi, çoxkomponentli sistemlərin axınları komponentlər arasındakı ayırıcı qatda dalğa yaranmaları, kütlə mübadilə prosesləri, axın təzyiqində pulsasiyaların əmələ gəlmələri və s. bu kimi bir sıra hallarla müşayiət olunurlar.

Neft mədən mexanikasında bir sıra həll olunmamış problemlər heterogen mayələrin axınları ilə əlaqədar olub, tərkibdə yaranan dəyişilmələri ilə seçilir ki, belə dəyişilmələri həm tərkibin özündə

---

<sup>1</sup> И.О. Протоdjяконов, И.Е. Люблинская // Гидродинамика и массообмен в системах газ-жидкость, Л: Наука, 1990, 349 с.

olan və həm də süni əlavələrin təmasında öyrənməsi, texnoloji proseslərin tənzimlənməsi üçün vacib faktorlardan ola bilər.

Texnoloji prosesdə müstəsna rol oynayan mürəkkəb dispers mayelərin struktur dayanıqsızlıq hala təsiri ilə bu halın dəyişdirilməsi imkanı əldə etmək olar. Belə hallara qazlı mayələrdə, sement məhlullarında, qanda, və s.-də təsadüf olunur.

Bu istiqamətdə qoyulan model məsələlərin həlləri göstərmişdir ki, başlanğıc təzyiqliq qradientinin  $\Delta\theta > \Delta P$  qiymətində  $v = 0$  boruda axın olmur, yəni tarazlığın dayanıqlıq nöqtəsi yaranır.  $\Delta\theta < \Delta P$  halında isə  $v \neq 0$  dayanıqlıq pozulur və tarazlığın yeni nöqtəsi  $v = v_*$  yaranır.

Digər tərəfdən aydın olduğu kimi heterogen qazlı mayələrdə daxil olan qazın təsirindən özünə məxsus qeyri müntəzəmliklər yaranır.

Bu istiqamətdə dispers sistemlərə qaz daxil edilməklə aparılan laboratoriya eksperimentlərində, qərarlaşmış axınının qəflətən saxlandığı halında təzyiqlin bərpa əyriələrinin dinamik rəqslərlə müşayət olunduğu qeyd edilmişdir. Burada əvvəlcə hidravliki zərbə yaranmış və sonradan təzyiqliq dalğası axının əks istiqamətinə və növbəti mərhələdə isə bunun əksinə olmaqla bərpa olunmuşdur.<sup>23</sup>

Belə təzyiqliq dəyişməsinin əsas səbəbini mayenin tərkibində olan qazla dispers sistemlərin təmasında yaranan təsirlərinin nəticəsi kimi qiymətləndirilmişdir.

Odur ki, qazdan azad edilmiş məhlulda belə hal alınmır. Bu eksperimentlər bir neçə qərarlaşmış sərfi yaratmaqla müəlliflər tərəfindən aparılaraq əsaslandırılmışdır. Göründüyü kimi qaz qarışıqlı maye sistemləri qeyri stasionar prosesləri ilə səciyyələnirlər.

---

<sup>2</sup> Мирзаджанзаде А. Х. Этюды о моделировании сложных систем нефтедобычи: Нелинейность, неравномерность, неоднородность / А. Х. Мирзаджанзаде, М. М. Хасанов, Р. Н. Бахтизин - Уфа: Гилем, 1999.

<sup>3</sup> Шахвердиев А.Х., Панахов Г.М., Аббасов Э.М. Регулирование нестационарных процессов в сложных дисперсных системах // Нефтяное Хозяйство, 2004, №11, с. 59 - 61

Heterogen sistemlərdə əsasən özünü göstərən laminar rejimin dəyişilməsi, istismar zonasında kütlə və sərhəd qüvvələrinin pozulması nəticəsində müxtəlif paylanmalardan olur. Belə halda mürəkkəb qarışıq-konveksiyalı axın yaranır.

Bu cür axın və süzülmələrində (termobarik şəraitdən asılı olaraq) köçmə hallarına rast gəlinir ki, bu hallar qeyri stasionar proseslər üçün mənbə rolunu oynamaqla bərabər, onların tənzimlənməsini də təmin edir.

Burada yaranan bir çox proseslərin, o cümlədən flüid komponentlərin diffuziya və adsorbsiyası məsaməli mühit sistemində additivliyin pozulması nəticəsində olur.

Proseslərin bir-birinə bağlılığı, faza keçiriciliyi, sorbsiya və səthi diffuziyada qarşılıqlı əlaqələrin yaranması ilə xarakterizə olunur ki, bu da məsaməli mühitdə adsorbsiyada kinetik və sərhəd qatlarda ayırıcı xarakteristikaların dəyişmələrinə gətirə bilər.

Sorbsiya prosesinə komponentlərin amorf fazadan mühit üzərinə miqrasiyası kimi baxılır.

Süzülmədə və axınlarında heterogen sistemlərdə adsorbsiya halı olduqda temperatur və təzyiq dəyişmələrinin həmişə həmin prosesə bilavasitə təsiri mövcuddur . Ona görə də bunlara qarşılıqlı münasibətdə baxmaq vacibdir.

Sorbsiya prosesi  $T$  və  $P$ -nin müxtəlif qiymətlərində entalpiya və həcmi adsorbsiyanın nisbətlərindən asılı olaraq ya yaxşı və yaxud pisləşə bilər. Halbu ki,  $T$  və  $P$  dəyişmələrində ayırma əmsalı  $\alpha_{i,j}^S$ , sorbsiyanın tarazlıq sabitliyinə nisbətən daha dayanıqlı olur.

Qarışıqların axınlarında sürət qradientlərinin, təzyiq və temperatur dəyişmələrinin yaranması, qaz - maye sistemlərində mühitdə müxtəlif paylanmalara gətirib çıxardır.

Bir çox hallarda qaz qarışıqları olan axınlarda maye qatları yaranır və qaz bu qatlarda qarışaraq dalğalar yaradır.

**1.3-də** elastiki yarımsonsuz borularla ikifazlı özlü qabarcıqlı mayələrin pulsasiyalı axınları məsələlərinə baxılmışdır.

Burada qaz qabarcıqlı maye qarışığından ibarət ikifazlı mühiti sərbəst mühitin vacib nümunəsi kimi götürərək, nəzəri və təcrübi

tədqiqatlar aparılmış və ikifazlı axınların hərəkəti məsələləri həll edilmişdir.

