AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

Əlyazması hüququnda

QAZ-MAYE QARIŞIĞININ ƏSAS HİDROMEXANİKİ XASSƏLƏRİNİ BİLMƏKLƏ İSTİSMAR QUYULARININ İŞLƏK XARAKTERİSTİKALARININ TƏYİN EDİLMƏSİ

İxtisas: 2525.01 – "Neft və qaz yataqlarının işlənməsi və istismarı"

Elm sahəsi: Texnika elmləri

İddiaçı: **Ru Cao**

Fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi
almaq üçün təqdim edilmiş dissertasiyanın

AVTOREFERATI

Bakı – 2026

Dissertasiya işi Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti PHŞ-nin "Neft-qaz mühəndisliyi" kafedrasında yerinə yetirilmişdir.

Elmi rəhbər:	Texnika elmləri üzrə fəlsəfə doktoru, dosent **Mirzə Əhməd oğlu Dadaş-zadə**
Rəsmi opponentlər:	AMEA-nın müxbir üzvü, texnika elmləri doktoru, professor **Qalib Məmməd oğlu Əfəndiyev**
	Texnika elmləri doktoru, professor **Arif Mikail oğlu Məmmədzadə**
	Texnika elmləri üzrə fəlsəfə doktoru **Rauf Əhməd Ağa oğlu Əhmədov**

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən FD 2.03 Dissertasiya şurası.

Dissertasiya şurasının sədri: Texnika elmləri doktoru, professor **Elman Xeyrulla oğlu İskəndərov**

Dissertasiya şurasının elmi katibi: Texnika elmləri üzrə fəlsəfə doktoru, dosent **Yelena Yevgenyevna Şmonçeva**

Elmi seminarın sədri: Texnika elmləri doktoru, dosent **Natiq Neyman oğlu Həmidov**

İmzaları təsdiq edirəm:
ADNSU-nun Elmi katibi, texnika elmləri üzrə fəlsəfə doktoru, dosent **İnqlab Namiq oğlu Əliyev**

İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi.

İki fazalı qaz-maye sistemlərinin hərəkəti fazalar arasında kütlə, impuls və enerjinin qarşılıqlı əlaqəli daşınması ilə xarakterizə olunan mürəkkəb hidrodinamik prosesdir. Belə proseslərin tədqiqi bütöv mühit mexanikasının, hidrodinamikanın və çoxfazalı axınlar nəzəriyyəsinin fundamental məsələlərinə aiddir və təbii və texniki sistemlərin təhlilində geniş tətbiq olunur.

Qaz-maye sistemlərinin tədqiqinin nəzəri əsasları hidrodinamika və turbulentlik üzrə klassik işlərdə formalaşmışdır; həmin işlərdə bütöv və çoxfazalı mühitlərin hərəkət qanunauyğunluqları, turbulent axınların xüsusiyyətləri və fazalararası qarşılıqlı təsir mexanizmləri nəzərdən keçirilir.

Neft-qaz sənayesində qaz-maye qarışıqlarının hərəkəti quyuların istismarı və hasilat məhsulunun boru kəmərləri ilə nəqli zamanı mühüm rol oynayır. Axının strukturunun formalaşması, fazaların paylanması və axın rejimi hidravlik itkiləri və karbohidrogen hasilatının səmərəliliyini müəyyən edir.

Yataqların işlənməsi prosesində lay təzyiqinin, temperaturun və məsaməli mühitin filtrasiya xassələrinin dəyişməsi "lay–quyu" sistemində mürəkkəb hidrodinamik proseslərin yaranmasına səbəb olur. Quyudibiətrafı zonanın vəziyyəti xüsusi əhəmiyyət daşıyır, çünki onun çirklənməsi və filtrasiya xassələrinin dəyişməsi quyuların məhsuldarlığını əhəmiyyətli dərəcədə azaldır.

Tədqiqat obyekti hərəkəti fazaların mürəkkəb qarşılıqlı təsiri, mayenin reoloji xassələri və axın kanalının həndəsəsi ilə müəyyən edilən qaz-maye qarışığından ibarət "lay–quyu" sistemidir.

Neftin və neft emulsiyalarının reoloji xassələri Nyuton mayelərinin xassələrindən əhəmiyyətli dərəcədə fərqləndiyindən, özlü-plastik və anomal mühitlərin axınının təsviri üçün xüsusi modellərin tətbiqi tələb olunur.

Qaz-maye axınlarının təsviri üçün aparıcı tədqiqatçıların işlərində işlənmiş iki mayeli modellər, sürüşmə axını modelləri və çoxfazalı mühitlər üçün ortalaşdırılmış tənliklər geniş tətbiq olunur.

Mövcud çoxsaylı tədqiqatlara baxmayaraq, iki fazalı axının parametrlərinin dəqiq müəyyən edilməsi, mayenin reoloji xassələrinin

və skin-faktorun filtrasiya proseslərinə təsirinin nəzərə alınması ilə bağlı bir sıra məsələlər həll olunmamış qalır.

Mühəndislik təcrübəsi göstərir ki, neft-qaz yataqlarının işlənməsinin səmərəliliyi böyük dərəcədə quyuların məhsuldarlığı ilə müəyyən olunur; bu məhsuldarlıq isə quyudibiətrafı zonanın vəziyyətindən və flüidlərin filtrasiya şəraitindən asılıdır.

Bununla əlaqədar olaraq, filtrasiya xassələrinin yaxşılaşdırılmasına və hidrodinamik müqavimətlərin azaldılmasına yönəlmiş neftvermənin artırılması və quyuya axının intensivləşdirilməsi üsulları xüsusi aktuallıq kəsb edir.

Beləliklə, axının çoxfazalılığının, reoloji xassələrin və skin-faktorun birgə təsirini nəzərə alan üsulların işlənib hazırlanması aktual elmi və praktiki məsələdir.

Tədqiqatın məqsədi. Tədqiqatın məqsədi hidrodinamik və reoloji amilləri nəzərə almaqla qaz-maye axınının parametrlərinin və quyudibi təzyiqinin müəyyən edilməsinin təkmilləşdirilmiş metodikasının işlənib hazırlanmasından ibarətdir.

Tədqiqatın vəzifələri

Qarşıya qoyulmuş məqsədə nail olmaq üçün aşağıdakı vəzifələr həll edilmişdir:

— «lay – quyu» sistemində iki fazalı axının hərəkətinin riyazi modelini işləyib hazırlamaq;

— fazaların paylanmasının və axın parametrlərinin qanunauyğunluqlarını müəyyən etmək;

— sürət profilinin müəyyən edilməsi üsulunu işləyib hazırlamaq;

— fazaların sərf xarakteristikalarını müəyyən etmək;

— hidravlik itkilərin hesablanması üsulunu işləyib hazırlamaq;

— quyuağzı məlumatlar əsasında quyudibi təzyiqinin müəyyən edilməsi metodikasını yaratmaq;

— skin-faktorun axın parametrlərinə və fontanvermə prosesinə təsirini tədqiq etmək.

Tədqiqatın metodları

İşdə nəzəri təhlil, riyazi modelləşdirmə, ədədi hesablama metodlarından, həmçinin eksperimental və mədən tədqiqatlarından istifadə edilmişdir.

Tədqiqatın obyekti və predmeti

Tədqiqatın obyekti neft və qaz quyularının lüləsində iki fazalı qaz-maye sistemlərinin hərəkəti prosesləridir. Tədqiqatın predmeti qeyri-tarazlıq şəraitində quyudibi təzyiqini, axın profilini və fazalararası qarşılıqlı təsirin xüsusiyyətlərini müəyyən edən hidrodinamik parametrlərin formalaşması qanunauyğunluqlarıdır.

Elmi yenilik

Mayenin reoloji xassələrini nəzərə alan iki fazalı qaz-maye axınının yeni hidrodinamik modeli işlənib hazırlanmışdır.

İlk dəfə skin-faktorun axın parametrlərinə və fontanvermə prosesinə təsirinin qanunauyğunluqları müəyyən edilmişdir.

Hidrodinamik xarakteristikaların kompleks təhlili əsasında axın parametrlərinin müəyyən edilməsi üçün orijinal üsul təklif edilmişdir.

Çoxfazalı axını nəzərə almaqla quyuağzı məlumatlar əsasında quyudibi təzyiqinin hesablanmasının təkmilləşdirilmiş metodikası işlənib hazırlanmışdır.

Müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar

Müdafiəyə aşağıdakı əsas müddəalar çıxarılır:

— iki fazalı qaz-maye sistemlərinin hidromexanikasını nəzərə almaqla neft və qaz quyularının əsas hidrodinamik xarakteristikalarının müəyyən edilməsinə mühəndis-riyazi yanaşma;

— fazalararası qarşılıqlı təsirin, axının struktur təşkilinin, səthi qüvvələrin və qeyri-tarazlıq proseslərinin təsirini nəzərə alan quyudibi təzyiqin və axın profilinin müəyyən edilməsi üçün riyazi modellər;

— dərinlik ölçmə cihazlarından istifadə etmədən quyuağzı ölçmə məlumatları əsasında quyuların hidrodinamik xarakteristikalarının müəyyən edilməsi metodikası;

— mühəndis hesablamalarının dəqiqliyinin artırılmasını təmin edən neft və qaz quyularının istismar xarakteristikalarının proqnozlaşdırılması üçün hesablama alqoritmləri.

