

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

Əlyazması hüququnda

NEFTİN VƏ QAZIN ÇIXARILMASI, YIĞILMASI VƏ NƏQLİNDƏ MULTİFAZALI TEXNOLOGİYALARIN YARADILMASININ ƏSASLARININ İŞLƏNMƏSİ

İxtisas: 3354.01- Neft-qaz kəmərlərinin, bazalarının və
anbarlarının tikilməsi və istismarı
2525.01 – Neft və qaz yataqlarının işlənməsi və
istismarı

Elm sahəsi: Texnika elmləri

İddiaçı: **Fidan Babəli qızı İsmayılova**

Elmlər doktoru elmi dərəcəsi
almaq üçün təqdim edilmiş dissertasiyanın

A V T O R E F E R A T I

Bakı – 2025

Dissertasiya işi Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetinin “Neftin və qazın nəqli və saxlanması” kafedrasında yerinə yetirilmişdir.

Rəsmi opponetlər:

AMEA-nın müxbir üzvü,
texnika elmləri doktoru, professor
Qərib İsaq oğlu Calalov

Texnika elmləri doktoru, professor
Rakiz Məmməd oğlu Səttarov

Texnika elmləri doktoru, professor
Emin Zəfər oğlu Yaqubov

Texnika elmləri doktoru, dosent
Vüqar Cəmil oğlu Abdullayev

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

Dissertasiya şurasının sədri:

Texnika elmlər doktoru, dosent
Arif Ələkpər oğlu Süleymanov

Dissertasiya şurasının elmi katibi:

Texnika elmlər namizədi, dosent
Yelena Yevgenyevna Şmonçeva

Elmi seminarın sədri:

Texnika elmlər doktoru, professor
Sakit Rauf oğlu Rəsulov

İmzaları təsdiq edirəm:

ADNSU-nun Elmi katibi,

Texnika elmlər namizədi, dosent
Nərimin Tərhan qızı Əliyeva



İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi. Dənizdə və quruda neft və qaz yataqlarının istismar təcrübəsi göstərir ki, karbohidrogenlərin çıxarılması, yığılması, hazırlanması və nəqli zamanı baş verən texniki-texnoloji məsələlərin və istismar çətinliklərinin sayının çox, həllinin isə çətin olması, izafi enerji xərcləri, insan və maddi resursların sərfi, qəza halları və ətraf mühitə olan neqativ təsirlər əsasən quyu məhsullarının multifazalılığı və çoxkomponentliyi ilə bağlı olur. Bu sistemlərdə müxtəlif reofiziki xüsusiyyətlərə malik qazlı neftlərin, həmçinin onların qarışıqlarının, o cümlədən sulu, qumlu, gilli və s. mürəkkəb relyefli və termobarik şəraitdə, çox vaxt strukturu məlum olmayan axınların mövcud olduğu müxtəlif texnoloji proseslər formalaşır. Multifazalı və multikomponentli qarışıqların (neft-qaz, qaz-kondensat, neft-qaz-su, qaz-kondensat-su və s.) hərəkəti zamanı faza çevrilmələri (neftdən qazın ayrılması, qazdan kondensatın “düşməsi”, 3-cü bərk fazanın-hidrat və asfalten-qatran-parafin (AQP) birləşmələrinin yaranması və çökməsi), həmçinin anomal reofiziki xüsusiyyətlərə malik dayanıqlı su-neft emulsiyalarının və müxtəlif ballastlı neft qarışıqlarının yaranması kimi proseslər də məhz “quyu-yığım” sisteminin texnoloji avadanlıqları və daşıyıcı boru kəmərlərində baş verir.

Quyu məhsullarının sulaşması və qarışması zamanı yaranan multifazalı qarışıqlar ilkin komponentlərdən kəskin və qeyri-additiv fərqlənməklə “quyu-yığım” sisteminin işinə çox ciddi təsir göstərir.

Qarışma amili və artan su faizinin multifazalı neftlərin reoloji və keyfiyyət göstəricilərinə təsirinin öyrənilməsi və bu neftlərin çıxarılması və nəqli üçün reoloji modellərin, həmçinin hidravlik xarakteristikanın dəqiqləşməsinə tələb edir.

Uzun müddət dəniz yataqlarında işlənmənin başlanğıcında səmt neft qazının itkiləri əsasən neft mədəni təsərrüfatında qaz yığını şəbəkəsinin, qaz kəmərlərinin və qaz emalı qurğularının tikintisindəki gecikmələrlə izah olunurdu. İşlənmənin başlanğıcında mövcud dəniz-iqlim şəraitində əsasən neft və qazın birgə yığını həyata keçirilirdi. Belə üsulun tətbiqi prinsipial şəkildə neft və qazın mədən daxili yığım texnologiyasını dəyişməyə, karbohidrogen

itkilərini və yığım-nəql sisteminin tikintisinə və istismarına çəkilən xərcləri azaltmağa imkan versə də, quyu məhsullarının mərkəzi separasiya qurğusuna sulatı boru kəmərləri ilə nəqli zamanı axının multifazallığı hesabına təzyiq itkilərinin çoxalması, ziyanlı təzyiq döyüntülərinin baş verməsi, müxtəlif çöküntü və tıxacların yaranması və lay enerjisindən səmərəli istifadə olunmaması kimi hallar mövcud olmuş və indi də var. Əsasən axının multifazallığı ilə bağlı olan bu cür problemlərin yatağın işlənilmə dinamikası və qaz resursları nəzərə alınmaqla həllinin çox böyük əhəmiyyəti var.

Yuxarıda qeyd olunanlar təsdiq edir ki, karbohidrogen yataqlarının istismar göstəricilərinin yaxşılaşdırılması, quyu məhsullarının səmərəli yığılması və nəqli və s. kimi problemlərin həll edilməsi üçün multifazal axınlarda spesifik xüsusiyyətlərin və fazaların qarşılıqlı təsirinin öyrənilməsi və onlara təsir edən amillərin aşkar edilməsi əsasında yeni multifazal texnologiyaların yaradılması və tətbiqi istiqamətində nəzəri və təcrübi biliklərin, elmi əsasların yaradılması və inkişaf etdirilməsi əsas aktual məsələlərdən hesab edilir.

Son illərdə aparılan tədqiqatların nəticələrinə əsasən vurğulamaq olar ki, artıq müxtəlif fazalı axınların dinamikası, hidravlik xüsusiyyətləri, maye, qaz və bərk fazaların qarşılıqlı təsiri nəzərə alınmaqla formalaşan multifazal texnologiyalar əsasında karbohidrogenlərin çıxarılması, nəqli, hazırlanması və saxlanması zamanı yaranan bir çox problemləri həll etmək, multifazal vəziyyətdə reallaşan texnoloji proseslərin səmərəliliyini xeyli artırmaq mümkündür.

Tədqiqatın obyektı və predmeti. Tədqiqatın obyektini karbohidrogenlərin hasilatı, yığını və nəqli prosesləri, predmetini isə onların səmərəliliyinin artırılması üçün multifazal texnologiyaların işlənməsi təşkil edir.

Tədqiqatın məqsədi: Multifazal texnologiyaların yaradılması əsasında neftin və qazın çıxarılması, yığılması, hazırlanması və nəqli zamanı texnoloji proseslərin səmərəliliyinin artırılması.