Onu da qeyd etmək lazımdır ki, belə mühitlərin istilik tutumu başqa ikifazlı mühitlərin istilik tutumlarından fərqli olur. Burada vahid həcmdə aparıcı fazaların kütləsinin saxlanması üstünlük təşkil etdiyinə görə aparıcı fazalarda istilik tutumu dispers fazalara nisbətən böyük götürülür. Bu halda mayelərin sabit temperaturda malik olduğunu hesab edərək, prosesin mahiyyətini təhrif etmədən, məsələni sadələşdirmək və həll etmək üçün Bütöv Mühit Mexanikası üsullarından istifadə etməklə qabarcıq qarışıqlarını təsvir edən nəzəriyyələr əsasında aşağıdakı fərziyyələri qəbul edilmişdir:

- qabarcıqların hər bir elementar makrohissəcikləri eyni  $\tau_0$  radiuslu sferik formadadır;
- qabarcıqların həcmi konsentrasiyası qarışıq monodispersdir və  $\tau_0$  qiyməti məsələnin xarakterik ölçüsündən azdır;
- qabarcıqların bir- birinə toxunması və toqquşmaları nəzərə alınmır;
- birləşmə prosesi və yeni qabarcıq formaların yaranması olmur;
- qabarcıqların və aparıcı fazaların sürətləri eynidir;
- aparıcı fazaların özlülüyü qaz qabarcıqların özlülüyündən böyükdür (məsələn, suyun özlülüyü havanın (qazın) özlülüyündən 10 dəfə böyükdür);
- qabarcıqlar neytral şəkildədir, hərəkət etmir və həm də sabit qalmırlar.

Fərziyyələrə əsaslanaraq hərəkət tənliyini belə yaza bilərik:

$$\rho_0 \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

Qarışıqın reoloji tənliyi belə olar:

$$p = c^2 \rho + \frac{\xi}{\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial t} \quad (2)$$

Aşağıdakı fiziki mülahizələrə əsaslanaraq dəyişən en kəsikli boru üçün birözlülü yaxınlaşmada kəsilməzlik tənliyini yaza bilərik.

Qarışıqın elementar həcmi  $S(x)dx$  ilə işarə edək, burada  $S(x) = \pi R^2(x)$  – borunun en kəsik sahəsidir.  $dx$  məsafəsində  $dt$  zaman ərzində giriş və çıxışda olan maye sərfi arasındakı fərqi hesablasaq, alarıq:

$$\left\{ \left[ Su + \frac{\partial}{\partial x}(Su)dx \right] - Su \right\} dt = \frac{\partial}{\partial x}(Su) dx dt$$

Digər tərəfdən, borunun divarı deformasiyaya uğradığına görə axının əlavə sərfi olur ki, bu aşağıdakı kimi yazılır:

$$L \frac{\partial w}{\partial t} dx dt$$

Burada,  $L(x) = 2\pi R(x)$  – çevrə uzunluğudur.

Sıxılan mühitdə sıxlığın azalması ilə əlaqədar aşağıdakı ifadəni nəzərə almaq lazımdır:

$$-S \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial t} dx dt$$

Bunlara əsasən kəsilməzlik tənliyini belə yaza bilərik:

$$S \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(Su) + L \frac{\partial w}{\partial t} = 0 \quad (3)$$

(1) - (3) tənliklərində  $u(x,t)$  – qarışıqın sürəti,  
 $p(x,t)$  – hidrodinamik təzyiq,  $\rho(x,t)$  – qarışıqın sıxlığı,  
 $w(x,t)$  – boru divarının radial yerdəyişməsidir,

$$c^2 = \frac{1}{\alpha_{20}(1 - \alpha_{20})} \left( \frac{\rho_{10}}{\rho_{10} - \rho_{10}} \right) \frac{\rho_0}{\rho_{10}} \quad (4)$$

$$\rho_0 = \alpha_{10}\rho_{10} + \alpha_{20}\rho_{20}, \quad (\alpha_{10} + \alpha_{20} = 1) \quad (5)$$

$$\xi = \frac{4}{3} \frac{\mu(1 - \alpha_{20})}{\alpha_{20}} \quad (6)$$

$c^2$  – sükunətdə səs sürətinin kvadratı,  $\xi$  – kütləvi özlülük,  $\mu$  – aparıcı fazanın dinamik özlülüüyüdür. Burada  $\alpha_{20}$  – qabarcığın həcmi konsentrasiyası,  $\rho_{10}, \rho_{20}$  – aparıcı və dispers fazaların sıxlığı,  $p_0$  – statik təzyiqdır. 0 indeksi ilkin vəziyyəti əks etdirir. Qeyd etmək lazımdır ki,  $\alpha_2$  – həcmi konsentrasiya əvəzinə  $\alpha_{20}$  – sükunətdəki həcmi konsentrasiya işlədilir. Bu yanaşmada qabarcıqların əvvəlcədən mövcudluğu nəzərdə tutulur. Əgər qabarcıqların həcmi konsentrasiyası kifayət qədər kiçik olarsa, onları homogen qəbul etmək olar. Belə mayelərdə  $\rho_{20} \ll \rho_{10}$  olduğunu bilərək:

$$\rho_0 = \alpha_{10}\rho_{10} + \alpha_{20}\rho_{20} \approx \alpha_{10}\rho_{10} \approx \rho_{10} \quad (7)$$

olur.

Bu bizə imkan verir ki, (4) və (6) ifadələrini aşağıdakı kimi kifayət qədər dəqiq yazaq:

$$c^2 = \frac{\rho_0}{\alpha_{20}\rho_{10}}, \quad \xi = \frac{4}{3} \frac{\mu}{\alpha_{20}} \quad (8)$$

(8) in birinci ifadəsinə əsasən, qarışıqda qaz komponentləri olduğuna görə qarışığın sıxılması baş verir.

İndi, (1)-(3) tənlikləri ilə maye ilə əlaqədə olan borunun hərəkət tənliyini yazaq. Borunun xətti elastiki olduğunu, radusunun divarın qalınlığına nisbətini və borunun mühitdə sərt bərkidildiyini nəzərə almaqla onun öz oxu boyu hərəkət edə bilməməyini qəbul edirik. Bu şərtləri nəzərə alaraq, tənliyi aşağıdakı şəkildə yaza bilərik:

$$p = \frac{hE}{(1-\nu^2)R^2(x)} w + \rho_* h \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} \quad (9)$$

Burada  $\rho_*$  – divarın sıxlığı,  $E$  – Yunq modulu,  $\nu$  – Puasson sabitidir.

(9)-da ikinci hədd boru divarının ətalətini ifadə edir, lakin bu təsir nəzərə alınmayacaq dərəcədə kiçikdir. Bunu nəzərə alsaq,  $w$  üçün ifadəni aşağıdakı şəkildə yaza bilərik:

$$w = \frac{(1-v^2)R^2(x)}{hE} p \quad (10)$$

Burada (1)-(9) və (10) tənlikləri hidroelastiki qapalı sistemi təsvir edir və qaz-maye mühitindən ibarət boruda kiçik həyəcanlanmalı evolusiyanı təsvir etmək üçün istifadə edilə bilər.

Əldə olunan nəticələrə əsasən  $|\rho|/\rho_0$  sıxlıq amplitudu,  $c$  dalğanın yayılma sürəti və  $|u|/h\omega$  qarışıqın sürəti qabarcıqların həcmi konsentrsiyasından nə dərəcədə asılı olduğu tapılır [1]. Burada yerdəyişmə və hidrodinamik təzyiq üçün qiymətlər qaz qabarcıqlarının ölçüsündən  $\alpha_{20}$  asılı olmadığı müəyyən edilmişdir.