Tədqiqatın nəzəri əhəmiyyəti

Dissertasiya işinin nəzəri əhəmiyyəti iki fazalı qaz-maye sistemlərinin hidromexanikasının riyazi modelləşdirilməsi metodlarının daha da inkişaf etdirilməsindən ibarətdir. Alınmış analitik asılılıqlar quyudibi təzyiqinin formalaşması, fazalararası qarşılıqlı təsir və axının struktur qeyri-bircinsliyinin neft və qaz

quyularının hidrodinamik xarakteristikalarına təsir mexanizmləri haqqında təsəvvürləri genişləndirir.

Praktiki əhəmiyyəti

İşlənib hazırlanmış metodika axın parametrlərinin və quyudibi təzyiqinin müəyyən edilməsinin dəqiqliyini artırmağa imkan verir ki, bu da quyuların istismarının optimallaşdırılmasına və neftvermənin artırılmasına kömək edir.

Aprobasiyası və nəşrlər

Dissertasiya işinin əsas nəticələri neft və qaz yataqlarının işlənməsi, iki fazalı sistemlərin hidromexanikası və filtrasiya proseslərinin riyazi modelləşdirilməsi məsələlərinə həsr olunmuş beynəlxalq və respublika elmi konfranslarında, elmi seminarlarda və forumlarda məruzə edilmiş və müzakirə olunmuşdur. Bu tədbirlərə 9th International Conference on Energy Science and Applied Technology (ESAT 2024), 4th International Conference on Advances in Materials, Machinery, Electrical Engineering (AMMEE 2025) və Republican Scientific Conference of PhD Students and Young Researchers (2025) daxildir. Tədqiqatın nəticələri mütəxəssislər tərəfindən müsbət qiymətləndirilmiş və dissertasiyada təqdim olunan riyazi modellərin sonrakı inkişafında istifadə edilmişdir.

Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilatın adı

Dissertasiya işi Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetinin (ADNSU) "Neft-qaz mühəndisliyi" kafedrasında yerinə yetirilmişdir.

Nəşrlər

Dissertasiya mövzusu üzrə 11 elmi əsər, o cümlədən 7 elmi məqalə və beynəlxalq və respublika elmi konfranslarının materiallarında 4 iş nəşr edilmişdir. Dərc olunmuş məqalələrdən 2-si beynəlxalq Scopus məlumat bazasında indeksləşdirilir.

Dissertasiyanın strukturu və həcmi

Dissertasiya girişdən, üç fəsildən, nəticələrdən və istifadə edilmiş ədəbiyyat siyahısından ibarətdir. Dissertasiyanın ümumi həcmi 206092 işarə təşkil edir. Girişin həcmi 8480 işarə, birinci fəslin həcmi 40635 işarə, ikinci fəslin həcmi 96157 işarə, üçüncü fəslin həcmi 59102 işarə, nəticələrin həcmi isə 1718 işarədir. İstifadə edilmiş ədəbiyyat siyahısına 160 mənbə daxildir.

İŞİN QISA MƏZMUNU

Girişdə tədqiqat mövzusunun aktuallığı əsaslandırılmışdır. Bu aktuallıq iki fazalı qaz-maye sistemlərinin hidromexanikasını nəzərə almaqla neft və qaz quyularının əsas xarakteristikalarının müəyyən edilməsi üsullarının təkmilləşdirilməsi zərurəti ilə əlaqədardır. «Lay – quyu» sistemində qaz-maye qarışıqlarının hərəkəti fazaların paylanması, təzyiq, hərəkət sürəti, sıxlıq və qarışığın effektiv özlülüyünün eyni zamanda dəyişdiyi mürəkkəb çoxamilli prosesdir. Neft və qaz yataqlarının istismarı zamanı lay təzyiqinin, temperaturun, hasil olunan məhsulun tərkibinin və kollektorun filtrasiya xassələrinin dəyişməsi flüidlərin hərəkət şəraitinin əhəmiyyətli dərəcədə dəyişməsinə səbəb olur.

Xüsusi əhəmiyyət daşıyan amil ondan ibarətdir ki, quyu lüləsində təzyiq azaldıqda neftdə həll olmuş qaz maye fazadan ayrılır və nəticədə dəyişən qazsaxlama qabiliyyətinə malik iki fazalı axın formalaşır. Qazın həcm miqdarının dəyişməsi qarışığın effektiv sıxlığının və hidravlik müqavimətinin dəyişməsinə, həmçinin müxtəlif axın rejimləri arasında keçidlərə səbəb olur. İstismar şəraitindən asılı olaraq qabarcıqlı, tıxaclı, həlqəvi və keçid axın rejimləri formalaşa bilər. Bu rejimlərin hər biri fazaların müxtəlif paylanması və ümumi təzyiq qradiyentində qravitasiya, ətalət və fazalararası qüvvələrin müxtəlif payı ilə xarakterizə olunur.

Neft-qaz sənayesində quyuların hidrodinamik xarakteristikalarının dəqiq müəyyən edilməsi onların məhsuldarlığının qiymətləndirilməsi, quyudibi təzyiqinin hesablanması, axın profilinin müəyyən edilməsi və səmərəli istismar rejiminin seçilməsi üçün birbaşa əhəmiyyət daşıyır. Maye fazanın qeyri-Nyuton və ya anomal reoloji xassələrə malik olduğu şərait xüsusilə mürəkkəbdir. Asfaltenlər, qatranlar və digər yüksəkmolekullu komponentlərdən ibarət neftlər özlü-plastik, psevdoplastik və tiksotrop davranışla xarakterizə oluna bilər. Belə şəraitdə yalnız mayenin Nyuton davranışı fərziyyəsinə əsaslanan modellərin tətbiqi sistematik xətalara səbəb ola bilər.[1]

[1]Chhabra R. P., Richardson J. F. Non-Newtonian Flow and Applied Rheology: Engineering Applications. — 2nd ed. — Oxford: Butterworth-Heinemann, 2008. — 536 p.

Əlavə amil layın quyudibiətrafı zonasının vəziyyətidir. Çirklənmə, keçiriciliyin dəyişməsi, əlavə hidrodinamik müqavimətlərin mövcudluğu və skin-zonasının formalaşması maye və qazın quyuya axınına birbaşa təsir göstərir. İki fazalı filtrasiya şəraitində skin-faktorun təsiri daha da mürəkkəbləşir, çünki quyudibiətrafı zonanın müqavimətinin dəyişməsi yalnız debitin qiymətinə deyil, həm də təzyiqin paylanmasına və hərəkət edən qaz-maye qarışığının parametrlərinə təsir göstərir.

Aparılmış tədqiqatların əhəmiyyətli sayına baxmayaraq, mövcud modellər real neft və qaz quyularına tətbiq edildikdə həmişə tələb olunan hesablama dəqiqliyini təmin etmir. Lockhart–Martinelli, Hagedorn–Brown və Beggs–Brill korrelyasiyaları nisbi sadəliyi və mühəndis hesablamalarında istifadə imkanları sayəsində geniş tətbiq olunmuşdur. Bununla belə, onların tətbiq sahəsi ilkin asılılıqların əldə edildiyi eksperimental şəraitin diapazonu ilə müəyyən edilir. Flüidlərin xassələri, axın rejimi, quyunun həndəsəsi və ya quyudibiətrafı zonanın vəziyyəti əhəmiyyətli dərəcədə dəyişdikdə hesablama dəqiqliyi azala bilər. Dissertasiyada qeyd olunur ki, mürəkkəb mədən şəraitində mövcud yanaşmaların tətbiqi quyudibi təzyiqin, debitin və axın profilinin hesablanmış və faktiki qiymətləri arasında əhəmiyyətli fərqlərə səbəb ola bilər.[2]

Bununla əlaqədar olaraq, tədqiqatın məqsədi hidrodinamik və reoloji amilləri nəzərə almaqla qaz-maye axınının parametrlərinin və quyudibi təzyiqin müəyyən edilməsinin təkmilləşdirilmiş metodikasının işlənib hazırlanmasıdır. Qarşıya qoyulmuş məqsədə nail olmaq üçün «lay – quyu» sistemində iki fazalı axının hərəkətinin riyazi modelinin işlənib hazırlanması, fazaların və axın parametrlərinin paylanmasının tədqiqi, sürət profilinin və fazaların sərf xarakteristikalarının müəyyən edilməsi, hidravlik itkilərin hesablanması metodunun işlənib hazırlanması, quyuağzı məlumatlar əsasında quyudibi təzyiqin müəyyən edilməsi, həmçinin skin-faktorun axın parametrlərinə və fontanvermə prosesinə təsirinin tədqiqini əhatə edən qarşılıqlı əlaqəli məsələlər kompleksi həll edilir.