Tədqiqatın əsas məsələləri:

1. Multifazalı vəziyyətdə reallaşan texnoloji proseslər və onların təhlili;
2. Multifazalı texnologiyaların yaradılmasının zərurətləri və elmi-təcrübi əsasları;
3. Yataqların işlənmə dinamikası nəzərə alınmaqla səmt qazlarının səmərəli yığılmasının tədqiqi;
4. Neft qarışıqlarının hazırlanması və nəqli proseslərinin tədqiqi;
5. Dəniz yataqlarından multifazalı qaz-kondensat qarışıqlarının səmərəli yığılması və nəqlinin tədqiqi və onun təkmilləşdirilməsi;
6. Qismən qazsızlaşdırılmış neft emulsiyalarının reofiziki xüsusiyyətlərinin və susuzlaşdırılmasının tədqiqi;
7. Neft-qaz-su qarışıqlarının nəqli zamanı boru kəmərinin işinin hidravlik araşdırılması;
8. Kondensləşən qazların nəqli zamanı multifazalı qaz kəmərinin texnoloji vəziyyətinin tədqiqi;
9. Multifazalı axınlar zamanı eroziya-korroziya proseslərinin tədqiqi;
10. Multifazalı qarışıqların nəqli zamanı ballastların çökməsinin tədqiqi;
11. Boru kəmərinə basqısız axınla neft dağılmalarının qiymətləndirilməsi;
12. Multifazalı boru kəmərlərində Bernulli qüvvəsinin araşdırılması;
13. Soyuma tempinin neft emulsiyalarının reoloji xassələrinə təsirinin tədqiqi;
14. Multifazalı və reylefli boru kəmərlərində fazaların sürüşməsinin və qravitasiya itkilərinin qiymətləndirilməsi;
15. Multifazalı axınlarda dinamik yüklərin qiymətləndirilməsi;
16. Neftlərin qarışması və sulaşmasının donma temperaturuna təsirinin tədqiqi;
17. Multifazalı boru kəmərlərində təzyiqin paylanmasının tədqiqi;
18. Multifazalı sistemlərin fazalara ayrılmasının tədqiqi;

19. Multifazalı vertikal axınlarda struktur rejimlərinin formalaşmasının təhlili;

20. Dik borularda və qaldırıcılarda fazaların sürüşməsinin qiymətləndirilməsi;

21. Multifazalı axınlar üçün stasionar xarakteristikaların diaqnostikası;

22. Təbii qazın dispers halının saxlanması tədqiqi.

Tədqiqat üsulları: Dissertasiyada qoyulan məsələlər nəzəri və təcrübi yolla, neftin və qazın çıxarılması, yığılması və nəqli zamanı faktiki məlumatların, həmçinin texnoloji proseslərdə baş verən istismar çətinlikləri və təcrübi sınaq göstəricilərinin informasiya texnologiyaları əsasında əməl ilə riyazi üsullar, standart laboratoriya avadanlıqları, kompüter və proqram vasitələrindən istifadə etməklə həll edilmişdir.

Elmi yeniliklər:

1. Neftqazçıxarmada və karbohidrogenlərin yığılması və nəqlində multifazalı texnologiyaların yaradılmasının zərurətləri və elmi-təcrübi aspektləri əsaslandırılmış, multifazalı vəziyyətdə formalaşan texnoloji proseslərin təhlili və səmərəliliyinin artırılmasının mümkünlüyü əsaslandırılmışdır;

2. Qaz resurslarının dinamikasına uyğun olaraq multifazalı, kondensləşən səmt neft qazlarının səmərəli utilizəsinin əsas prinsipləri işlənmişdir;

3. Multiifazalı, relyefli boru kəmərlərində dinamik yüklərin və təzyiq itkilərinin qiymətləndirilməsi üsulları işlənmişdir;

4. Multifazalı texnologiyalar əsasında dəniz yataqlarından qaz-kondensat qarışıqlarının səmərəli yığılması və nəqlinin konsepsiyası işlənmişdir;

5. Dik borularda, fontan (qazlift) qaldırıcılarında struktur rejimlərin formalaşmasında Bernulli qüvvəsinin rolunun və fazaların sürüşməsinin qiymətləndirilməsi üsulları işlənmişdir;

6. Multifazalı axınlar üçün stasionar xarakteristikaların diaqnostikası üsulu işlənmişdir.

Müdafiyə çıxarılan əsas müddəalar:

1. Neftqazçıxarmada və karbohidrogenlərin yığılması və nəqlində texnoloji proseslərin səmərəliliyinin multifazalı texnologiyalar əsasında artırılması;

2. Qaz resurslarının dinamikası nəzərə alınmaqla multifazalı texnologiyalar əsasında səmt neft qazlarının səmərəli utilizə edilməsinin prinsipləri;

3. Multifazalı texnologiyalar əsasında dəniz yataqlarından qaz-kondensat qarışıqlarının səmərəli yığılması və nəqlinin konsepiyası;

4. Heterogen quyu məhsullarının çıxarılması və nəqli zamanı qazlift (fontan) qaldırıcılarında, sualtı boru kəmərləri və dik borularda struktur rejimlərin formalaşmasının və fazaların sürüşməsinin qiymətləndirilməsi üsulları;

5. Multifazalı axınlarda dinamik yüklərin və təzyiq itkilərin qiymətləndirilməsi üsulları;

6. Multifazalı axınlar üçün stasionar iş rejimlərinin və istismar çətinliklərinin diaqnostikası və hidrodinamik tənzimlənməsi üsulları.

İşin nəzəri və praktiki əhəmiyyəti.

İşdə qradiyent-sürət nəzəriyyəsinə uyğun olaraq axının yeni fiziki modeli və fazaların qarşılıqlı təsiri nəzərə alınmaqla multifazalı texnologiyaların yaradılması neftqazçıxarmada və karbohidrogenlərin yığılması və nəqli zamanı multifazalı vəziyyətdə formalaşan texnoloji proseslərin istismar çətinliklərinin diaqnostikasına, səmərəliliyinin artırılmasına imkan verir.

Multifazalı axınlarda fazaların qarşılıqlı təsiri və axının yeni fiziki modelinin nəzərə alınması bazasında multifazalı boru kəmərlərinin hidravlik hesablanması analitik metodikasının yaradılması mümkün olmuşdur.

Multifazalı qaz-maye qarışığı üçün hidravlik hesablamalarda monofazalı model əsasında sadələşdərilmə belə bir yanlışlıq yaradır ki, guya onların nəqlində problem yaranmır. Halbuki, bu cür hallarda boru kəmərinin maye ilə tədricən dolması, nəql məsafəsinin kəskin azalması, hətta nəqlin dayanması zərurətinin yaranması kimi qaçılmazdır.

İşdə təklif olunan multifazalı texnologiyalar karbohidrogen yataqlarının işlənilmə dinamikası, qaz resursları nəzərə alınmaqla səmət neft qazlarının və qaz-kondensat qarışıqlarının səmərəli yığılması və nəqli üçün texnoloji problemlərin həllinə imkan verəcəkdir. Multifazalı mədən boru kəmərlərində ballastların çökməsi, hidratin yaranması, yarıqların və eroziya-korroziya proseslərinin, təzyiq döyüntülərinin baş verməsi, emulsiyaların yaranması və parçalanması kimi proseslər bu problemlərdəndir.

Dissertasiyada işlənən texnologiyalar və üsullar neft-qaz profilli layihə və elmi-tədqiqat institutları və neftin və qazın çıxarılması və nəqli ilə məşğul olan istehsalat müəssisələri tərəfindən, eləcə də, neft və qaz profilli ixtisaslar üzrə kadr hazırlığı zamanı tədris prosesində geniş istifadə oluna bilər.

İşin nəticələrinin aprobeiasyası və tətbiqi.