**İkinci fəsil**də axınlarda elektrokinetik yaranmaların qeyri – stasionar proseslərə təsirləri tədqiq edilmişdir. Burada axın və süzülmələrdə yaranan daxili elektrokinetik proseslər, onların qaz yaranma dinamikasına və qeyri – xətti dalğaların yayılmasına təsirləri və həmçinin mayələrdə qaz qabarcıqlarının hidrozərbə dalğalarının yayılmasında rolu məsələləri həll edilmişdir.

**2.1-də** qarışıqların elektrik xüsusiyyətlərinin qiymətləndirilməsi və onların hidrodinamik parametrlərin tənzimlənməsində istifadə edilməsi vacib olan tədqiqatlar aparılmışdır. Məlum olduğu kimi axınlarda elə proseslərə rast gəlinir ki, onları qəbul olunmuş yeraltı hidravlika və hidrodinamika nəzəriyyələri ilə izah etmək mümkün olmur. Bunlara Darsi qanununda uyğunsuzluqlar, bir çox müxtəlif boru kəmərlərində və neft yataqlarında texnoloji proseslərdə yaranan anomal hadisələri misal göstərmək olar.

Akademik A.X.Mirzəcanzadə və digər alimlərin apardığı tədqiqatlarda maye axın və süzülməsində yaranan bu hadisələrin hidravliki və qravitasiya güvvələri ilə əlaqədar olmayan əlavə – elektrofiziki proseslərlə izah edilməsinin vacibliyini göstərmişdir. Axınlarda elektrofiziki hadisələrin təsirləri çoxsahəli olduğundan onların bəzi aspektlərinin tədqiq olunması məqsədə uyğundur. Burada işdə ilk növbədə statik hallarda elektrolit əlavə olunmuş məhlulların elektrik xüsusiyyətləri tədqiq olunmuş və konduktometr



vasitəsi ilə qiymətləndirmələr aparılmışdır. Tərkibin xüsusiyyətləri məlum olan suya əlavə edilmiş müxtəlif miqdarda NaCl və izopropil spirt məhlullarının elektrikkeçiriciliyinin, həmən elektrolitin təbiətindən və konsentrasiyasından asılı olduğu müəyyənləşdirilmişdir.

Alınan tədqiqatın nəticələrindən aydın olmuşdur ki, elektrik potensialının dəyişilməsi stasionar rejimdə qeyri stasionar rəqslərlə olur. Bu rəqslərdə dövrlərin bircins olması analiz olunmuş və alınan eksperimental əyriyədən müəyyən edilmişdir ki, yüklərin yığılması və dağılıb çıxması başlanğıc və son nöqtələrdə qeyri bərabər olur.

**2.2-də** qaz-maye qarışıqlarının axınlarında elektrokinetik parametrlərin qaz yaranma dinamikasına təsirləri araşdırılmışdır.

Burada fərqli olaraq, qazlı maye sistemlərində axında yaranan daxili proseslərin, sabit termobarik şəraitdə  $\Delta\varphi$  potensiallar fərqinin qaz qabarcıqlarının yaranma dinamikası və hidrodinamiki parametrlərə təsirləri nəzəri tədqiq edilmişdir.

Məlum olduğu kimi, heterogen sistemlərdə sürtünmədən yaranan elektrik sahəsi aşağıdakı kimi təyin edilir :

$$\vec{E} = -\vec{\nabla}\varphi$$

$$\int_l E dl = \varphi(l_1) - \varphi(l_2) \quad (11)$$

$E$  – elektrik sahəsi;

$\varphi$  – potensiallar fərqi.

Hərəkət tənliyini və mexaniki tarazlıq şərtlərini nəzərə almaqla qabarcıqların genişlənmə dinamikasını aşağıdakı şəkildə yazma bilərik:

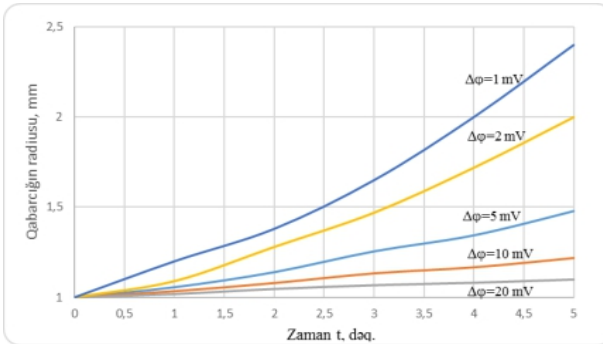
$$R \frac{d^2 R}{dt^2} + \frac{3}{2} \left( \frac{dR}{dt} \right)^2 + \frac{\sigma E^2}{\rho} R \frac{dR}{dt} + 2 \frac{\Sigma}{R} = \frac{P_2(t) - P_\infty}{\rho} \quad (12)$$

$$R_{t=0} = 1, \frac{dR}{dt} = 0$$

Burada,  $\Sigma$  – səthi gərilmə əmsalı,  $P_\infty$  – mayenin sonsuzluqdakı təzyiqi,  $R(t)$  – qabarcıqların radiusudur. Bu tənlikdə  $R(t)$  naməlum kəmiyyətdir.

Bu tənliyi ədədi üsulla (Runqe - Kutta) həll etməklə, qabarcıqların radiusunun dəyişilməsi qiymətləndirilir [5].

Burada qaz qarışığı olan mayedə elektrikeçiriciliyin qiymətindən asılı olaraq radiusun dəyişilməsi nəticələri Şək. 1 – də göstərilmişdir:



**Şəkil 1. Potensiallar fərqi müxtəlif qiymətlərində qabarcığın radiusunun dəyişilməsi**

Aparılan tədqiqatlar onu göstərir ki, mayedə sürtünmədən yaranan potensial fərqi qiyməti artdıqca mövcud olan qaz qabarcıqlarının radiusu azalır.

Bu da öz növbəsində,  $\Delta\varphi$  – nin müəyyən edilmiş qiymətində qaz qabarcıqlarının yaranma halına uyğun maye sərfinin qiymətini tənzimləməyin mümkünlüyünü göstərir[5].

**2.3-də** qaz qabarcıqlı mayelərdə qeyri – xətti dalğaların yayılmasına elektrokinetik proseslərin təsirləri tədqiq edilmişdir. Burada qaz qabarcıqları olan mayedə axın zamanı yaranan elektrokinetik proses nəzərə alınmaqla uzununa qeyri-xətti dalğaların yayılması araşdırılmışdır.