[2]Govier G. W., Aziz K. The Flow of Complex Mixtures in Pipes. — New York: Van Nostrand Reinhold, 1972. — 800 p.

İşdə nəzəri təhlil, riyazi modelləşdirmə, ədədi hesablama metodlarından, həmçinin eksperimental və mədən tədqiqatlarından istifadə edilmişdir. Tədqiqatın obyekti neft və qaz quyularının lüləsində iki fazalı qaz-maye sistemlərinin hərəkəti proseslərdir. Tədqiqatın predmeti isə qeyri-tarazlıq şəraitində quyudibi təzyiqi, axın profilini və fazalararası qarşılıqlı təsirin xüsusiyyətlərini müəyyən edən hidrodinamik parametrlərin formalaşması qanunauyğunluqlarıdır.

İşin elmi yeniliyi mayenin reoloji xassələrini nəzərə alan iki fazalı qaz-maye axınının yeni hidrodinamik modelinin işlənib hazırlanmasından; skin-faktorun axın parametrlərinə və fontanvermə prosesinə təsirinin qanunauyğunluqlarının müəyyən edilməsindən; hidrodinamik xarakteristikaların kompleks təhlili əsasında axın parametrlərinin müəyyən edilməsi üçün orijinal metodun təklif edilməsindən; həmçinin çoxfazalı axını nəzərə almaqla quyuağzı məlumatlar əsasında quyudibi təzyiqin hesablanmasının təkmilləşdirilmiş metodikasının işlənib hazırlanmasından ibarətdir.

Tədqiqatın nəzəri əhəmiyyəti iki fazalı qaz-maye sistemlərinin hidromexanikasının riyazi modelləşdirilməsi metodlarının daha da inkişaf etdirilməsi ilə bağlıdır. Alınmış asılılıqlar quyudibi təzyiqin formalaşması, fazalararası qarşılıqlı təsir və axının struktur qeyri-bircinsliyinin neft və qaz quyularının hidrodinamik xarakteristikalarına təsiri mexanizmləri haqqında təsəvvürləri genişləndirir. Praktiki əhəmiyyəti axın parametrlərinin və quyudibi təzyiqin müəyyən edilməsinin dəqiqliyinin artırılması imkanından ibarətdir ki, bu da quyuların istismarının optimallaşdırılması və yataqların işlənməsinin səmərəliliyinin artırılması üçün ilkin şərait yaradır.

Birinci fəsildə iki fazalı qaz-maye sistemlərinin hidromexanikası sahəsində tədqiqatların müasir vəziyyətinin sistemləşdirilmiş təhlili aparılmışdır. Çoxfazalı mühitlərin hərəkətinin əsas nəzəri müddəaları, müasir riyazi və empirik modellər, iki fazalı axınların tədqiqinin tarixi inkişaf mərhələləri, mövcud problemlər və həll olunmamış məsələlər, həmçinin neft və qaz quyularının xarakteristikalarının müəyyən edilməsi üsullarının gələcək təkmilləşdirilməsinin əsas istiqamətləri nəzərdən keçirilmişdir.

İki fazalı qaz-maye sisteminin hərəkəti fazalar arasında kütlə, impuls və enerjinin eyni vaxtda daşınması ilə əlaqəli mürəkkəb hidrodinamik proses kimi nəzərdən keçirilir. Birfazalı axından fərqli olaraq, iki fazalı axının xarakteristikaları yalnız ayrı-ayrı komponentlərin fiziki xassələri ilə deyil, həm də onların qarşılıqlı hərəkətinin xüsusiyyətləri ilə müəyyən edilir. Ən mühüm amillərə fazaların nisbi sürəti, qazsaxlama qabiliyyəti, axının strukturu, fazalararası sürtünmə, ağırlıq qüvvələri, səthi gərilmə, maye fazanın reoloji xüsusiyyətləri və kanalın həndəsi parametrləri aiddir.

Neft və qaz quyularında iki fazalı axının bilavasitə hasilat məhsulunun quyu lüləsi boyunca qalxması prosesində formalaşdığı göstərilmişdir. Təzyiq azaldıqda həll olmuş qaz ayrılır, nəticədə qaz fazasının miqdarı tədricən artır və qarışığın parametrləri quyu dərinliyi boyunca dəyişir. Nəticədə qarışığın sıxlığı, effektiv özlülüyü və hidravlik müqaviməti sabit kəmiyyətlər olmur. Bu isə quyu lüləsinin uzunluğu boyunca təzyiq və sürətin dəyişən paylanmasının formalaşmasına gətirib çıxarır.

Belə proseslərin nəzəri təsviri ayrı-ayrı fazalar üçün kütlənin, impulsun və enerjinin saxlanması tənliklərinə əsaslanır. Tələb olunan dəqiqlikdən və detallaşdırma səviyyəsindən asılı olaraq homogen modellər, ayrılmış modellər, iki mayeli modellər, sürüşmə axını modelləri və digər çoxfazalı yanaşmalar tətbiq olunur. Homogen modellərdə fazaların eyni sürətlə hərəkət etdiyi və ümumi təzyiq sahəsinə malik olduğu qəbul edilir ki, bu da hesablamanı əhəmiyyətli dərəcədə sadələşdirir. Lakin belə fərziyyə qaz və mayenin real nisbi hərəkətini təsvir etmək imkanlarını məhdudlaşdırır.

Daha mürəkkəb ayrılmış və iki mayeli modellərdə fazaların sürətlərindəki fərq nəzərə alınır, onların qarşılıqlı təsiri isə müvafiq fazalararası mübadilə əmsalları vasitəsilə təsvir edilir. Bu yanaşma fazaların paylanmasını və müxtəlif axın rejimləri arasında keçidləri daha ətraflı nəzərdən keçirməyə imkan verir. Bununla belə, modelin fiziki detallaşdırılmasının artması ilkin parametrlərin sayının və hesablama mürəkkəbliyinin artması ilə müşayiət olunur.

İki fazalı axının əsas parametrlərindən biri qarışıqda qaz fazasının həcm payını xarakterizə edən qazsaxlama qabiliyyətidir. Qazsaxlama qabiliyyətinin artması ilə qarışığın effektiv sıxlığı,

fazaların hərəkət sürəti və hidravlik itkilərin qiyməti əhəmiyyətli dərəcədə dəyişir. Quyu şəraitində bu dəyişikliklər təzyiqin paylanmasına birbaşa təsir göstərir və quyudibi təzyiqin qiymətinə əhəmiyyətli təsir edə bilər.

Birinci fəsildə mövcud mühəndis korrelyasiyalarına xüsusi diqqət yetirilmişdir. Ən geniş yayılmış yanaşmalar kimi Lockhart–Martinelli, Hagedorn–Brown və Beggs–Brill modelləri nəzərdən keçirilmişdir. Bu modellər təzyiq qradiyentlərini və iki fazalı axının digər parametrlərini nisbətən sürətlə müəyyən etməyə imkan verdiyinə görə neft-qaz mühəndisliyində geniş tətbiq olunur.

Lockhart–Martinelli modeli iki fazalı axının hidravlik müqavimətinin hesablanması üçün ilkin mühəndis korrelyasiyalarından biridir. Onun üstünlüklərinə nisbətən sadə olması və az sayda ilkin parametr tələb etməsi aiddir. Bununla belə, model məhdud eksperimental məlumatlar əsasında işlənib hazırlanmış və mürəkkəb keçid rejimləri, maye fazanın reoloji xüsusiyyətlərinin dəyişməsi və quyudibiətrafı zonanın vəziyyətinin təsiri də daxil olmaqla, müasir neft və qaz quyularının bir çox xüsusiyyətlərini nəzərə almır.

Hagedorn–Brown korrelyasiyası şaquli quyularda təzyiq qradiyentinin hesablanması üçün geniş tətbiq olunur. Daha erkən modellərlə müqayisədə o, fazaların paylanmasının və qaz-maye qarışığının hərəkətinin daha ətraflı təsvirini təmin edir. Lakin onun dəqiqliyi də nəzərdən keçirilən şəraitin ilkin eksperimental məlumatların diapazonuna uyğunluğundan asılıdır. Mayenin reoloji xüsusiyyətlərinin və skin-faktorun təsiri modeldə birbaşa nəzərə alınmır.

Beggs–Brill modeli müxtəlif istiqamətli borularda iki fazalı axının hesablanması imkanına görə geniş yayılmışdır. Model qarışığın hərəkət şəraitindən asılı olaraq axın rejiminin dəyişməsini nəzərə alır və buna görə də əlverişli mühəndis aləti hesab olunur. Lakin empirik əmsalların və asılılıqların istifadəsi onun mürəkkəb geoloji-texniki sistemlərdə və qeyri-standart lay flüidləri xassələrində tətbiqini məhdudlaşdırır. Dissertasiyada bu modellərin müqayisəsi göstərir ki, onların heç biri mayenin reoloji xassələrinin, quyudibiətrafı zonanın

vəziyyətinin və fazalararası qarşılıqlı təsirin məcmu təsirini tam nəzərə almır.