Dissertasiyanın əsas nəticələri ADNSU-nun “Neftin, qazın nəqli və saxlanması” və “Neft-qaz mühəndisliyi” kafedralarının iclasları və elmi seminarlarında dinlənilmiş və müzakirə edilmişdir, eləcə də bir sıra ölkə və beynəlxalq miqyaslı seminar və konfranslarda məruzə edilmişdir:

1. İsrail Quliyevin anadan olmasının 100 illik yubileyinə həsr olunmuş “Dəniz neft və qaz yataqlarının işlənilməsinin aktual problemləri” konfransı, Bakı, 01 mart 2017;

2. “Neftqaz sənayesinin əldə etdiyi nailiyyətlər, problemləri və inkişaf perspektivləri” (Достижения, проблемы и перспективы развития нефтегазовой отрасли), Almetevsk, 25-28 oktyabr, 2017;

3. “Xəzərneftqazyataq-2017” Beynəlxalq elmi-praktiki konfransı. Bakı, 2017;

4. Akademik A.X.Mirzəcanzadənin 90 illiyinə həsr olunmuş “Modern problems of innovative technologies in oil and gas production and applied mathematics”. Beynəlxalq konfrans, Bakı, 13-14 dekabr 2018.

5. “KazNİPİmunayqaz”ın 5 illiyinə həsr olunmuş “Köhnə yataqların istismarının vəziyyəti və perspektivləri” (“Состояние и перспективы эксплуатации зрелых месторождений”) elmi-praktiki konfrans, Aktau, 16-17 May 2019;

6. “10th International Conference on Theory and Application of Soft Computing, Computing with Words and Perceptions” Beynəlxalq konfrans. Praqa, 27-28 avqust 2019;

7. “14th International Conference on Theory and Application of Fuzzy Systems and Soft Computing – ICAFS-2020”, Beynəlxalq konfrans, 2020;

8. “İnternational Conference on actual Problems of Chemical Engineering, Dedicate to the 100th anniversary of ASOİU”, Bakı, 24-25 dekabr 2020;

9. “11th World Conference “Intelligent System for Industrial Automation” (WCIS-2020), Tashkent, Uzbekistan, 26-28 noyabr 2020;

10. Way science, (Integration of Education, Science and Business in Modern Environment: Winter Debates: abstracts of the 2nd International Scientific and Practical Internet Conference, – Dnipro, Ukraine, 4-5 fevral 2021;

11. “Рассохинские чтения” Beynəlxalq konfrans, Uxta, 4-5 fevral 2021.

12. Conference Proceedings “Energy Locomotives of the Turkish World” dedicated to the 100th anniversary of the National Leader Haydar Aliyev and establishment of the Republic of Turkey, Bakı, 25-26 oktyabr 2023.

13. The 5th Eurasian Conference “Innovations in Minimization of Natural and Technological Risks” dedicated to the 100th anniversary of National Leader Heydar Aliyev, 17-19 October 2023.

Dissertasiya işində təklif olunan multifazalı texnologiyalar SOCAR-ın Qaz İxrac idarəsi və “Ümid-Babək” Əməliyyat Şirkətində tətbiq edilmiş və müvafiq akt və arayışla təsdiq olunmuşdur.

İşin nəticələrinin nəşr olunması.

Dissertasiyanın əsas nəticələri 50 məqalə (13-ü konfrans materialı), 2 monoqrafiya, 1 dərslik, 5 dərs vəsaiti, 1 ixtira patenti, 1 metodik rəhbərlik olmaqla 60 elmi işdə dərc olunmuşdur. Multifazalı texnologiyalarla bağlı tədqiqat işləri ADNSU-nun “Universitet qrantı”-nın maliyyə dəstəyi ilə yerinə yetirilmişdir.

İşin strukturu, işarə sayı və həcmi.

Dissertasiya işi giriş, 7 fəsil, nəticələr, 208 adda istifadə olunmuş ədəbiyyat siyahısından və 95 qrafik və şəkil, 27 cədvəl və əlavələr də daxil olmaqla 287 səhifədən ibarətdir. Dissertasiyanın ümumi həcmi 370782 (o cümlədən, titul səhifəsi 464, mündəricat 8025, giriş 16761, 1-ci fəsil 46465, 2-ci fəsil 62386, 3-cü fəsil 39772, 4-cü fəsil 55395, 5-ci fəsil 51634, 6-cı fəsil 70719, 7-ci fəsil 11763, nəticələr 7398) işarə təşkil edir.

Minnətdarlıq. Müəllif dissertasiya işinin yerinə yetirilməsi prosesində elmi istiqamətlərin formalaşması və alınan nəticələrin müzakirəsi və sistemləşdirilməsində verdiyi məsləhətlərə və tövsiyələrə və göstərdikləri diqqətə görə texnika elmləri doktorları, professorlar Q.Q.İsmayılov və E.X.İskəndərova öz dərin minnətdarlığını bildirməyi özünə borc bilir.

Həmçinin iddiaçı dissertasiyanın yerinə yetirildiyi Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetinin “Neftin, qazın nəqli və saxlanması” və “Neft-qaz mühəndisliyi” kafedralarının əməkdaşlarına texniki və mənəvi dəstəyə görə minnətdarlığını bildirir.

İŞİN MƏZMUNU

Girişdə dissertasiya işinin aktuallığı əsaslandırılmış, məqsədi və həll olunmuş əsas məsələlər verilmiş, elmi yeniliyi, təcrübi əhəmiyyəti, müdafiə olunan əsas müddəalar qeyd olunmuş və qısa şəkildə işin məzmunu açıqlanmışdır.

Dissertasiya işinin birinci fəsli neftin, qazın çıxarılması və nəqlində multifazalı texnologiyaların yaradılmasının zərurətləri, elmi və təcrübi əsaslarına həsr olunmuşdur. Neftqazçıxarmada multifazalı şəkildə formalaşan texnoloji proseslərin xüsusiyyətlərinin və hesablamalarının qısa təhlili aparılmış, multifazalı sistemlərin reoloji təsviri və axın xüsusiyyətləri şərh olunmuşdur.

Neftqazçıxarmada və karbohidrogenlərin nəqli proseslərində multifazalı və çoxkomponentli heterogen sistemlərin lay şəraitində süzülməsi və boruda hərəkətinə həsr olunmuş çoxlu sayda nəzəri və təcrübi elmi-tədqiqat işləri mövcuddur. Multifazalı sistemlərə həsr olunmuş nəzəri və təcrübi işlərin inkişafında və təkmilləşdirilməsində xeyli töhfələr vermiş Azərbaycanın görkəmli alimlərindən akademiklər A.X.Mirzəcanzadə, M.T. Abbasov, Q.N. Cəlilov, AMEA-nın müxbir üzvləri E.E.Ramzanova, A.M.Quliyev, N.C.Tahirov, Z.Y.Abbasov, R.S.Qurbanov, Q.İ.Calalov, Q.İ. Kəlbəliyev, B.Ə.Süleymanov, T.Ş.Salavatov, Q.M.Pənahov, professorlar R.M.Səttarov, A.M.Məmmədzadə, Q.Q.İsmayılov, F.H.Vəliyev, F.B.Nağıyev, S.R.Rəsulov, H.F.Mirələmov, A.Ə.Süleymanov, E.X.İskəndərov, V.M.Fətəliyev, N.M.Səfərov və b. göstərmək olar. Xarici ölkə alimlərindən bu sahədə xüsusi xidmətləri olmuş alimlərdən Z.S.Aliyev, R.S.Andriasov, A.A.Armand, V.A.Arxañqelskiy, K.S.Basniyev, J.Q.Belov, K.B.Vinaqradov, A.İ.Qujov, V.Q.Qron, O.V.Klapçuk, A.P.Krılov, Q.S.Lutoşkin, V.A.Mamayev, İ.T.Mişenko, M.A.Moxov, İ.M.Muravyev, Q.E.Odişariya, N.N.Repin, V.A.Saxarov, P.İ.Tuqunov, R.A.Brot, S.E.Kutukov, N.M.Baykov, A.İ.Qriçenko, M.V.Lurye, A.M.Şammazov, A.X.Şaxverdiyev, M.M.Xasanov, P.M.Baxtizin, V.T.Sitenkov, D.Çisxolm və b. qeyd etmək lazımdır. Neft layında heterogen sistemlərin süzülməsi məsələlərinin və boru hidravlikasına aid olan hidrodinamik məsələlərin həllində akademik

A.X.Mirzəcanzadənin və yaratdığı elmi məktəbin nümayəndələrinin əvəzsiz xidmətləri olmuşdur.