İki fazlı axınların nəqli problemi ənənəvi şəkildə həm maye, həm də qaz fazalarını birləşdirən diferensial tənliklər sistemində gətirilərək həll edilir. Lakin, bu halda qaz tərkibinin nəzərə alınmayacağı dərəcədə az olduğunu fərz etməklə, tək sürətli modeldən istifadə edilə bilər.<sup>4</sup> Dəyişmənin xarakterik xətti ölçüsünün qabarcıqlar

<sup>4</sup> Нигматуллин Р. И. Основы механики гетерогенных сред. / Р. И. Нигматуллин - М.: Наука, 1978. - 336с.

arasındaki məsafədən çox, qabarcıqların radiusundan asılı olduğunu qeyd edərək, belə sistemin hərəkətlərini homogen sistem kimi nəzərdən keçirə bilərik. Belə halda qarışıqın sıxlığı mayenin sıxlığına bərabər olan kəsilməz mühit qəbul edib, sıxılmanın yalnız qazın sıxılma qabiliyyəti ilə müəyyən edildiyi götürülür.<sup>5</sup>

Aşağıdakı işarələmələri qəbul edək:

- $\rho_1^0, \rho_2^0$  – müvafiq olaraq, maye və qazın sıxlığı,
- $\alpha_1, \alpha_2$  – müvafiq olaraq, maye və qazın həcmi konsentrasiyası,
- $P_1, P_2$  – müvafiq olaraq, mayədə və qabarcığın içindəki təzyiq,
- $n$  – qarışıqın vahid həcmindəki qabarcıqların sayı.

Homogen yanaşmada qaz-maye mühitinin kəsilməzlik və hərəkət tənlikləri:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho U)}{\partial x} = 0 \quad (13)$$

$$\rho \frac{\partial U}{\partial t} + \rho U \frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial P}{\partial x} = 0 \quad (14)$$

şəkildə verilir.

Elektrik sahəsini nəzərə almaqla, sonsuz sıxılmayan maye içərisində qaz qabarcıqlarının radial hərəkətini xarakterizə edən Reley-Lamb tənliyi aşağıdakı şəkildə olur .

$$R \frac{d^2 R}{dt^2} + \frac{3}{2} \left( \frac{dR}{dt} \right)^2 = \frac{1}{\rho_1^0} \left( P_2 - P_1 - \frac{4\mu}{R} \frac{dR}{dt} - \frac{2}{3} \sigma ER \frac{dR}{dt} \right) \quad (15)$$

Bütün bunları və (15)-i nəzərə alaraq, aparılan sadələşdirmələrdən sonra sürətin yayılması üçün belə tənlik alırıq:

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial z} - \eta \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} + \beta \frac{\partial^3 U}{\partial z^3} = 0 \quad (16)$$

Burada,

---

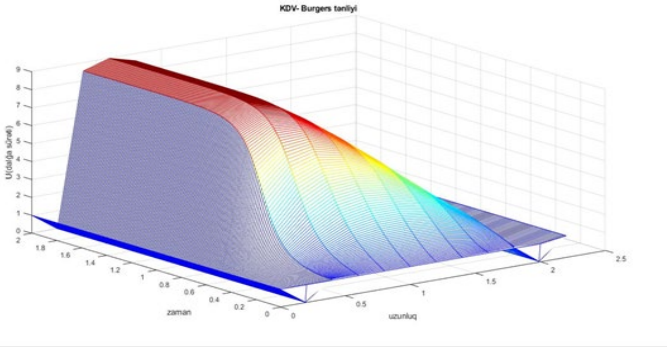
<sup>5</sup> Накоряков В.Е., Соболев В.В., Шрейбер И.Р. Длинноволновые возмущения в газожидкостной смеси // Изв.АН СССР, МЖГ, 1972, № 5, с. 71-76.

$$\eta = \frac{\left( \frac{4\mu}{R_0} + \frac{2}{3} \sigma E R_0 \right) R_0}{6\alpha_1 \alpha_2 \rho_1^0}; \quad \beta = \frac{R_0^2 c}{6\alpha_1 \alpha_2}$$

(16) tənliyi klassik *Burqers-Korteveq-de-Vriz* tənliyidir.

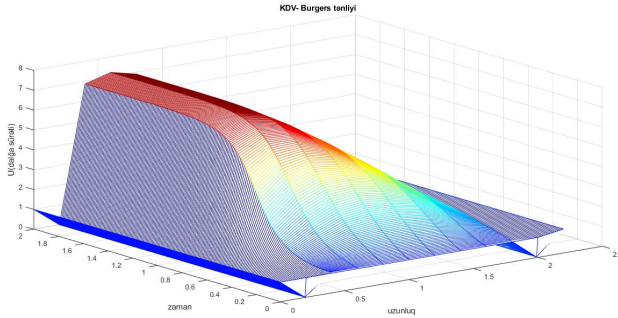
Yuxarıda alınan qabarcıqlı maye içində uzununa qeyri-xətti dalğalar üçün qeyri-xətti diferensial tənliyi (16) potensiallar fərqi parametrinə görə klassik KdV-Burqers tənliyidir ki, bunun ədədi üsulla həllinin nəticələri aşağıdakı kimi olmuşdur.

Burada potensiallar fərqi artması ilə qabarcığın radiusunun azalması müəyyən edilmişdir [5]. Buna görə bu nəticəyə gələ bilərik ki, potensiallar fərqi artdıqca, dalğanın amplitudu tədricən azalır.  $R_0 = 0.0001$  m radiusda bu həllin sxemi Şək. 2-də verilmişdir.



**Şək. 2**  $R_0 = 0.0001m$ ,  $\Delta\varphi = 0.002V$  qiymətlərində qeyri – xətti dalğaların yayılması

Növbəti mərhələdə,  $\sigma$ ,  $\Delta\varphi$ -nin digər məlum qiymətlərində,  $R_0=0.00008$  m şərti daxilində tənlik həll edilmiş və alınmış nəticə Şək. 3 də göstərilmişdir.



**Şək. 3.**  $R_0 = 0.00008m$ ,  $\Delta\varphi = 0.003V$  qiymətlərində qeyri-xətti dalğaların yayılması

Göründüyü kimi, potensiallar fərqi artdıqca dalğaların amplitudası azalır.

**2.4-də** mayelərdə qaz qabarcıqlarının yaranma dianmikasının hidrozərbə dalğalarının yayılmasına təsirləri tədqiq edilmişdir.

Maye-qaz qarışıqlarından ibarət sistemdə qaz qabarcıqlarının yaranması və genişlənməsi, qaz ayrılmaların müxtəlif axın rejimlərində əmələ gələn dalğaların yayılma sahəsinə (amplitudaya) bilavasitə təsir tdir. Bu məsələlərin vacibliyini nəzərə alaraq, bunları daha dərin öyrənmək üçün, qaz qabarcıqlarının genişlənməsinin dalğaların amplitudasına təsiri nəzəri cəhətdən araşdırılmışdır.