Birinci fəsildə iki fazalı axınların tədqiqinin tarixi inkişafı da nəzərdən keçirilmişdir. İlkin tədqiqatlar əsasən istilik energetikası və nüvə energetikasının məsələləri ilə bağlı olmuşdur. Bu sahələrdə qaz-maye axınları istilik mübadiləsinin və avadanlıqların dayanıqlığının hesablanması üçün mühüm əhəmiyyət daşıyırdı. Sonralar formalaşdırılmış nəzəri və eksperimental yanaşmalar neft-qaz sənayesində geniş tətbiq olunmuşdur.

Zuber, Wallis və Griffith tərəfindən aparılan tədqiqatlar qabarcıqların yaranması və birləşməsi mexanizmlərinin, fazalararası qarşılıqlı təsirin və fazalararası səthin dinamikasının öyrənilməsi ilə iki fazalı axınlar nəzəriyyəsinin inkişafına mühüm töhfə vermişdir. Neft-qaz sənayesində isə quyularda, nasos-kompressor borularında və hasilat məhsullarının nəqli sistemlərində qaz-maye axınlarının hesablanması üsulları sonrakı inkişafını tapmışdır.[3]

Mühüm mərhələlərdən biri empirik və yarıempirik korrelyasiyaların meydana gəlməsi olmuşdur. Bu korrelyasiyalar axınların əsasən eksperimental tədqiqindən mühəndis hesablamalarına keçməyə imkan vermişdir. Sonralar hesablama texnikasının inkişafı hesablama hidrodinamikası (CFD) metodlarının geniş tətbiqinə şərait yaratmışdır. CFD yanaşmaları ayrı-ayrı fazaların hərəkətini, fazalararası qarşılıqlı təsiri, turbulentliyi, kapillyar və qravitasiya effektlərini, həmçinin kanalların daha mürəkkəb həndəsəsini modelləşdirməyə imkan vermişdir. Bununla belə, CFD modellərinin yüksək hesablama mürəkkəbliyi onların operativ mədən hesablamalarında tətbiqini məhdudlaşdırır.[4]

Birinci fəslin ayrıca bölməsi mövcud tədqiqatların problemlərinə və həll olunmamış məsələlərinə həsr edilmişdir. Əsas problemlərdən birinin geniş istismar şəraiti diapazonunda müxtəlif iki

---

[3]Zuber N., Findlay J. A. Average Volumetric Concentration in Two-Phase Flow Systems // Journal of Heat Transfer. — 1965. — Vol. 87, No. 4. — P. 453–468.

[4]Versteeg H. K., Malalasekera W. An Introduction to Computational Fluid Dynamics: The Finite Volume Method. — 2nd ed. — Harlow: Pearson Education, 2007. — 520 p.

fazalı axın rejimlərini eyni dərəcədə adekvat təsvir edə bilən universal riyazi modelin olmaması olduğu müəyyən edilmişdir.

Klassik korrelyasiyaların əksəriyyəti fazaların tarazlığı, fiziki xassələrin sabitliyi və axın rejiminin dayanıqlılığı ilə bağlı sadələşdirici fərziyyələrə əsaslanır. Real quyularda belə şərtlər həmişə təmin olunmur. Qaz-maye qarışığı fazaların fasiləsiz yenidən paylanması, sürət və təzyiqin dəyişməsi, lokal pulsasiyalar və axın rejimləri arasında keçidlərlə xarakterizə olunur.

Digər mühüm məhdudiyyət laboratoriya tədqiqatlarının nəticələrinin mədən şəraitinə keçirilməsi ilə bağlıdır. Laboratoriya qurğularının həndəsi ölçüləri istismar quyularının ölçülərindən əhəmiyyətli dərəcədə fərqlənir və nəticədə oxşarlıq meyarları, hərəkət rejimi, səthi və kapillyar qüvvələrin nisbi təsiri dəyişir. Buna görə laboratoriya korrelyasiyalarının əlavə uyğunlaşdırma aparılmadan birbaşa istifadəsi quyuların hidrodinamik parametrlərinin müəyyən edilməsində sistematik xətalara səbəb ola bilər.

Digər mühüm problem qeyri-stasionar, termodinamik və kapillyar effektlərin kifayət qədər nəzərə alınmamasıdır. Qaz-maye qarışığının hərəkəti zamanı təzyiq və temperaturun dəyişməsi fazaların fiziki xassələrinin və fazalararası qarşılıqlı təsir şəraitinin dəyişməsi ilə müşayiət olunur. Kapillyar qüvvələrin təsiri aşağı keçiricilikli kollektorlar və məsamələrin kiçik xarakterik ölçüləri şəraitində xüsusilə əhəmiyyətli ola bilər.

Mayenin reoloji xassələri də iki fazalı axının strukturuna əhəmiyyətli təsir göstərir. Anomal özlülük mövcud olduqda neftin yüksəkmolekullu komponentlərinin miqdarının dəyişməsi effektiv özlülüyün, hidravlik müqavimətin və fazaların sürət paylanmasının dəyişməsinə səbəb ola bilər. Buna görə maye fazanın Nyuton davranışını nəzərdə tutan modellərin tətbiqi real filtrasiya və hasilat məhsulunun hərəkəti proseslərini həmişə adekvat təsvir etməyə imkan vermir.

Axın rejimlərinin identifikasiyası problemi xüsusi yer tutur. Real quyuda təzyiqin azalması, qazsaxlama qabiliyyətinin dəyişməsi və fazaların qarşılıqlı təsiri nəticəsində hərəkət rejimi quyu lüləsinin uzunluğu boyunca dəyişə bilər. Qabarcıqlı rejimdən tıxaclı, daha sonra isə həlqəvi rejimə keçid hidravlik müqavimətin və təzyiq

paylanmasının xarakterinin dəyişməsi ilə müşayiət olunur. Buna görə axın rejiminin düzgün müəyyən edilməsi sonrakı hesablamaların dəqiqliyinin artırılması üçün mühüm şərtdir.

Birinci fəsildə həmçinin göstərilmişdir ki, quyudibiətrafı zonanın vəziyyəti iki fazalı axının xarakteristikaları ilə birlikdə nəzərdən keçirilməlidir. Skin-faktor quyudibiətrafı zonada əlavə hidrodinamik müqavimətləri əks etdirir və flüidin quyuya axınına birbaşa təsir göstərir. İki fazalı filtrasiya şəraitində skin-faktorun dəyişməsi axın profilinin, təzyiq paylanmasının və fontanvermə şəraitinin dəyişməsi ilə müşayiət oluna bilər. Buna görə bu amilin riyazi modeldən çıxarılması quyunun məhsuldarlığının hesablanması nəticələrinin təhrif olunmasına səbəb ola bilər.

Aparılmış təhlil əsasında riyazi modellərin təkmilləşdirilməsi üçün əsas tələblər formalaşdırılmışdır. Perspektiv model fazaların nisbi hərəkətini, fazalararası sürtünməni, axının strukturunun dəyişməsini, mayenin reoloji xassələrini, qeyri-tarazlıq proseslərini və quyudibiətrafı zonada əlavə müqavimətləri nəzərə almalıdır. Eyni zamanda model yalnız fundamental təhlil üçün deyil, həm də mühəndis hesablamaları üçün yararlı olması məqsədilə məqbul hesablama mürəkkəbliyini saxlamalıdır.

Müasir inkişaf istiqamətlərindən biri klassik hidrodinamik modellərin hesablama və intellektual metodlarla inteqrasiyasıdır. CFD metodları axının lokal strukturunu daha ətraflı tədqiq etməyə imkan verir, maşın öyrənməsi metodları və neyron şəbəkələr isə ölçülən parametrlərlə quyunun hesablanmış xarakteristikaları arasındakı qeyri-xətti əlaqələrin müəyyən edilməsində istifadə oluna bilər. Dissertasiyada qeyd edilir ki, belə yanaşmalar quyudibi təzyiqin və digər istismar parametrlərinin proqnozlaşdırılmasının dəqiqliyinin artırılması üçün perspektiv istiqamət hesab olunur.

Bununla belə, yalnız intellektual metodlardan istifadə edilməsi də bütün məsələləri həll etmir. Neyron şəbəkə modelləri reprezentativ təlim məlumatları və giriş parametrlərinin düzgün seçilməsini tələb edir, fiziki-riyazi modellər isə fazaların hərəkətinin fiziki qanunauyğunluqlarını birbaşa nəzərə almağa imkan verir. Buna görə fiziki əsaslandırılmış riyazi modellərin müasir hesablama və

intellektual metodlarla birləşdirilməsi ən perspektivli yanaşma hesab olunur.

Birinci fəsildə aparılmış təhlilin nəticəsi olaraq hazırkı tədqiqatın elmi problemi formalaşdırılmışdır: iki fazalı axının, mayenin reoloji xassələrinin, fazalararası qarşılıqlı təsirin xüsusiyyətlərinin və quyudibiətrafı zonanın təsirinin kompleks şəkildə nəzərə alınması ilə neft və qaz quyularının əsas hidrodinamik xarakteristikalarını müəyyən etməyə imkan verən mühəndis-riyazi yanaşmanın işlənib hazırlanması zərurəti.