Heterogen quyu məhsullarının çıxarılmasında qaldırıcıların nəzəri və təcrübi işlərinin inkişafında və təkmilləşdirilməsində töhvələr vermiş alimlər və tədqiqatçılar tərəfindən axının strukturu və hərəkət rejimlərini tənzimləmək və ümumiyyətlə qaz-maye qaldırıcılarının işinin səmərəliliyini artırmaq üçün müxtəlif üsul və texnologiyalar təklif olunmuşdur ki, bunların hər birinin müəyyən müsbət və çatışmayan cəhətləri olmuşdur.

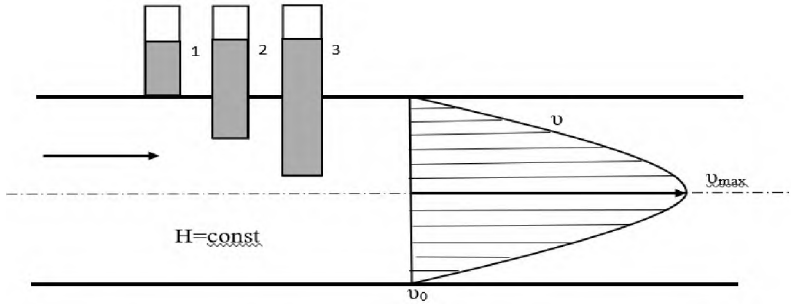
Bu fəsildə multifazalı nəqlin fenomeni açıqlanmış, axının yeni fiziki modelinin və fazalar arasındakı qarşılıqlı təsirin nəzərə alınmasının vacibliyi göstərilmişdir. Axının yeni fiziki modelinin bazasında multifazalı boru kəmərinin və fontan (qazlift) qaldırıcılarının hesablanması analitik metodikasının yaradılmasının mümkünlüyü göstərilmişdir.

Son illərdə aparılan tədqiqatlar¹ göstərir ki, axının mövcud fiziki modeli (statik təzyiqin sabitliyi) ən kəskin enerji potensialının qeyri bərabər paylanması deməkdir. Belə ki, axının oxundan kənara (boru divarına) doğru istiqamətli enerji ötürməsinin mövcudluğu müşahidə olunmamışdır. Hal-hazırda yeni yaradılan aktiv sərhəd qatı modeli¹ axını ən kəskin boyu statik deyil, tam təzyiqin sabitliyini, statik təzyiqin isə axın sürətindən asılı olaraq dəyişməsinə əsaslanır. Təsədüfi deyil ki, nəinki multifazalı, hətta monofazalı axınlar nəzəriyyəsinin özü təcrübə məlumatlarına əsasən empirik üsullarla hazırlandığı üçün aparılan hesablamaların dəqiqliyi mühəndis praktikasının tələblərinə uyğun deyil, hətta bəzi hallarda nəticələr xeyli fərqli olur. Odur ki, yeni axın modelinin nəzərə alınması, hidravlik hesablamaların və sxemlərin yeni modelə uyğunlaşdırılması neftqazçıxarma və nəql proseslərinin səmərəliliyini artırmaq üçün çox vacibdir.

¹ Ситенков, В.Т. Теория градиентноскоростного поля/ В.Т. Ситенков. Москва: - ВНИИОЭНГ, - 2004. - с.308.

Qeyd olunanlar müxtəlif hərəkət rejimlərində reoloji xüsusiyyətləri fərqli olan istər mono, istərsə də multifazalı axınlar üçün yeni yanaşmalar əsasında sürət-qradient sahələrinin düzgün araşdırılmasını və nəzərə alınmasını tələb edir.

Axının en kəsiyində statik təzyiqin sabit olmasını təsdiqləyən və hidravlika kurslarında yayılan təcrübənin (şəkil 1.) yanlış olması artıq təsdiqlənmişdir.



Şəkil 1. Silindrik axında pyezometrnlərlə basqının ölçülməsi

Şəkil 1.-dən göründüyü kimi, hər üç tərpənməz şüşə boruda (pyezometrda) maye sütunun hündürlüyü eynidir. Yəni müxtəlif en kəsiklərində olmasına baxmayaraq şüşə borularla ölçülən təzyiqlər (basqılar) eynidir. Hidravlika kitablarında bu hal axında statik təzyiqin onun lokal sürətindən asılı olmadığı və statik təzyiq qradientinin $dP/dr=0$ olması kimi qiymətləndirilmişdir.

Tədqiqatlar (o cümlədən müəllifin aldığı nəticələr) göstərmişdir²³ ki, axının en kəsik sahəsinin Bernulli tənliyinə tabe olmaması haqqında yürüdülmüş fikir yanlışdır. Hal-hazırda özlü mayelərin boruda axmasının istifadə olunan fiziki modeli axının

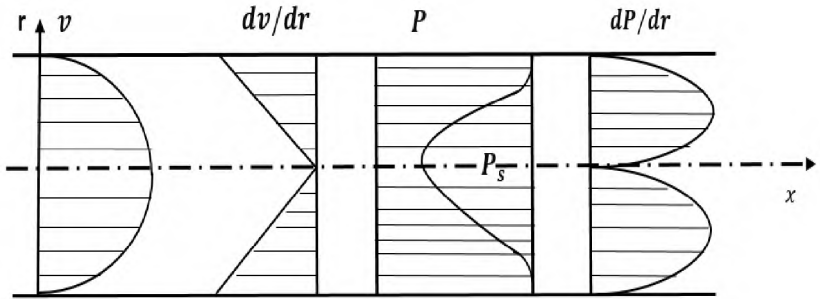
² İsmayılov, Q.Q. Nəql fenomeni. Dərslik. / Q.Q. İsmayılov, E.X. İskəndərov, F.B. İsmayılova – Bakı: ADNSU, - 2021, - 212 s.

³ İsmayılov Q.Q., İsmayılova F.B., Zeynalova G.A., Qulubəyli Ə.P. Multifazalı qaz kəmərlərində fazaların qarşılıqlı təsiri və texnoloji çətinliklər. // XəzərNeftQazYataq-2022 Beynəlxalq Elmi-Praktiki Konfrans, - Bakı: -6-7 dekabr, - 2022, - s. 27-34.

həqiqi formasına uyğun gəlmədiyi üçün analitik hesablama üsullarının reallaşması yolunda çox ciddi bir əngələ çevrilmişdir.

Bu baxımdan professor V.T.Sitenkovun işləyib hazırladığı qradiyent-sürət nəzəriyyəsi daha maraqlıdır. Belə ki, təklif olunan nəzəriyyəyə əsaslanaraq böyük xətalara yol vermədən mühəndis məsələlərinin həllinə imkan verən sadə riyazi modellərin qurulması və neftqazçıxarmada multifazalı şəkildə formalaşan texnoloji proseslərin təhlili və səmərəliliyinin artırılması üçün tətbiqinin mümkünlüyü bu dissertasiya işində göstərilmişdir.