İlk növbədə, qaz-maye qarışıqların nəql edilən borularla axınlarında yaranan dalğaların yayılması və əmələ gələn zərbə proseslərinə baxılmışdır. Məlum olduğu kimi, mayenin hərəkət və kəsilməzlik tənliklərinin riyazi ifadələri aşağıdakı kimi yazılır:

$$C^2 \frac{\partial M}{\partial x} + f \frac{\partial P}{\partial t} = 0 \quad (17)$$

$$f \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial M}{\partial t} = \frac{\rho\lambda}{2D} f w |w|. \quad (18)$$

Burada:  $c = \sqrt{K/\rho}$ ,  $M = \rho f w$ ;  $w$  – mayenin orta sürəti,  $\rho$  – mayenin sıxlığı;  $K$  – elastiklik modulu;  $D$  – borunun diametri;  $\lambda$  – hidravliki müqavimət əmsalındır.

Qaz ayrılmalarından yaranan dalğaların amplitudası müəlliflərin, – işlərində qeyd etdiyi kimi belə ifadə edilir:<sup>6 7</sup>

$$A = \sqrt{\frac{f(R_0)}{f(R_q)}} \frac{1}{1 + \int_{R_0}^{R_q} \xi(R_q) dR_q} \quad (19)$$

Burada  $\xi(R_q) = \frac{\lambda \sqrt{\pi} w_0}{8 \sqrt{f(R_q)} c'}$ ,  $c'$  – qaz ayrılmalarında dalğa sürəti olub, aşağıdakı şəkildə təyin edilir:

$$c' = \frac{cp}{\sqrt{\rho^2 c^2 RTM + p^2}} \quad (20)$$

Bütün bu ifadələri (19) tənliyində nəzərə alsaq, onda dalğanın amplitudasını xarakterizə edən tənliyi aşağıdakı şəkildə yaza bilərik:

Qaz ayrılmalarından yaranan dalğaların amplitudası belə ifadə olunmuşdur:

$$A = \sqrt{\frac{f(R_0)}{f(R_q)}} \frac{1}{1 + C \int_{R_0}^{R_q} \frac{1}{\sqrt{f(R_q)}} dR_q} \quad (21)$$

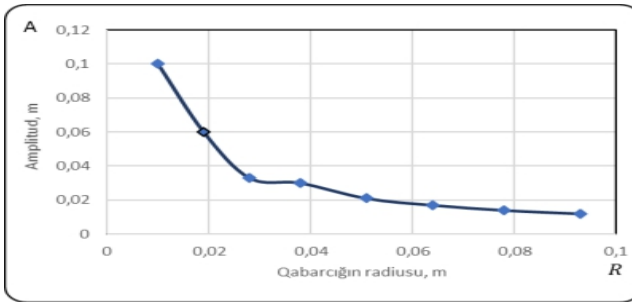
Burada  $-C = \frac{\lambda \sqrt{\pi} w_0}{8c} \sqrt{1 + \frac{KM}{p}}$  – dir. Termobarik şəraitdə (21)

tənliyini radiusun müxtəlif qiymətlərində həll edilməklə, dalğanın yayılma sahəsi təyin edilir.

Dalğa amplitudasının qabarcığının radiusundan asılı olaraq dəyişilməsi Şək. 4-də qeyd edilmişdir.

<sup>6</sup> Фокс Д.А. Гидравлический анализ неустановившегося течения в трубопроводах / Д.А.Фокс - М., 1981.- 400

<sup>7</sup> Г. Н. Ледовский, С. В. Самоленков, О. В. Кабанов, Эффективность систем защиты оборудования нефтеперекачивающих станций при повышенных волнах давления // Научный журнал «Записки Горного института», 2013, Т-206, с. 99-102



**Şək.4 Dalğa amplitudasının qabarcığın radiusundan asılılığı**

Şekildən görüldüyü kimi radiusun artması ilə dalğa amplitudası azalır, yəni mayedə “sərtləyin” azalması hidrozərbənin azalmasına gətirir.

Alınan tədqiqatlardan belə nəticə çıxarmaq olar ki, dalğa amplitudası və bununla əlaqədar borularda yaranan zərbə təsirlərini azaltmaq üçün mayedə qaz qabarcıqlarının genişlənməsi tədbirlərinin həyata keçirilməsi vacib şərtlərdəndir[6].

**Üçüncü fəsil**də maye qarışıqlarının axın və süzülmələrində sərhəd qatda yaranmalarının hidrodinamiki parametrlərə təsirləri tədqiq edilmişdir.

Belə prosesləri daha dərinlən araşdırmaq üçün **3.1-də** qeyri-Nyuton mayələrin axınlarında sərhəd qatların hidrodinamiki parametrlərə təsirləri tədqiq olunmuşdur.

Burada məqsəd strukturu dağıla bilən maye axının sərfinin və effektiv özlülüyün  $\eta(\tau)$  qiymətləndirilməsindən ibarət olmuşdur.

Dinamik tarazlıq vəziyyətində, rabitələrin dağılması prosesinə həyəcanlanmaların intensivliyinin təsirinə qeyri monoton olduğu müəyyən edilmişdir.

Burada əsasən struktura malik sistemlərin struktur dağılma prosesinin xüsusiyyətlərini reoloji tənliklərdə nəzərə alınmasının vacibliyi qeyd olunmuşdur. [2].

**3.2-də** axınlarda sərhəd qatlarda əmələ gələn daxili yaranmaların hidrodinamiki parametrlərə təsirləri tədqiq edilərək araşdırmalar aparılmışdır.

Burada ilkin olaraq əvvəl qeyd olunan (II fəsildə) qaz qabarcıqlarının genişlənmə dinamikasının müxtəlif fiziki parametrlər vasitəsilə tənzimlənməsi üzərində aparılan tədqiqatlar nəzərə alınmaqla, elektrik sahəsinin, yəni potensiallar fərqi parametrlinin qabarcıqların formalaşması prosesinə baxılmışdır.

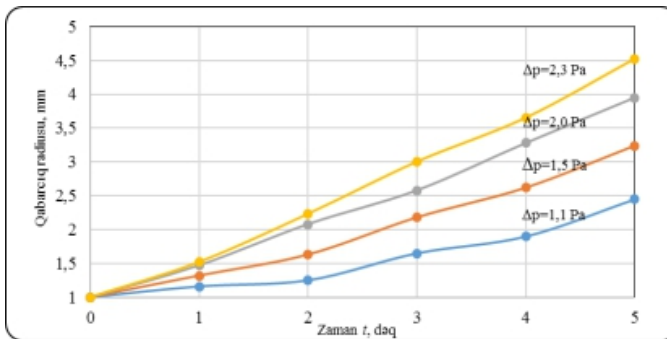
Sabit termobarik şəraitdə statik elektrik sahəsinin zamanda asılı R qabarcığın radiusunun dəyişməsinə olan təsirini modelləşdirmək üçün Reley-Lamb tənliyindən (12) istifadə olunmuşdur.

Təzyiq ilə qazın radiusu arasında asılılıq aşağıdakı düsturla ifadə olunur:

$$\frac{dp_2}{dt} = -3\gamma_a \frac{p_2}{R} w_R$$

Burada  $p_2$  – qabarcığın içərisindəki təzyiq,  $\gamma_a$  – adiabat göstəricisi,  $w_R$  – qabarcığın radiusunun dəyişmə sürəti,  $R$  – qabarcığın radiusudur.