Beləliklə, ədəbiyyat təhlilinin nəticələri göstərir ki, iki fazalı sistemlərin hidromexanikasının gələcək inkişafı yalnız modellərin fiziki detallaşdırılmasının artırılmasına deyil, həm də onların praktiki tətbiq imkanlarının genişləndirilməsinə yönəldilməlidir. İşlənib hazırlanan üsullar mövcud mədən məlumatları əsasında quyudibi təzyiqin, axın profilinin, hidravlik itkilərin və digər xarakteristikaların müəyyən edilməsinə imkan verməlidir.

Aparılmış icmal dissertasiyanın ikinci fəslində təqdim olunan iki fazalı sistemlərin riyazi modelləşdirilməsi və tədqiqinə keçidi əsaslandırır. İkinci fəsil qaz-maye sistemlərinin mexanikasına, axının hidrodinamik xarakteristikalarının modelləşdirilməsinə, filtrasiya və axın proseslərinin riyazi təsvirinə, həmçinin quyuağzından əldə edilən məlumatlar əsasında quyudibi təzyiqin müəyyən edilməsi metodikasının işlənib hazırlanmasına həsr edilmişdir.

İkinci fəsildə A. Armand modelinin əsasında borularda və şaquli quyu lüləsində iki fazalı qaz-maye qarışığının hərəkətinin dərinləşdirilmiş tədqiqi aparılmışdır. Əsas diqqət tarazlıq tənliklərinin çıxarılmasına, fazaların sürətlərinin paylanmasına, qarışığın həcm sərfinin müəyyən edilməsinə, hidravlik müqavimət qanununa, həmçinin həcm qazsaxlama qabiliyyətinin və fazalararası qarşılıqlı təsirin təsirini nəzərə almaqla iki fazalı sistemin effektiv özlülüyünün təhlilinə yönəldilmişdir.

İlkin fiziki model kimi boru kəmərində qərarlaşmış bircins hərəkət edən qaz-maye qarışığının elementar silindrik həcmi nəzərdən keçirilir. Bütöv mühit mexanikasının əsas müddəalarına əsasən, axın oxu boyunca təsir edən bütün qüvvələrin cəmi sıfıra bərabər olmalıdır. Tarazlıq şərti aşağıdakı şəkildə yazılır:

$$F_1-F_2-T=0 \quad (1)$$

və ya genişləndirilmiş formada:

$$p_1\pi r^2-p_2\pi r^2+\tau_{CM}2\pi rL=0 \quad (2)$$

burada:

F_1 və F_2 — ayrılmış sahənin giriş və çıxışında təsir edən təzyiq qüvvələri;

T — sürtünmə qüvvəsi;

τ_{qar} — qarışığın toxunan gərginliyi;

r — borunun radiusu;

L — elementar sahənin uzunluğu.

Bu tənlik təzyiq fərqi ilə boru divarında özlü sürtünmə nəticəsində yaranan hərəkət müqaviməti arasındakı fiziki tarazlığı əks etdirir. Məhz bu münasibət ikifazalı axının riyazi modelinin sonrakı qurulması üçün fundamental əsas hesab olunur.

Axının strukturunun daha dəqiq təsviri üçün maye və qaz fazaları üzrə toxunan gərginliklər ayrıca müəyyən edilir:

$$\tau_m=\mu_m\frac{dV_m}{dr},$$
$$\tau_q=\mu_q\frac{dV_q}{dr} \quad (3)$$

burada:

μ_m, μ_q — maye və qaz fazalarının dinamik özlülükləri;

V_m, V_q — müvafiq fazaların sürətləri.

İkifazalı sistemdə fazalararası qarşılıqlı təsir mövcud olduğundan, qarışığın ümumi həcmində qaz fazasının payını xarakterizə edən həcm qaztutumu φ anlayışı mühüm rol oynayır. φ artdıqca axının strukturu dəyişir, fazalararası qüvvələr güclənir, həmçinin borunun radiusu üzrə sürətlərin paylanması dəyişir.

Tarazlıq tənliyi əsasında və hərəkət tənliyinin inteqrallaşdırılmasından sonra bərabər laminar axında maye fazasının sürət paylanması əldə edilmişdir:

$$V_m=\frac{\Delta PR^2}{\mu_m L}\left(1-\frac{q^2}{R^2}\right) \quad (4)$$

Bu tənlik laminar axın rejimi üçün xarakterik olan klassik

parabolik sürət profilini ifadə edir. Tənlik göstərir ki, maksimal sürət borunun oxunda əldə olunur, divara yaxınlaşdıqca isə sürət tədricən azalaraq sıfıra bərabər olur.

Sərhəd şərtləri aşağıdakı formada qəbul edilir:

$$\frac{dV}{dr}\Big| r=0 \; u(R)=0, \tag{5}$$

Birinci şərt mayenin boru divarına yapışması effektini, ikinci şərt isə axının mərkəzi oxuna nəzərən simmetriyasını əks etdirir.

Beləliklə, sürət profili ciddi parabolik formaya malikdir ki, bu da laminar axının hidrodinamikası haqqında klassik təsəvvürlərə tam uyğundur.

Əgər $\varphi = 0$ olarsa, yəni qaz fazası mövcud deyilsə, onda birfazalı laminar axın üçün klassik Stoks tənliyi alınır:

$$V_{max\ m}=\frac{\Delta p}{4\mu_m L}R^2 \tag{6}$$

Sürətin paylanması əsasında qarışığın həcm sərfi çıxarılır. Halqavari sahə elementi üçün:

$$dF=2\pi r dr \tag{7}$$

elementar sərf aşağıdakı kimi müəyyən edilir:

$$dQ=V_m 2\pi r dr \tag{8}$$

Borunun bütün en kəsiyi üzrə inteqrallaşdırma tam həcm sərfini verir:

$$Q_m=\frac{\pi\Delta P}{8\mu_m}\frac{R^4}{L}(1-\varphi)^{1.53} \tag{9}$$

Alınmış düstur göstərir ki, həcm qaztutumu φ-nin artması maye fazasının sərfinin azalmasına gətirib çıxarır, çünki en kəsiyinin bir hissəsini qaz fazası tutur və fazalararası enerji itkiləri artır.

$\varphi = 0$ olduqda bu ifadə klassik Puazeyl qanununa keçir ki, bu da işlənib hazırlanmış modelin fiziki cəhətdən düzgünlüyünü təsdiq edir.

Boru kəmərində təzyiq itkilərinin qiymətləndirilməsi üçün hidravlik müqavimət qanunundan istifadə olunur. Reynolds ədədi və hidravlik müqavimət əmsalı daxil edilərək laminar rejim üçün aşağıdakı ifadə alınır:

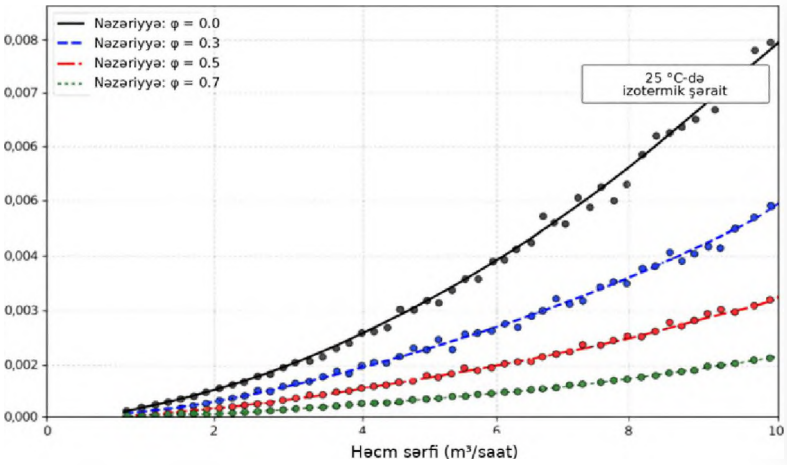
$$\lambda_m=\frac{64}{Re_m} \tag{10}$$

burada Re_m— maye fazasının Reynolds ədədi.

Müəyyən edilmişdir ki, Re < 2300 olduqda axın sabit laminar xarakterini saxlayır və hidravlik müqavimət əsasən özlü qüvvələrlə müəyyən olunur. Reynolds ədədinin artması zamanı keçid, daha sonra isə turbulent rejim yaranır ki, bu da təzyiq itkilərinin əhəmiyyətli dərəcədə artması ilə müşayiət olunur.

Şəkil 1-də müxtəlif qaztutumu φ qiymətləri üçün təzyiq fərqinin həcm sərfindən asılılığı təqdim olunmuşdur.

İkinci fəsildə ikifazalı qarışığın effektiv özlülüyünün müəyyən edilməsinə xüsusi diqqət yetirilmişdir. Real şəraitdə axın iki müstəqil fazanın sadə cəmi kimi qəbul edilə bilməz, çünki maye və qaz arasında mürəkkəb fazalararası qarşılıqlı təsir yaranır ki, bu da toxunan gərginliklərin dəyişməsinə və enerjinin yenidən paylanmasına səbəb olur.