Qrادیyent-sürət sahəsi nəzəriyyəsinə uyğun olaraq real mayenin fiziki modelini şəkil 2-də göstərilədiyi kimi təsvir etmək olar.



Şəkil 2. Axının yeni fiziki modeli

Şəkil 2-dən görüldüyü kimi, yeni fiziki modelə əsasən axında statik təzyiq (P) sabit olmayıb, dəyişən kəmiyyətdir. Statik və sürət təzyiqlərinin cəmi olan tam təzyiq isə $(P+P_s)$ axının en kəsiyi boyu dəyişməz qalır və sabit enerji potensialını yaratmış olur. Enerji potensialının bu cür paylanması işçi səlt mühitin parametrlərinin sabillik şərtinə uyğun gəlir. Ona görə ki, bu zamanı axının en kəsiyi boyu enerji ötürməsi baş vermir. Bu modelin əsas xarakteristikasından biri statik təzyiq qradiyentinin en kəsik boyu paylanması əks etdirməsidir:

$$dP/dr = -8\rho_m u^2 \alpha (1 - \alpha^2)/R \quad (1)$$

Burada, u-boru kəmərinə orta sərf sürəti, m/s; R-borunun radiusu, m; ρ_m -dispers mühitin sıxlığı, kg/m³; α - tədqiq olunan nöqtənin nisbi koordinatıdır ($\alpha=r/R$).

Boru kəmərlərinin hesablanması zamanı baş verən əsas problemlər qaz-maye sistemlərinin təbəqələşmiş, yəni ayrı-ayrı fazalara ayrılmış şəkildə nəqli zamanı, ən kəsik boyu maksimal statik təzyiq qradiyentinin $(dP/dr)_{max}$ fazaların xüsusi çəkirlərinin fərqiindən $((\rho_f - \rho_m)g)$ kiçik olduqda baş verir. Aydınliq üçün dispers mühitin (məsələn, neftin) və dispers fazanın (məsələn, mexaniki hissəciklərin və su damcılarının) boruda axını zamanı ən kəsik boyu dispers faza hissəciyinin mərkəzə doğru yerdəyişməsinə baxaq.

Hissəciyin sıxlığı dispers mühitin (qazın) sıxlığından çoxdur. Qravitasiya qüvvəsinin təsiri altında hissəcik boru kəmərinin aşağı səthində yerləşir. Boru kəməri boyu hərəkət başladıqda qradiyent-sürət sahəsi yaranmış olur. Sahənin r koordinatının gərginliyi aşağı olduqda hissəciyin kütləsinin mərkəzi $dP/dr = (\rho_f - \rho_m)g$ səviyyəsindən aşağıda yerləşir. Hissəciyə 3 qüvvə təsir edir: qravitasiya, Arximed və Bernulli qüvvələridir. Bernulli qüvvəsinin az olması ucbatından əvvəlcə bu qüvvələrin əvəzləyicisinin istiqaməti qravitasiya qüvvəsi ilə eyni olur və hissəcik boru kəmərinin dibində cazibə qüvvəsinin təsiri altında qalır. Qradiyent-sürət sahəsinin gərginliyi kifayət qədər olduqda Bernulli qüvvəsinin çoxalması hesabına əvəzləyici qüvvənin istiqaməti qaz axınının oxuna doğru yönəlmiş olur. Axının oxunda ən az statik təzyiq olduğu üçün Bernulli qüvvəsi həmişə sürətin maksimal qiyməti olan nöqtəyə, yəni axının oxuna yönəlmiş olur. Təzyiq qradiyenti dəyişkən olduğu üçün təcil də dəyişkən olub, sabit qalmır. O vaxt ki, cisim (mexaniki hissəcik və ya su damlası) axının oxuna doğru hərəkət etməyə başlayır, o kiçik qradiyent sahəsindən daha böyük təzyiq qradiyenti sahəsinə düşür. Bu isə o deməkdir ki, cisim dəyişən (artan) təcillə hərəkət etməyə başlayır. Bu cür hərəkət cisim maksimal təzyiq qradiyentinə uyğun gələn nöqtəyə çatana kimi davam edir. Sonra cisim boru kəmərinin oxuna doğru azalan təcillə hərəkət etməyə başlayır. Bu cür vəziyyət isə dinamik tarazlıq oxuna çatana qədər

davam edir. Bu yerdə əvəzləyici qüvvə sıfıra bərabərdir. Buna baxmayaraq cismin sürəti çox olduğu üçün onun hərəkəti inersiya üzrə davam edir və axının oxundan yuxarıda olan sahəyə düşür. Bu yerdə artıq Bernulli qüvvəsi qravitasiya qüvvəsi ilə eyni istiqamətdə olduğundan cismin hərəkəti zəifləmiş olur. Nəticədə qradiyent-sürət sahələrinin növbə ilə təsiri hesabına hissəcik aşağı və yuxarı olmaqla dinamik tarazlıq oxu ətrafında sönən rəqsi hərəkət etməyə başlayır. Bir neçə rəqsdən sonra mexaniki hissəcik sanki sakitləşir və tarazlıq oxunda qərarlaşır. Beləliklə, hissəcik qaz axınının nüvəsində hərəkət etməyə başlayır.

Multifazalı axınlar üçün xarakterik olan bu cür ötürmə hadisələri istər horizontal, istərsə də, qravitasiyalı axınlarda fazaların qarşılıqlı təsirinə səbəb olan Bernulli qüvvəsinin hesabına baş verir. Belə ki, axının kənarlarından onun oxuna doğru təcillə hərəkət edən hissəciklər mərkəzə çatdıqda xeyli zəif sürətə malik olur. Buna baxmayaraq, axının nüvəsində onların dayanıqlı hərəkəti baş vermiş olur.

Hal-hazırda mövcud olan monofazalı axınlar nəzəriyyəsinin özü təcrübə məlumatlarına əsasən empirik üsulla hazırlandığı üçün multifazalı axınlara tətbiq oluna bilmir. Bu sahədə aparılan hesablamaların dəqiqliyi mühəndis praktikasının tələblərinə uyğun deyil, hətta bəzi hallarda nəticələr dəfələrlə fərqli olur. Bu baxımdan multifazalı axınlar üçün yeni axın modelinin nəzərə alınması hidravlik hesablamaların və sxemlərin yeni modelə uyğunlaşdırılması karbohidrogenlərin çıxarılması, hazırlanması və nəqli proseslərinin səmərəliliyini artırmaq üçün çox vacibdir. Monofazalı axınlarla müqayisədə bu sistemlərin hərəkəti zamanı texnoloji proseslər multifazalı vəziyyətdə formalaşdığı üçün yeni yanaşmalar tələb olunur. Turbulent axınlarda ən kəskin boyu maddə və enerjinin ötürülməsi təkcə molekulyar diffuziya hesabına baş vermir. Bu prosesə həmçinin mühitin istiqamətlənmiş hərəkəti də səbəb olur. Multifazalı axınlar üçün xarakterik olan bu cür ötürmə hadisələri istər horizontal, istərsə də, qravitasiyalı axınlarda fazaların qarşılıqlı təsirinə səbəb olan Bernulli qüvvəsinin hesabına baş verir. Belə ki, silindrik axının kənarlarından onun oxuna doğru təcillə

hərəkət edən hissəciklər mərkəzə çatdıqda xeyli zəif sürətə malik olur və axının nüvəsində onların dayanıqlı hərəkəti baş vermiş olur.

Dissertasiyanın ikinci fəslində multifazalı kondensləşən səmt neft qazlarının utilizəsi və nəqli ilə bağlı yaranan əsas problemlər və onların həlli məsələləri öz əksini tapmışdır. Belə ki, səmt neft qazlarının utilizə problemləri, onların nəql texnologiyaları və üsullarının əsaslandırılması və bu zaman qaz resurslarının nəzərə alınmasının vacibliyi məsələləri göstərilmiş, multifazalı qazların səmərəli yığılması və nəqlinin əsas prinsipləri işlənilmişdir.