İlk növbədə potensiallar fərqi üçün,  $\Delta P$  təzyiqlər fərqi üçün müxtəlif qiymətlərdə qaz qabarcıqlarının formalaşma dinamikası tədqiq edilmişdir. Yuxarıda göstərilən (12) tənlik,  $\Delta\varphi = 0.5\text{mV}$ ,  $\Sigma = 0.0002\text{ N/m}$  qiymətlər daxilində Runqe-Kutta ədədi üsulu ilə həll edilmişdir.



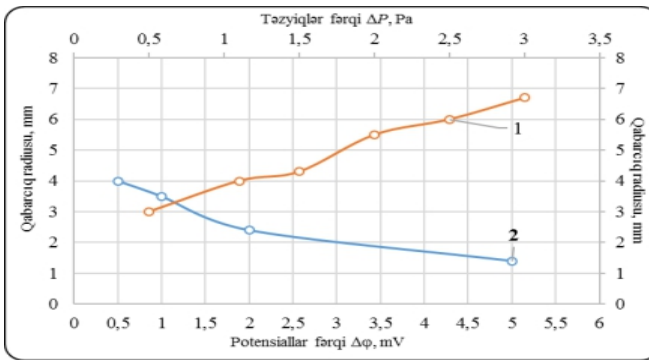
**Şəkil 5. Təzyiqlər fərqi üçün müxtəlif qiymətlərdə qabarcığın radiusunun dəyişməsi**

Daha sonra isə, həmin tənliyi  $\Delta P$  təzyiqlər fərqi üçün sabit qiymətində, potensiallar fərqi parametrlərini dəyişdirməklə, həll edilmiş və müəyyən nəticələr əldə olunmuşdur.



Bütün bunları nəzərə alaraq, təzyiqlər fərqinin müəyyən qiymətlərində yaranan qaz qabarcıqlarının formalaşma dinamikasını, potensiallar fərqi parametri vasitəsi ilə tənzimlənmək mümkünlüyü müəyyən edilmişdir.

Burada temperaturun sabit ( $20^{\circ}\text{C}$ ) qiymətində 0.1%-li elektrolitin suda məhlulunda həll olunmuş hava qabarcığının radiusunun dəyişilməsinin təzyiqlər fərqi və potensiallar fərqindən asılı olaraq birgə tədqiq edilmiş, təzyiqlər fərqinin hansı potensiallar fərqi ilə əvəz olunma mümkünlüyü qiymətləndirilmişdir [10]. Alınan nəticələr Şək. 6-da göstərilmişdir.



**Şək. 6. Potensiallar və təzyiqlər fərqinin müxtəlif qiymətlərində qabarcıqların genişlənmə radiusu (1- Təzyiqlər fərqi, 2- potensiallar fərqi)**

**3.3-də** ikifazlı qarışıqların hidravliki xarakteristikalarına axında yaranan elektrik sahəsinin təsirinin riyazi modelləşdirilməsi məsələsinə baxılmışdır.

İşdə horizontal silindrik boruda qazlı özlü mayedən ibarət qarışıq və özlü maye(qazsız) tədqiq edilmişdir.

Burada aparıcı faza kimi borunun divarlarına paralel şəkildə hərəkət edən qaz maye qarışığı və ikinci faza kimi qazdan azad olunmuş (qazsız) özlü maye götürülmüşdür.

Həmçinin baxılan axında elektrokinetik təsirdən qazlı mayedən qaz qabarcıqlarının ayrılmasının tənzimlənməsi tədqiq edilmişdir. Qaz qabarcıqlarına elektrokinetik təsirləri nəzərə alaraq fərz olunur

ki, əmələ gələn qaz qabarcıqları borunun divarlarına doğru hərəkət etməklə bərabər, müəyyən qalınlıqda qazlı maye qatı əmələ gətirir.

Burada əsas məqsəd qazlı maye və qazdan azad olunmuş maye sərhəddində yaranan sürüşmə sürətlərini əsaslandırmaqdan ibarət olmuşdur.

Qarışıqda hər bir fazanı sıxılmayan, axını isə oxasimmetrik qəbul edərək, toxunma səthində sürüşmə əmsalını özündə saxalayan ortalaşmış hədlərlə ifadə olunan hərəkət tənliyi yazılır:

$$f_1 \sigma \left( \frac{d^2 u_1}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{du_1}{dr} \right) + K_m (u_2 - u_1) = \frac{2\tau_0 f_1}{R} + f_1 \frac{\partial p}{\partial x}, \quad (22)$$

$$f_2 \mu \left( \frac{d^2 u_2}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{du_2}{dr} \right) + K_m (u_1 - u_2) = f_1 \frac{\partial p}{\partial x}.$$

Burada  $u_1$  və  $u_2$  – fazaların sürətləri,  $\sigma, \mu$  – mayenin elektrikkeçiriciliyini xarakterizə edən paramater və dinamik özlülük,  $K_m$  – qarışıqda fazalar arasındakı qarşılıqlı müqavimət əmsalı,  $f_1$  və  $f_2$  – fazaların həcmi miqdarı,  $p$  – təzyiq,  $\tau_0$  – toxunma səthində sürüşmə əmsalıdır. Daşıyıcı fazalar üçün sərhəd şərtlərini “yapışma” şərti kimi, ikinci faza üçün isə sabit sərf şərti olaraq belə qəbul edilir.

$$r = R \quad u_1 = 0, \quad (23)$$

$$\int_0^R u_2 r dr = \frac{R^2 V_2}{2} = const. \quad (24)$$

Bu şərtlər daxilində məsələ həll edilərək və sadələşdirmələr apardıqdan sonra mühitin sürətlərinin paylanması ifadələri aşağıdakı kimi olar.

$$f_1 \eta \left( \frac{d^2 u_1}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{du_1}{dr} \right) - m^2 u_1 = Ar^2 + B - Cu_2(R), \quad (25)$$

$$f_2 \mu \left( \frac{d^2 u_2}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{du_2}{dr} \right) - m^2 u_2 = Ar^2 + D - Cu_2(R).$$

Sürüşmə sürəti üçün

$$u_2 = -\frac{R^2}{2(f_1\sigma + f_2\mu)} \left( \frac{N}{4} + \frac{f_2\tau_0}{R} \right)$$

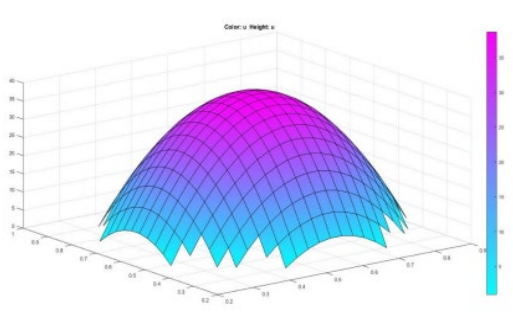
ifadəsi alınır.