Şəkil 1. Müxtəlif qaztutumu φ qiymətlərində təzyiq fərqinin həcm sərfindən asılılığı

Bu effekti təsvir etmək üçün aşağıdakı ifadədən istifadə olunur:

$$\tau_{qar} = \tau_m (1-\varphi)^n \qquad (11)$$

burada n — axının strukturunu nəzərə alan empirik əmsaldır. Müəyyən edilmişdir ki, qaztutumunun artması ilə effektiv toxunan gərginlik və hidrodinamik müqavimət artır.

Bu ifadə göstərir ki, effektiv toxunan gərginlik yalnız maye fazasının xüsusiyyətləri ilə deyil, həm də qaz tərkib hissəsinin məkan

üzrə paylanması ilə müəyyən olunur. Qaztutumu artdıqda axının strukturu dəyişir, fazalararası sərhəddə turbulentlik artır, hərəkətə qarşı müqavimət güclənir və hidrodinamik itkilər yüksəlir.

Aparılmış təhlil göstərmişdir ki, A. Armand modelinin tətbiqi klassik birfazalı modellərlə müqayisədə qaz fazasının axın parametrlərinə təsirini daha dəqiq nəzərə almağa imkan verir. Alınmış asılılıqlar eksperimental məlumatlarla yaxşı uyğunluq təşkil edir və neft-qaz quyularının işinin təhlili zamanı mühəndis hesablamaları üçün əsas kimi istifadə oluna bilər.

Beləliklə, ikinci fəsildə ikifazalı sistemlərin hidromexanikasının sonrakı tədqiqi üçün fiziki-riyazi baza formalaşdırılmışdır ki, bu da sadələşdirilmiş empirik asılılıqlardan quyularda və boru kəmərlərində qaz-maye qarışıqlarının hərəkətinin real proseslərinin daha dəqiq təsvirinə keçməyə imkan verir.

Bu sərf düsturu ilk dəfə 1840-cı ildə fransız həkimi Jan Leonard Mari Puazeyl tərəfindən kapilyar borularda suyun hərəkətinin tədqiqi zamanı eksperimental olaraq əldə edilmişdir. Hazırkı işdə bu asılılıq qaztutumu φ və fazalararası qarşılıqlı təsir nəzərə alınmaqla iki fazalı qaz-maye qarışığı üçün genişləndirilmişdir.

Dairəvi borularda qarışığın laminar hərəkəti zamanı təzyiq itkilərinin müəyyən edilməsi üçün aşağıdakı ifadədən istifadə olunur:

$$h_w = \frac{\Delta P}{Y_m} = \frac{32\mu_m \cdot \nu_m L}{Y_m D^2 (1-\varphi)^{1.53}} \qquad (12)$$

Bu tənlik hidravlik müqavimət qanunudur. $\varphi = 0$ olduqda bircins maye üçün ifadə alınır.

Bu tənliyin hər iki tərəfini $(2\nu_m)$ qiymətinə vuraraq təzyiq itkilərini müəyyən edirik:

$$h_w = \frac{32\mu_m \cdot \nu_m L}{Y_m D^2 (1-\varphi)^{1.53}} \quad \frac{2\nu_m}{2\nu_m} = \frac{64\mu_m}{Y_m \cdot \nu_m D^2} \quad \frac{L}{D} \frac{\nu_m^2}{2} \frac{1}{(1-\varphi)^{1.53}} \qquad (13)$$

Mayenin xüsusi çəkisi və dinamik özlülüyü müvafiq kinematik axın parametri vasitəsilə əlaqələndirilir.

$$h_w = \frac{64\upsilon_m}{r_m D} \quad \frac{L}{D} \frac{\nu_m^2}{2g} \frac{1}{(1-\varphi)^{1.53}} \qquad (14)$$

Bu tənliyə Reynolds ədədi anlayışı daxil edilir:

$$h_w = \frac{64}{Re_m} \frac{L}{D} \frac{1}{(1-\varphi)^{1.53}} \quad (15)$$

Bu ifadənin hər iki tərəfini ($\nu_m g$) qiymətinə vuraraq sürtünmə üzrə təzyiq itkilərini alırıq:

$$\Delta P_m = \frac{64}{Re_m} \frac{L}{D} \frac{\nu_m^2}{2} \rho_m \frac{1}{(1-\varphi)^{1.53}} \quad (16)$$

Quyudibi təzyiqinin qiymətinin birbaşa müəyyən edilməsi filtrasiya qanunauyğunluqlarını təyin etməyə imkan verir. Quyudibi təzyiqi haqqında məlumatlar mexanikləşdirilmiş istismar üçün dərinlik avadanlığının layihələndirilməsində və fontan qaldırıcısının iş səmərəliliyinin müəyyən edilməsində istifadə olunur.

Şaquli boru üçün tənlik aşağıdakı şəkildə yazıla bilər:

$$\frac{dP}{dx} = \rho_m g(1-\varphi) + \rho_q g\varphi + \frac{i_m}{(1-\varphi)^{1.53}} \quad (17)$$

burada:

$\frac{dP}{dx}$ — təzyiq qradiyenti;

i_m — hidravlik meyillik;

ρ_q — iş şəraitində qazın sıxlığı.

$$\rho_q = \rho_0 \frac{PT_0}{P_0 TZ} \quad (18)$$

burada:

ρ_0 — atmosfer şəraitində qazın sıxlığı;

T_0 — normal temperatur;

T — verilmiş temperatur;

P_0 — atmosfer təzyiqi;

Z — sıxılma əmsalı;

P — verilmiş təzyiq.

Anlayış daxil edilir:

$$a = \rho_0 \frac{T_0}{P_0 TZ}$$

$$b = \rho_m g(1-\varphi) + \frac{i_m}{(1-\varphi)^{1.53}} \rho_m g \quad (19)$$

Onda alırıq:

Filtrasiyanın inteqral nəzəriyyəsinin metodlarına əsasən alırıq:

$$\int_{P_{qa}}^{P_{qd}} \frac{dP}{aP+b} = \int_0^L dx \qquad (20)$$

burada:

P_{qd} — quyudibi təzyiqi;

P_{qa} — quyu ağzı təzyiqi;

L — qaldırıcının uzunluğu.

İnteqralı açaraq alırıq:

$$\ln \frac{aP_{qd}+b}{aP_{qa}+b} = La \qquad (21)$$

Həqiqi qaztutumunun müəyyən edilməsində A. Armandın eksperimental məlumatlarından istifadə edək:

$$\varphi=(1+0.073\ln X) \qquad (22)$$

X — kütləvi qaztutumu.

$$X=\frac{M_q}{M_q+M_m}$$

burada:

M_q— qazın kütlə sərfi;

M_m— mayenin kütlə sərfi.

$$\frac{aP_{qd}+b}{aP_{qa}+b} = e^{La} \qquad (23)$$

Qüvvət ifadəsini sıraya ayıraq:

$$e^{La}=1+La \qquad (24)$$

Onda alırıq:

$$\frac{aP_{qd}+b}{aP_{qa}+b} = 1+\frac{L\rho_0 gT_0}{P_0 TZ} \qquad (25)$$

Birinci yaxınlaşmada sıxılma əmsalı quyu ağzı şəraitində müəyyən edilir.

İşarələri nəzərə alaraq alırıq:

$$P_{qd}=P_{qa}+\frac{L\rho_0 gT_0}{P_0 TZ_y}\left[P_{qa}+\frac{\rho_m g(1-\varphi)+i_m\rho_m g(1-\varphi)^{-1.53}}{\frac{\rho_0 gT_0}{P_0 TZ_y}\varphi}\right] \qquad (26)$$

$\varphi = 0$ olduqda bircins maye üçün hərəkət tənliyini alırıq.

$$P_3=P_{qa}+\rho_m gL+i_m\rho_m gL=P_{qa}+\rho_m gL(1+i_m) \qquad (27)$$

φ = 1 olduqda bircins qaz üçün hərəkət tənliyi alınır.

$$P_{qd}=P_{qa}(1+\frac{L\rho_0 gT_0}{P_0TZ_y}) \quad (28)$$

Cədvəl 1.