Multifazalı mədən qaz kəmərlərinin layihələndirilməsi zamanı həlli vacib olan məsələlər araşdırılmış və onların həlli yolları göstərilmişdir. Təbii və səmt neft qazlarının nəql olunmasını müqayisə etsək, onda təbii qazın boru kəməri ilə uzaq məsafəyə monofazalı vəziyyətdə nəql olunmasının mümkünlüyü, səmt qazının isə ancaq iki faza olmaqla multifazalı şəkildə nəql edilə bilməsi aydındır. Multifazalı nəql isə monofazadan fərqli olaraq daha çox enerji sərfi tələb edir. Qazın multifazalı və monofazalı nəqlinə enerji sərfələrinin nisbəti 2-4, bəzi hallarda hətta 5-6 təşkil edir.

Qaz kəmərinin diametrinin seçilməsi zamanı qaz axınının dinamikasını nəzərə almaq vacibdir. Əgər ilkin məlumatlar kimi maksimal qaz sərfi verilmişsə, onda sərfin azalması zamanı qazın nəqlinin ancaq yüksək təzyiq şəraitində həyata keçirilməsi mümkün olacaqdır. Odur ki, qaz kəməri üçün diametrin seçilməsi zamanı qazın minimal nəql təzyiqini əsas götürmək olmaz. Monofazalı axından fərqli olaraq, multifazalı axın üçün boru kəmərinə qazın sərfinin istənilən azalması onun girişində təzyiqin çoxalmasına səbəb olacaqdır. Buradan belə bir nəticəyə gəlmək olar ki, boru kəməri üçün diametrin seçilməsi zamanı qazın sərfinin müəyyən dərəcədə azalması ehtimalı da nəzərə alınmalıdır.

Müəyyən edilmişdir ki, səmt neft qazlarının səmərəli şəkildə utilizə edilməsinin əsas problemi onların multifazalılığı ilə bağlıdır. Bu qazların nəqli zamanı propan-butan fraksiyasının kondensləşərək kəmərdə çökməsi təzyiq itkilərini xeyli çoxaltmaqla onların səmərəli şəkildə utilizəsinə imkan vermir. Qazların utilizəsi üçün texnoloji avadanlıqların seçilməsi zamanı qaz resurslarının nəzərə alınmasının

məqsədəuyğunluğu göstərilmişdir. Səmt qazlarının ancaq multifazalı şəkildə nəqlinin mümkünlüyü müəyyən edilmişdir.

İşin üçüncü fəslə multifazalı boru kəmərlərində relyef nəzərə alınmaqla dinamik yüklərin və təzyiq itkilərinin qiymətləndirilməsi məsələlərinə həsr olunmuşdur.

Multifazalı axınlar üçün nəql fenomeninə əsaslanaraq sürətin (v) və sürət qradientinin (dv/dr) ən kəskin boyu dəyişməsinə nəzərə alsaq, Bernulli qüvvəsinin hesablanması üçün aşağıdakı ifadəni alırıq:

$$F_B = 8.39\rho d^3 u^2 \alpha (1 - \alpha^2)/D \quad (2)$$

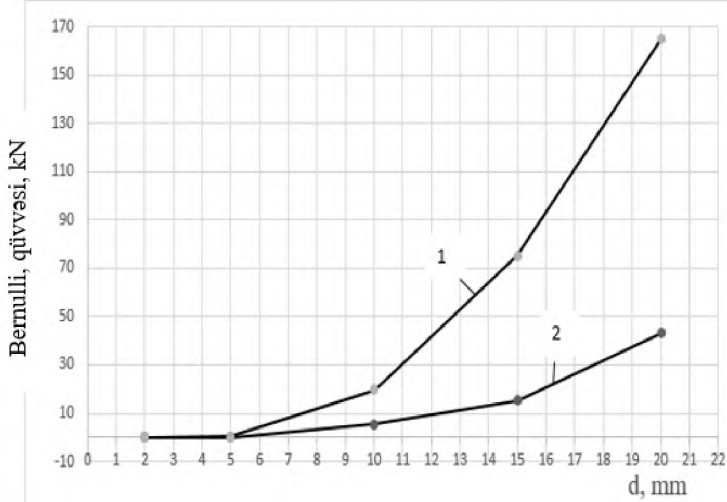
Burada, u - axının orta həcmi sərf sürəti; d - dispers faza hissəciyinin (bu mexaniki hissəcik, su, qaz və s. hissəcik ola bilər) diametri; $\alpha = r/R$; R və D - uyğun olaraq boru kəmərinin radiusu və diametridir, ρ - dispers mühitin sıxlığıdır.

Qaz və neft kəmərlərində dispers faza olaraq müxtəlif ölçülü mexaniki qarışıqların olması halı araşdırılmışdır. Müəyyən olunmuşdur ki, istər neft və istərsə də, qaz kəməri üçün multifazalı axınlarda ən kəskin boyu Bernulli qüvvəsinin dəyişməsi eyni xarakterə malikdir.

Bernulli qüvvəsinin mexaniki hissəciklərin ölçüsündən asılılığı araşdırılmış və müəyyən olunmuşdur ki, həm neft kəməri, həm də qaz kəməri üçün mexaniki hissəciklərin ölçüsünün $d=8-10\text{mm}$ qiymətindən başlayaraq Bernulli qüvvəsi intensiv olaraq artmağa başlayır və getdikcə bu intensivlik daha da çoxalır. Bu zaman qaz kəməri ilə müqayisədə bu artım neft kəmərinə daha çox olur. Daha sonra axının sürətinin yaranan qüvvəyə necə təsir etməsi də tədqiq olunmuşdur. Axın sürətindən asılı olaraq Bernulli qüvvəsi monoton olaraq artır. Bu artım neft kəməri üçün daha xarakterik olur (şəkil 3, 4).

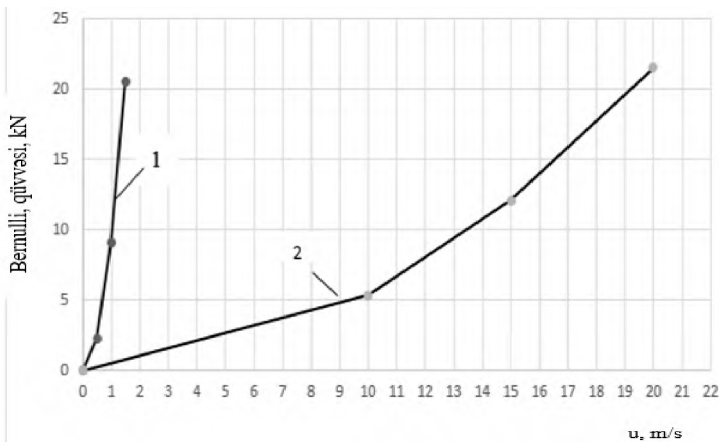
Multifazalı sistemlərin nəqlinin əsasında fazaların qarşılıqlı təsirinin və bu təsirin hərəkətverici qüvvəsinin Bernulli qüvvəsi olduğunu nəzərə alaraq sonuncunun qiymətləndirilməsi məqsədilə onu ağırlıq qüvvəsi ilə tutuşdurmaq kifayətdir. Bu məqsədlə Bernulli qüvvəsinin ifadəsinə daxil olan ($v dv/dr$) təcili ağırlıq qüvvəsinin təcili (g) ilə tutuşdurmaq kifayətdir. Müxtəlif hərəkət sürətlərində

təcillərin nisbətinin (a/g) boru kəmərinin en kəsiyi boyu dəyişilməsini əks etdirən asılılıqlar şəkil 5-də göstərilmişdir.