Burada borunun divarında sürüşmə sürətinin mayenin elektrikkeçiriciliyindən və struktur özlülüyün dağılmasından asılı olaraq dəyişməsinin müqayisəsi aparılmışdır. Tədqiqatın nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, mayenin elektrikkeçiriciliyini nəzərə almaqla, borunun divarında qarışıqın sürüşmə sürəti digər müqayisə olunan parametərə nisbətən daha böyükdür [11].

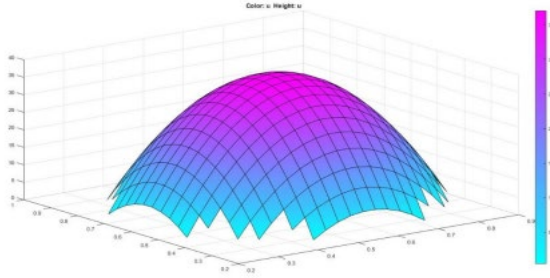
**3.4-də** maye qarışıqlarının süzülmələrində hidrodinamik parametrlərə sərhəd qatı elektrokinetik proseslərin tədqiqi araşdırılmışdır.

Stasionar vəziyyətdə yükün sıxlığı daxil edilmiş və ətalət şərtlərini nəzərə almadan, mayeni sıxılmayan götürməklə, sadələşdirilərək yazılmış Navye-Stoks tənliyi araşdırılmışdır.

Burada əsasən sabit təzyiqli gradientində elektrokinetik amil nəzərə alınmaqla və nəzərə alınmadan,  $\rho_e$  və  $\nabla\varphi$  parametrlərinin müxtəlif qiymətlərində dairəvi en kəsikli kapilyarda ( $r = x = y$ ) Matlab riyazi proqramında, sürət profilinin dəyişməsi qiymətləndirilmişdir (Şək. 7 və 8).



**Şək. 7. Sabit təzyiqlər fərqlində kapilliyarda mayenin hərəkəti zamanı sürət profilinin dəyişməsi**



**Şək. 8. Potensiallar fərqi ilə nəzərə alınması ilə kapilliyarda mayenin hərəkəti zamanı sürət profilinin dəyişməsi**

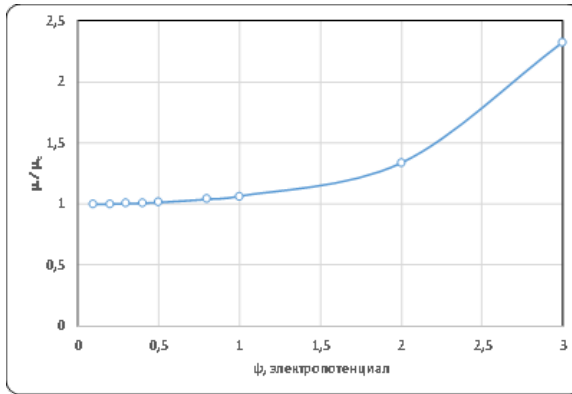
Tədqiqatın nəticələrindən alınan qrafiklərdən görüldüyü kimi kapilyarın divara yaxın sərhəd qatında sürətlərin yayılma epüraları müxtəlifdir. Sabit təzyiqlə qradientində və axın potensialının (elektrik yükünün sıxlığını) artması ilə, kapilyarın divarlarında sürətin sıfırdan fərqli alındığı müəyyən edilmişdir [12].

Digər tərəfdən bir çox digər tədqiqatlar elektropotensialın qiymətindən asılı olaraq mühit özlülüyün dəyişildiyini göstərmişlər. Araşdırmalar əsasında alınmış qiymətləndirmə düsturu aşağıda qeyd olunan asılılıq şəklində yazılmışdır.

$$\frac{\mu}{\mu_e} = \left( 1 - \frac{\beta_* \varphi^2}{2\pi^2 r^2 m} \right)^{-1}$$

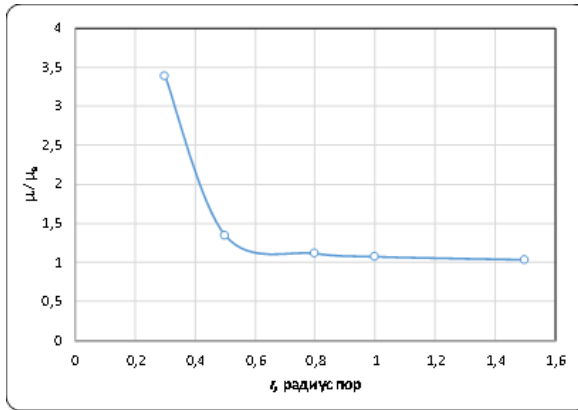
Bu ifadə əsasında aparılan, potensial və kapilyarın radius dəyişmələrindən asılı olaraq özlülüyün dəyişməsindən yaranan

$\frac{\mu}{\mu_e}$  qiymətləndirmələr Şək. 9 və 10-da göstərilmişdir. Burada  $\frac{\mu}{\mu_e}$  – nisbətinin qeyd edilmiş parametrlərdən asılı olaraq dəyişməsinin qeyri-xətti olması alınmışdır.



μ

Şək. 9.  $\mu_e$  – nisbətinin elektropotensialdan asılı olaraq dəyişilməsi



μ

Şək. 10.  $\mu_e$  – nisbətinin məsamənin radiusundan asılı olaraq dəyişilməsi

Aparılan tədqiqatlar məsaməli mühitdə mayenin süzülmə prosesinin tənzimləmənin vacib şərtlərdən ola bilər.

Bu məqsədlə işdə məsaməli mühitlərdə maye axınında elektrokinetik təsirlər tədqiq edilmiş, elektroözlülük və sürüşmə effektləri aşkar edilərək proses modelləşdirilmişdir. Aşkar edilmiş

təsir effektləri tətbiqi əhəmiyyətə malik olub, neft yataqlarının işlənməsində istifadə edilə bilər.

Sonda, elmi rəhbərim AMEA-nın müxbir üzvü, texnika elmləri doktoru Qeyvani Minhac oğlu Pənahova və şöbənin bütün əməkdaşlarına faydalı məsləhətlərinə, göstərdikləri diqqət və qayğıya görə dərin minnətdarlığımı bildirirəm.