Quyular üzrə hesablanmış və eksperimental məlumatların müqayisəsi

Quyu №	ρ neft, kg/m³	L qaldırıcı, m	$\frac{P_{qa}}{P_0}$ (quyu ağzı)	Q_m m³/s	Q_q m³/s	X (kütləvi)	φ (həqiqi qaztutumu)	ρ qarışıq, kg/m³	$\frac{P_{qd}}{P_0}$ (hes.)	$\frac{P_{qd}}{P_0}$ (təcr.)
392	855	1708	17	0.00095	0.0624	0.528	0.297	601.5	137.5	134.9
----		----	14.5	0.00127	0.0838	0.506	0.305	615.9	134.1	133.6
382		1744	13.0	0.00122	0.0803	0.507	0.303	595.9	135.0	132.2
----		----	15.5	0.00099	0.0659	0.505	0.284	633.1	139.4	140.6
99		1663	11.0	0.00146	0.0962	0.509	0.319	605.1	133.2	123.1
904		1606	7.5	0.00143	0.0945	0.511	0.290	604.5	108.9	112.1
37		1405	14.0	0.00107	0.0704	0.506	0.252	627.5	112.0	112.6
39		1780	15.0	0.00077	0.0472	0.505	0.315	658.5	139.1	143.6
580		1770	11.9	0.00139	0.0912	0.508	0.289	608.5	133.5	134.0
581		1482	14.5	0.00102	0.0685	0.506	0.288	629.6	115.8	116.3

Ölçüsüz təzyiq:

$$\overline{P_y}=\frac{P_{qa}}{P_0},$$

burada P_y— quyu ağzı təzyiqi, P_0— atmosfer təzyiqi.

Cədvəldə quyular üzrə hesablanmış və eksperimental məlumatların müqayisəsi təqdim olunmuşdur.

Göründüyü kimi, qiymətlər bir-biri ilə yaxşı uyğunluq təşkil edir.

Fərqlər cüzidir və yol verilən hədlər daxilindədir.

Bu isə modelin düzgünlüyünü və tətbiq oluna bilməsini təsdiq edir.

Üçüncü fəsildə skin-faktorun, anomal özlülüyün və ikifazalı axının struktur xüsusiyyətlərinin layın quyudibi zonasında filtrasiya proseslərinə, təzyiqin paylanmasına və quyunun debitinə təsiri tədqiq edilmişdir. Xüsusi diqqət hidrodinamik sistemin xarakteristikalarını əhəmiyyətli dərəcədə dəyişən və neft-qaz quyularının istismar səmərəliliyinə təsir göstərən skin-zonasının mövcudluğu şəraitində elastik-özlü-plastik mayenin hərəkətinin təhlilinə yönəldilmişdir.

Məlumdur ki, layın quyudibi zonasının zədələnməsi, məsamə boşluğunun çirklənməsi, asfalt-qatran-parafin maddələrinin çökməsi, duz yığılması və mexaniki kolmatasiya zamanı filtrasiya müqavimətinin əlavə zonası — skin-zonası formalaşır. Bu zonanın mövcudluğu təzyiq fərqinin artmasına, quyunun məhsuldarlığının azalmasına və lay flüidinin axın şəraitinin pisləşməsinə səbəb olur.

Bu şəraitdə filtrasiyanın təsviri üçün struktur müqaviməti nəzərə alan elastik-özlü-plastik mayenin hərəkət modeli istifadə olunur. Növbəti mərhələdə radial axında elementar təzyiq fərqi üçün ifadə əldə edilmişdir:

$$\frac{Q\eta}{2\pi h k_m} r\cdot dr+\frac{\alpha\tau_0}{\sqrt{k_q}} dr=dP \qquad (29)$$

Bu tənlik elastik-özlü-plastik mühitdə yaranan özlü müqavimətin və əlavə sürüşmə gərginliyinin birgə təsirini əks etdirir. Klassik Darsi qanunundan fərqli olaraq burada sərhəd sürüşmə gərginliyi və axının strukturunun dəyişməsi ilə əlaqəli qeyri-xətti müqavimət nəzərə alınır.

Bundan əlavə, müəyyən sərhəd şərtlərində skin-effekt zonasında skin-əmsalı formalaşdığından, filtrasiyanın xüsusi sərhəd şərtlərini nəzərə almaq zəruridir. Qəbul edilir ki, skin-zonası üfüqi müstəviyə perpendikulyar və lay səthinə paralel yerləşən bir və ya bir neçə sərhədə malikdir.

Skin-zonasının üfüqi yerləşməsi halında aşağıdakı şərtlər yerinə yetirilir:

$$r=R_K;P=P_K$$
$$r=R_C;P=P_C$$

$$r=R_S;P=P_S \qquad (30)$$

Göstərilən sərhəd şərtlərini başlanğıc tənliyə daxil edərək və filtrasiya radiusu üzrə inteqrallaşdırma apararaq aşağıdakı ifadəni əldə edirik:

$$\frac{Q\eta}{2\pi hk}\left[\frac{k}{k_s}\ln\frac{R_S}{R_C}+\ln\frac{R_K}{R_S}\right]+\frac{\alpha\tau_0}{\sqrt{k_q}}(R_K-R_C)=P_K-P_C \qquad (31)$$

Ardıcıl cəbri çevirmələrdən sonra ifadə daha əlverişli mühəndis formasına gətirilir:

$$\frac{Q\eta}{2\pi hk}\left[\left(\frac{k}{k_s}-1\right)\ln\frac{R_S}{R_C}+\ln\frac{R_K}{R_S}\right]+\frac{\alpha\tau_0}{\sqrt{k_q}}(R_K-R_C)=P_K-P_C \qquad (32)$$

burada:

R_C— quyunun radiusu;

R_K — qidalanma konturunun radiusu;

R_S — quyudibiətrafı (skin) zonanın radiusu;

P_K — qidalanma konturundakı təzyiq;

P_C — quyudibi təzyiqi.

Alınmış tənlik göstərir ki, təzyiq fərqinin qiyməti yalnız sərf və sistemin həndəsi parametrləri ilə deyil, həm də keçiriciliklərin nisbəti ilə ifadə olunan quyudibi zonasının zədələnmə dərəcəsi ilə müəyyən edilir.

Əgər skin-zonasının keçiriciliyi azalarsa, ifadənin qiyməti artır ki, bu da skin-faktorun artmasına və quyunun məhsuldarlığının azalmasına gətirib çıxarır.

Bu şəraitdə neftin həcm sərfi aşağıdakı ifadə ilə müəyyən edilir:

$$Q=\frac{kF}{\eta}\left[\frac{P'_K-P_C}{L-L_K}-\frac{\alpha\tau_0}{\sqrt{k_q}}\right] \qquad (33)$$

Fərz edək ki, $F=2\delta hL_K=R_K$ quyular arasındakı məsafədir. Onda aşağıdakı düsturu əldə etmək olar:

$$Q=\frac{2\delta kh}{\eta}\left[\frac{P'_K-P_C}{L-R_K}-\frac{\alpha\tau_0}{\sqrt{k_q}}\right] \qquad (34)$$

$$P'_K-P_c=\frac{Q(L-R_K)}{2\delta kh}+\frac{\alpha\tau_0}{\sqrt{k_q}}(L-R_K) \qquad (35)$$

Daha sonra (34) və (35) ifadələrinə əsasən baxılan axın sahəsinə

uyğun ümumi (cəmi) təzyiq fərqini hesablayırıq:

$$\Delta P=\Delta P_B+\Delta P_H \qquad (36)$$

Beləliklə, son ifadə aşağıdakı görünüşü alır:

$$\Delta P=(P_K-P_C)+(P'_K-P_K)=P'_K-P_C \qquad (37)$$

(36)–(37) düsturlarının birgə tətbiqi nəticəsində aşağıdakı ifadəni əldə edirik:

$$\Delta P=\frac{Q\eta}{2kh}\left\{\left(S+\ln\frac{\rho}{2R_S}\right)+\frac{L}{\sigma}\right\}\frac{\alpha\tau_0}{\sqrt{k_q}}(L-R_C) \qquad (38)$$

Quyunun drenaj zonasının radiusunu (n)-ə bərabər qəbul etməklə sistemin ümumi debitini və uyğun quyu sayını müəyyən etmək olar. Bu halda ümumi hasilat həcmi aşağıdakı görünüşü alır:

$$\sum Q=Q\cdot n, Q=\frac{\sum Q}{n} \qquad (39)$$

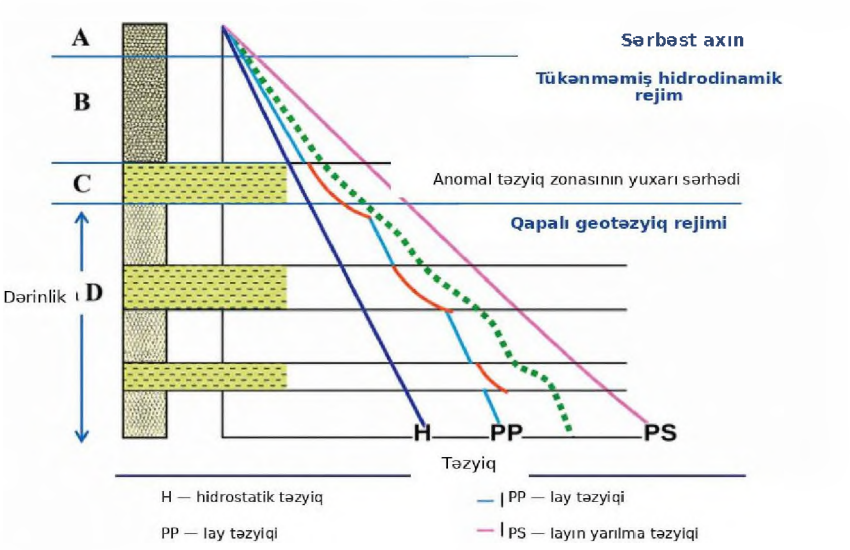
(39) tənliyinə uyğun olaraq, göstərilən parametr nəzərə alınmaqla quyunun ümumi debiti aşağıdakı kimi müəyyən edilir: $B=2\sigma\cdot n\sigma=\frac{B}{2n}$

$$\sum Q=\frac{\frac{2\pi kh}{\eta}nL\left[\frac{P_K-P_C}{L}-\frac{\alpha\tau_0}{\sqrt{k_q}}\left(1-\frac{R_C}{L}\right)\right]}{\left(S+\ln\frac{B}{4nR_C}\right)+\frac{2nL}{B}} \qquad (40)$$

Alınmış nəticələr göstərir ki, quyunun radiusunun artması və skin-faktorun azalması təzyiq fərqinin azalmasına və debitin artmasına səbəb olur, lay sərhədinə qədər olan məsafənin artması və quyudibi zonasının filtrasiya xüsusiyyətlərinin pisləşməsi isə əks effekt yaradır.