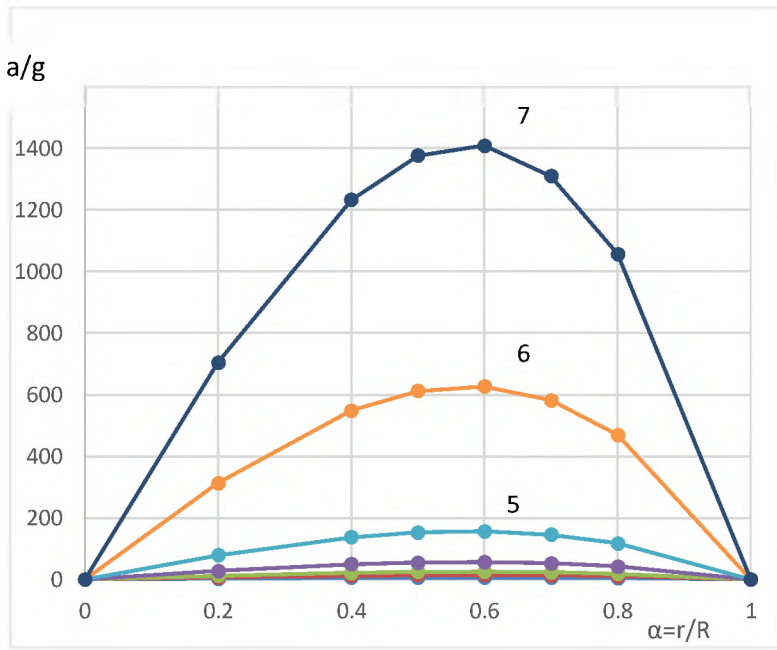
1-neft kəməri; 2-qaz kəməri

Şəkil 3. Bernulli qüvvəsinin dispers faza hissəciyinin diametrindən asılılığı ($D=0.3m$)



1-neft kəməri; 2-qaz kəməri

Şəkil 4. Bernulli qüvvəsinin dispers mühitin (axının) sürətindən asılılığı ($D=0.3m$, $d=0.01m$)



1÷7 –uyğun olaraq $u=1; 1.5; 2; 3; 5; 10; 15$ m/s olduqda

Şəkil 5. a/g -nin müxtəlif axın sürətlərində α -dan asılılığı ($D=0.1m$)

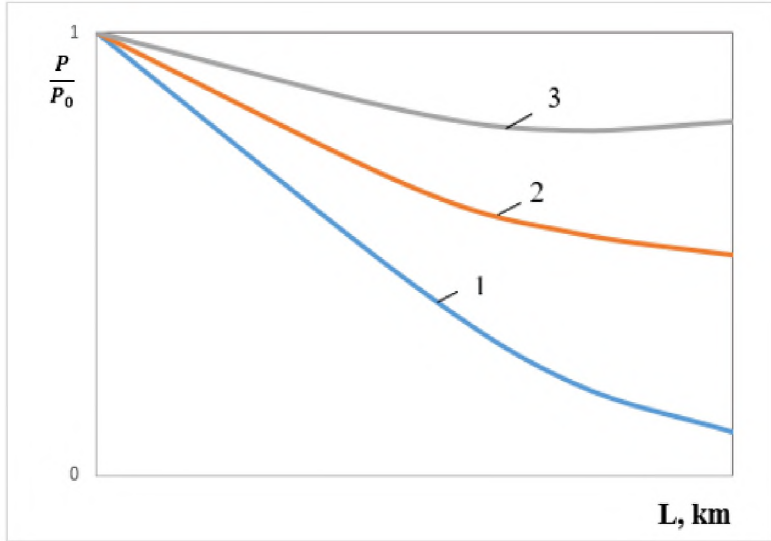
Şəkil 5-dən göründüyü kimi, Bernulli qüvvəsinin yaratdığı maksimal təcil axının sürətinin 15m/s və 10 m/s qiymətləri üçün sərbəstdüşmə təcilindən uyğun olaraq hətta 1400 və 600 dəfə çox olması mümkündür. Təhlil göstərir ki, təcilin maksimal qiyməti Bernulli qüvvəsinin en kəsik boyu dəyişməsinə uyğun olaraq $\alpha=0.577$ qiymətinə uyğundur.

Bu fəsilə təzyiqin paylanması və onun multifazalı kəmərin buraxma qabiliyyətinə təsiri məsələləri araşdırılmış və onun kəmərlər boyu paylanmasını əks etdirən aşağıdakı ifadə alınmışdır:

$$P = \frac{1}{\alpha_0} [(1 + \alpha_0 P_0) e^{-a N x} - 1]$$

Burada, P_0 -başlanğıc təzyiq (Pa), α_0 - qarışıqın sıxılma əmsalı ($\alpha_0 = 10^{-7} \text{ Pa}^{-1}$); a və N -axın rejimini xarakterizə edən sabit kəmiyyətlərdir.

Sonuncu ifadədən göründüyü kimi, multifazalı axınlar üçün təzyiqin paylanması hərəkət rejimindən (m -dən) asılı olaraq kəmər boyu eksponensial qanunla azalır (şəkil 6).



1÷3 uyğun olaraq $m=1$, $m=0,25$, $m=0,123$ qiymətləri üçün

Şəkil 6. Müxtəlif hərəkət rejimlərində sürtünməyə sərf olunan nisbi təzyiq itkisinin axın boyu dəyişməsi

Şəkil 6-dan göründüyü kimi, sürtünməyə sərf olunan nisbi təzyiq itkisinin ən çox azalması multifazalı axının laminar rejimində yəni $m=1$ olduqda baş verir.

İşdə multifazalı axınlarda yaranan dinamik yüklərin qiymətləndirilməsinə baxılmışdır. Reylefli boru kəmərlərində qravitasiyadan yaranan itkilər müəyyən edilmişdir.

Əsasən multifazalı axınlara xas olan dinamik yüklər boru kəməri trasının dönmə yerlərində, qravitasiyalı axın zonalarında və ümumiyyətlə nəql olunan mühitin sıxlığının dəyişmə anında baş verir. Əgər boru kəmərinə sıxlığı sabit olan mühit hərəkət edərsə, onda dinamik yüklər yaranmır.

Dinamik təzyiqin maksimal qiymətini təyin etmək üçün axının böhran sürətinin qiymətini (strukturun dəyişməsinə uyğun gələn qiymətini) müəyyən etmək lazımdır.