## NƏTİCƏ VƏ TƏKLİFLƏR

1. Heterogen maye axınlarında hidrodinamik parametrlərdə qeyri stasionar hallar araşdırılaraq yaranan kütlə mübadilələrinin, elektrikkeçiriciliyinin, qaz ayrılımalarının xarici təsirlərlə tənzimləməyin mümkünlüyü göstərilmişdir.
2. Elastiki yarımsonsuz borularla ikifazlı özlü qabarcıqlı mayelərin pulsasiyalı axınlarında sıxlıq amplitudunun, dalğanın yayılma sürətinin və qarışıqın sürətinin qabarcıqların həcmi konsentrasiyasından asılılıq dərəcəsi qiymətləndirilmişdir.
3. Qarışıqlarda elektrokinetik xüsusiyyətlər qiymətləndirilmiş, elektrolitlərin konsentrasiyasından asılı olaraq onların qeyri xətti olduğu müəyyən edilmişdir. Bu sistemlərin sabit təzyiqlər fərqiində axında elektrik sahəsinin də qeyri xətti dəyişildiyi eksperimental təsdiq edilmişdir.
4. İlk dəfə qaz – maye qarışıqlarının axınlarında elektrokinetik parametrlərin qaz yaranma dinamikasına təsirinin olduğu göstərilmiş, sistemin elektrikkeçiriciliyinin artması ilə qabarcıq radiusunun genişlənməsi arasında tərs mütənəsbibliyin olduğu tapılmışdır.
5. Qaz qabarcıqlı mayelərdə qeyri xətti dalğaların yayılmasına elektrokinetik prosesin təsiri nəzəri əsaslandırılmış, qurulan simulyasiya proqramı əsasında potensiallar fərqiinin artması ilə dalğa amplitudasının azalması tapılmışdır.
6. Mayelərdə qaz qabarcıqlarının yaranma dinamikasında hidrozərbə dalğaların yayılmasını nəzəri qiymətləndirərək, dalğa amplitudası və axında zərbə təsirlərini azaltmaq üçün mühitdə qabarcıqların genişləndirilməsi vacibliyi alınmışdır.
7. Qeyri–Nyuton tiksotrop mayelərin (neftlərin) struktur rabitələrinin dağılması prosesinə həyəcanlanmaların intensivliyinin qeyri monoton olduğu alınmışdır.
8. İlk dəfə axınlarda qabarcıqın radiusunun dəyişilməsinin təzyiqlər fərqi ilə potensiallar fərqiindən asılı olaraq birgə tədqiq edilmiş, təzyiqlər fərqiinin müəyyən potensiallar fərqi ilə əvəz olunma mümkünlüyü tapılaraq qiymətləndirmələr aparılmışdır.
9. İkifazlı qarışıqların hidravliki xarakteristikalarına axında yaranan elektik sahəsinin təsirinin riyazi modeli verilmiş, mayenin

elektrikkeçiriciliyinin nəzərə alınması, boru divarında qarışığın sürüşmə sürətinin digər məlum parametərə nisbətən daha böyük olduğu alınmışdır.

10. Məsələli mühitlərdə maye axınında elektrokinetik təsirlər tədqiq edilmiş, elektroözlülük və sürüşmə effektləri aşkar edilərək, bu proses modelləşdirilmişdir.

### **Dissertasiyanın nəticələri aşağıdakı elmi işlərdə əks olunmuşdur:**

1. Amanzade, R.Y. Pulsating flow of two-phase viscous bubbly fluid in an elastic semi-infinite cylindrical tapering tube / R.Y.Amanzade, G.M.Panahov, E.M.Abbasov, P.T.Museibli// Transactions of NAS of Azerbaijan, Issue Mechanics, -2015, XXXV, №7, -p. 22 - 31
2. Panahov, G.M. Wall effects under non-Newtonian fluid flow in a circular pipe / G.M. Panahov, E.M. Abbasov, P.T. Museibli [et.al] // Transactions of NAS of Azerbaijan, Issue Mechanics, -2016, XXXVI, №7, - p. 68 - 73.
3. Panahov G.M., Museibli, P.T. Influence of the electrostatic potential on the dynamic of gas evolution // “Riyaziyyatın nəzəri və tətbiqi problemləri” Beynəlxalq elmi konfransın materialları. - Sumqayıt: Sumqayıt Dövlət Universiteti, -2017, -s. 122.
4. Panahov, G.M., Museibli, P.T. The study of internal exposure on the fluid hydrodynamics // “Riyaziyyat və Mexikanın müasir problemləri” Akif Hacıyevin 80 illiyinə həsr olunmuş beynəlxalq konfrans materialları, -Bakı: -2017, -s.171.
5. Panahov, G.M., Museibli, P.T. The study of internal exposure on the fluid hydrodynamics // Transactions of NAS of Azerbaijan, Issue Mechanics, -2017, XXXVII, №7, - p. 66 – 71.
6. Pənahov, Q.M., Müseyibli, P.T. Qaz qabarcıqlarının yaranma dinamikasının hidrozərbə dalğalarının yayılmasına təsiri // Bakı Dövlət Universitetinin Xəbərləri, Fizika-Riyaziyyat elmləri seriyası, -2018, № 1, -s. 89 - 94.
7. Panahov, G.M., Museibli, P.T. Effect of electrokinetic processes on the propagation of non-linear waves in gas saturated liquid// IX



International Conference of the Georgian Mathematical Union, Dedicated to 100th Anniversary of Ivane Javakhishvili Tbilisi State University, -Georgia: -2018, -p. 168 - 169.

8. Panahov, G.M., Museibli, P.T. The influence of the gas bubbles formation dynamics on the propagation of hydraulic shock waves // “Neftqazıxarmada İnnovativ Texnologiyalar və Tətbiqi Riyaziyyatın Müasir Problemləri” akademik Azad Mirzəcanzadənin 90 illiyinə həsr olunmuş beynəlxalq konfrans materialları, -Bakı: -2018, -s.78.

9. Panahov, G.M., Museibli, P.T., Mammadov, J.I. On the electrostatic field in expansion dynamics of gas bubbles // “Riyaziyyat və Mexanikanın müasir problemləri” Riyaziyyat və Mexanika İnstitutunun 60 illik yubileyinə həsr olunmuş beynəlxalq konfrans materialları, -Bakı: -2019, -s. 421.

10. Museibli, P.T. On the electrostatic field in expansion dynamics of gas bubbles // Journal of Samara State Technical University, Ser. Physical and Mathematical Sciences, -2019, vol. 23, №4, -pp. 756 – 763.

11. Museibli, P.T. Mathematical modelling of effect of electrostatic field forming on hydraulic characteristics of two-phase mixtures flow // Advances and applications in mathematical sciences, -2019, vol.19, №1, -pp. 21 - 32

12. Panahov G. M., Abbasov E. M. , Yuzbashiyeva A.O., Museibli, P.T. Flow control of fluids through porous media based on electrokinetic effects // Transactions of NAS of Azerbaijan, Issue Mechanics, -2020, XL, №7, p. 28 – 36.



Dissertasiyanın müdafiəsi **05 noyabr 2021-** ci il tarixində saat **14<sup>00</sup>**da Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Riyaziyyat və Mexanika İnstitutunun nəzdində fəaliyyət göstərən BFD 3.04 birdəfəlik dissertasiya şurasının iclasında keçiriləcək.

Ünvan: Bakı şəh. B.Vahabzadə küç. 9

Dissertasiya işi ilə Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Riyaziyyat və Mexanika İnstitutunun kitabxanasında tanış olmaq mümkündür.

Dissertasiya işi və avtoreferatın elektron versiyaları Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Riyaziyyat və Mexanika İnstitutunun rəsmi internet saytında yerləşdirilmişdir.

Avtoreferat **01 oktyabr 2021** – ci il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: 28.09.2021  
Kağızın formatı: 60x84 1/16  
Həcm: 40000  
Tiraj: 100