Şəkildə filtrasiya sahəsində təzyiq fərqinin quyunun radiusundan və lay sərhədinə qədər olan məsafədən asılılığı təqdim olunmuşdur.

Aparılmış təhlil təsdiq edir ki, skin-faktorun və anomal özlülüyün nəzərə alınması quyuların məhsuldarlığının hesablanması və optimal istismar rejimlərinin seçilməsi zamanı zəruri şərtdir. İşlənib hazırlanmış model mühəndis hesablamalarının dəqiqliyini əhəmiyyətli dərəcədə artırır və ikifazalı filtrasiya şəraitində neft və qaz quyularının işinin praktiki proqnozlaşdırılması üçün əsas yaradır.



Şəkil 2. Filtrasiya sahəsində təzyiq fərqinin quyunun radiusundan və lay sərhədinə qədər olan məsafədən asılılığı

NƏTİCƏLƏR

1. Neft və qaz quyularında yaranan iki fazalı qaz-maye sistemlərinin hidromexanikası kompleks şəkildə tədqiq edilmişdir. Borularda və lay sistemlərində çoxfazalı axınların hərəkətinin əsas qanunauyğunluqları və onların quyuların istismarının texnoloji parametrlərinə təsiri nəzərdən keçirilmişdir [3, 4, 7, 11].

2. Mövcud nəzəri və eksperimental tədqiqatların təhlili əsasında mürəkkəb hidrodinamik rejimlərdə qaz-maye qarışıqlarının axın xüsusiyyətləri dəqiqləşdirilmişdir. Mayenin reoloji xassələrinin və axın rejiminin nəzərə alınmasının hidrodinamik parametrlərin hesablanma dəqiqliyini əhəmiyyətli dərəcədə artırdığı göstərilmişdir [1, 2, 4, 5].

3. Kütlənin, impulsun və enerjinin saxlanması tənliklərinə əsaslanan iki fazalı sistemlərin hərəkətinin riyazi modeli işlənib hazırlanmışdır. Təklif olunan model ağırlıq qüvvələrinin, sürtünmənin və axında fazaların paylanma xüsusiyyətlərinin təsirini nəzərə alır [3, 4, 7].

4. Quyuda təzyiqin paylanmasını və fazaların hərəkət sürətlərini müəyyən etməyə imkan verən hesablama asılılıqları alınmışdır. Təklif olunan münasibətlər əsasında quyu ağzı ölçmə məlumatlarına görə quyudibi təzyiqinin müəyyən edilməsi üsulu işlənib hazırlanmışdır [10, 11].

5. Riyazi modelləşdirmə üsullarından istifadə etməklə iki fazalı axınların ədədi təhlili aparılmışdır. Alınmış nəticələr məlum eksperimental və hesablama məlumatları ilə yaxşı uyğunluq göstərir [3, 4, 10].

6. Müəyyən edilmişdir ki, işlənib hazırlanmış model axın rejiminin, fazaların paylanmasının və mayenin reoloji xassələrinin sistemin hidrodinamik parametrlərinə təsirini daha dəqiq nəzərə almağa imkan verir [1, 2, 4, 5, 7].

7. Təklif olunan üsullar və hesablama asılılıqları neft və qaz hasilatı proseslərinin layihələndirilməsi və optimallaşdırılmasında, həmçinin mədən məlumatlarının interpretasiyasında istifadə edilə bilər [6, 8, 10, 11].

8. Tədqiqat nəticələrinin praktiki əhəmiyyəti quyudibi təzyiqinin daha dəqiq müəyyən edilməsi və iki fazalı axın

proseslərinin təhlili hesabına neft və qaz quyularının istismar səmərəliliyinin artırılması imkanından ibarətdir [8, 10, 11].

Dissertasiyanın əsas məzmunu və nəticələri aşağıdakı işlərdə dərc edilmişdir:

1. Dadash-Zade, M.A. Characteristic features of the movement of elastic-viscoplastic liquid in pipes and layers / M.A. Dadash-Zade, R. Cao // Probe: Environmental Science and Technology. – 2023. – Vol. 5, No. 4. – P. 49–53.

2. Dadash-Zade, M.A. The impact of abnormal oil viscosity and oil well skin coefficient on production efficiency: a study based on inter-well interference / M.A. Dadash-Zade, R. Cao // Petrochemical. – 2024. – No. 3. – P. 40–42.

3. Dadash-Zade, M.A. Rheological properties of elastoviscoplastic liquid in tubes / M.A. Dadash-Zade, R. Cao // Advances in Resources and Environmental Science. – 2024. – Vol. 3, No. 2. – P. 21–24.

4. Dadash-Zade, M.A. Study of the motion of two-phase systems based on fluid mechanics and physical modelling of fluid / M.A. Dadash-Zade, R. Cao // Proceedings of the 9th International Conference on Energy Science and Applied Technology (ESAT 2024). – 2024. – P. 1–3.

5. Dadash-Zade, M.A. Analysis and calculation of two-phase flow in industrial pipelines using regime classification / M.A. Dadash-Zade, R. Cao // International Journal of Natural Resources and Environmental Studies. – 2024. – Vol. 2, No. 1. – P. 58–63.

6. Dadash-Zade, M.A. Modifying the effects around the well can have an impact on the drilling process / M.A. Dadash-Zade, R. Cao // Archives of Sciences. – 2024. – Vol. 74, No. 5. – P. 81–83.

7. Dadash-Zade, M.A. Fluid mechanics of gas-liquid system / M.A. Dadash-Zade, R. Cao // Journal of Science and Technology. – 2024. – Vol. 12, No. 2. – P. 286–287.

8. Dadash-Zade, M.A. The impact of surface conditions on natural gas filtration process under reservoir conditions / M.A. Dadash-Zade, R. Cao // International Journal of Electric Power and Energy Studies. – 2024. – Vol. 3, No. 1. – P. 28–32.

9. Dadash-Zade, M.A. Energetic strategy of Heydar Aliyev / M.A. Dadash-Zade, R. Cao // Proceedings of the Republican Scientific Conference of PhD Students and Young Researchers. – Baku, 2025.

10. Dadash-Zade, M.A. Determination of bottom-hole pressure considering gas-liquid hydrodynamics based on wellhead information / M.A. Dadash-Zade, R. Cao // International Journal of Basic and Applied Sciences. – 2025. – Vol. 14, No. 3. – P. 132–142.

11. Dadash-Zade, M.A. Determination of inflow profile based on input information considering the hydrodynamics of two-phase systems / M.A. Dadash-Zade, R. Cao // Proceedings of the 4th International Conference on Advances in Materials, Machinery and Electrical Engineering (AMMEE 2025). – 2025. – P. 21–24.

İddiaçının şəxsi töhfəsi

Dərc olunmuş bütün elmi işlərdə [1–11] iddiaçı tədqiqat məsələlərinin qoyuluşunda, hesablamaların və riyazi modelləşdirmənin aparılmasında, alınmış nəticələrin işlənməsində və təhlilində, onların elmi şərhində, habelə materialların nəşrə hazırlanmasında bilavasitə iştirak etmişdir.

[1–8, 10, 11] saylı işlərdə iddiaçı dissertasiya mövzusu üzrə tədqiqatların aparılmasında və alınmış nəticələrin ümumiləşdirilməsində bilavasitə iştirak etmişdir.

Dissertasiyanın müdafiəsi 08 dekabr 2026-cı il tarixində saat 11:00-da Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən FD 2.03 Dissertasiya şurasının iclasında keçiriləcək.

Ünvan: AZ 1010, Bakı şəhəri, Azadlıq prospekti, 20.

Dissertasiya ilə Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetinin kitabxanasında tanış olmaq mümkündür.

Avtoreferatın elektron versiyası Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetinin rəsmi internet saytında yerləşdirilmişdir (https://asoiu.edu.az/).

Avtoreferat "05" noyabr 2026-cı il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: 27.10.2026
Kağızın formatı: A5
Həcm: 37835
Tiraj: 30