Dissertasiya işində aparıcı fazası (dispers mühiti) qaz olan multifazalı axınlar üçün qarışıqın böhran sürəti nəzərə alınmaqla dinamik təzyiqin hesablanması üçün aşağıdakı ifadə alınmışdır:

$$P_{din} = 1,59 \rho_{qar} \cdot gD(\rho_m - \rho_q)/\rho_q$$

Nəzərə alsaq ki, dinamik təzyiqi maye və qaz fazalarının yaratdığı dinamik təzyiqlərin fərqi kimi də qiymətləndirmək olar, onda alarıq:

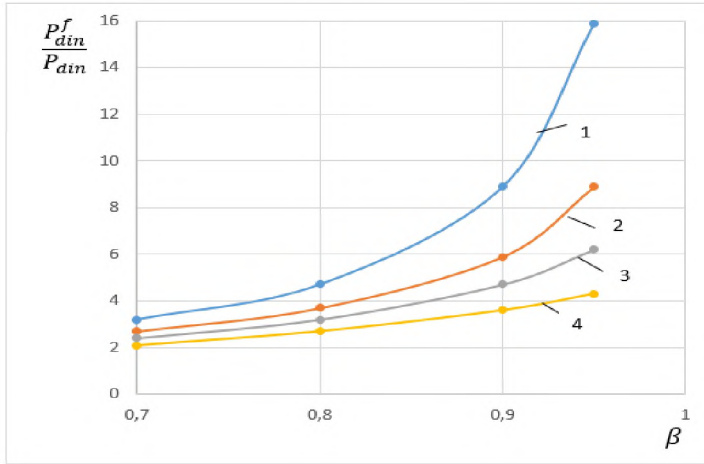
$$P_{din}^f = 1,59 (\rho_m - \rho_q)^2 gD/\rho_q$$

Sonuncu ifadələrin təhlili bir daha sübut edir ki, multifazalı boru kəmərləri üçün xarakterik olan dinamik təzyiqin yaranması sıxlığı ρ_{qar} parametri ilə təyin olunan və bircinsli mühit kimi qəbul edilə bilən, mayenin (dispers fazanın) aparıcı mühit (dispers mühit) olan qazda disperslənmiş (emulsiyalı) axınlarda deyil, əsasən fazalara ayrılmış, tıxaclı hərəkət strukturlarında baş verir.

Multifazalı qarışıqın (neft+qaz) sıxlığını fazaların sıxlıqlarını və həcmi qaz tutumuna (β) əsasən $\rho_{qar} = \rho_m - \beta(\rho_m - \rho_q)$ olduğunu nəzərə alsaq, aşağıdakı ifadəni alarıq:

$$\frac{P_{din}^f}{P_{din}} = \frac{1 - \frac{\rho_q}{\rho_m}}{1 - \beta(1 - \frac{\rho_q}{\rho_m})}$$

Beləliklə, multifazalı axınlarda yaranan dinamik təzyiq qaz tutumunun çoxalması ilə artır, qaz və maye fazalarının sıxlıqları nisbətinin çoxalması ilə isə azalmış olur (şəkil 7).



1÷4 – uyğun olaraq $\frac{\rho_q}{\rho_m} = 1,3; 6,5; 10; 15 \cdot 10^{-2}$ olduqda

Şəkil 7. Dinamik təzyiqlərin nisbətinin β və $\frac{\rho_q}{\rho_m}$ –dən asılılığı

Bu fəsildə həmçinin multifazalı axınlar üçün mədən yığım boru kəmərlərinin sərf xarakteristikalarının tənzimlənməsi məsələləri araşdırılmışdır. Monofazalı axınlarla müqayisədə multifazalı axınlarda təzyiq itkilərinin çox olmasının səbəblərindən biri də, dalğa və qaz tıxaclarının yaranması, qaz qabarcıqlarının parçalanması ilə yanaşı, həm də qravitasiya itkilərinin mövcudluğu ilə bağlıdır. Sərbəst axın zonalarının müəyyən edilməsi və qravitasiya itkilərinin qiymətləndirilməsi metodikası təklif olunmuşdur. Sulaşma və qazsızlaşdırılma dərəcəsindən asılı olaraq multifazalı mədən boru kəmərlərinin sərf xarakteristikasında minimal təzyiq itkiləri təyin edilmişdir.

Dissertasiya işinin dördüncü fəslində dəniz yataqlarından qaz-kondensat qarışıqlarının səmərəli yığılması və nəqli üçün yeni konsepsiyanın işlənilməsi məsələlərinə baxılmışdır. Dəniz yataqlarından qazların yığılmasının və boru kəmərlərinin hesablanması özəl xüsusiyyətləri nəzərə alınmaqla və yatağın

işlənilmə dinamikasına uyğun karbohidrogenlərin yığılması və nəqli üçün səmərəli texnologiyalar işlənilmişdir.

Təhlil göstərir ki, multifazalı qazları nəql edən boru kəmərlərinin dağılmasının böyük əksəriyyəti eroziya və ya eroziya-korroziya xarakterli dağılmalarıdır. Belə ki, kəmərin dağılması əsasən onun aşağı səthi boyu baş verir və qısa zaman ərzində eroziya-korroziya prosesləri borunun divarını dağıdaraq hətta yarıq əmələ gətirir⁴.

Ümumiyyətlə, korroziya fəallığının qiymətləndirilməsi üzrə aparılan tədqiqatların nəticələrinə görə əgər qazın tərkibində hidrogen-sulfid qazı yoxdursa, o aşağı korroziya fəallığı olan mühit hesab edilir. Belə ki, bu zaman polad borular üçün korroziya sürəti çox da böyük olmur və 0,1 mm/il təşkil edir. Yüksək minerallaşma dərəcəsinə malik olan lay suları belə statik şəraitdə orta korroziya fəallığına malik olur. Adətən, belə mühidə polad konstruksiyalarının korroziyaya uğrama sürəti 0,3 mm/il-dən çox olmur. Nisbətən böyük korroziya sürəti hazırlıq mərhələsini tam keçməyən, kondensləşən qazların nəqlini həyata keçirən boru kəmərlərində müşahidə olunur. Bu zaman korroziya sürəti 3-5 mm/il-ə çatır və təsadüfi deyil ki, həmin kəmərlər bir neçə il ərzində sıradan çıxıb bilər. Bu proses qazın tərkibində mexaniki qarışıqlar olduqda daha da sürətlənir. Mədən təcrübəsi onu da təsdiqləyir ki, multifazalı axının böyük sürətlərində istismarda olan boru kəmərləri daha da dayanıqlı olur. Təhlillər və faktlar göstərir ki, baş verən korroziya sürəti ilə multifazalı neft-qaz qarışığının hərəkət sürəti arasında korrelyasiya danılmazdır. Boru xətlərində ən çox dağılmalar boru kəmərlərinin profilinin qalxan hissələrinin başlanğıcında olur. Ən çox eroziyaya məruz qalma əsasən bu hissələrdə maye fazanın və bərk mexaniki hissəciklərin toplanması həmçinin axın boyu həmin hissəciklərin dövrü olaraq aşağı-yuxarı yerdəyişməsi ilə əlaqədardır.

⁴ İsmayilov, G.G. Problems of hydrodynamic Corrosion in Multiphase pipelines, / G.G. İsmayilov, E.K. İskandarov, F.B. İsmayilova // Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces, - 2021. Vol. 57, No. 1, - p. 147–152.

Digər korroziya halları geniş tədqiq olunsada ən çox praktikada eroziya-korroziya səbəb olan və axının hidrodinamikası ilə bağlı olan korroziya problemləri geniş tədqiq olunmayıb.

Boru kəmərlərinin aşağı hissəsində baş verən korroziya-eroziya proseslərinin qarşısının alınması probleminin həlli geniş tədqiqatlar tələb edir. İlk növbədə, daxili amillər hesabına baş verən bu proseslər multifazalı axınların, o cümlədən tərkibində mexaniki qarışıqlar olan qaz axınlarının strukturunun və hidravlik xüsusiyyətlərinin nəzərə alınmasını tələb edir. Hər şeydən öncə, yataqların abadlaşdırılması mərhələsində (eləcə də onların istismarı prosesində) qaz yığılma-nəql xətlərinin diametrinin nisbətən hesablanmış qiymətlərinin kiçildilmiş variantı nəzərə alınmalıdır ki, borularda multifazalı qarışıqların hərəkət sürətlərinin optimal səviyyəsi təmin edilə bilsin.

İşdə multifazalı qaz kəmərinə mexaniki hissəciklərin təsirinin hidrodinamik tənzimlənməsi məsələsinə baxılmışdır. Qeyd edək ki, multifazalı axın kimi su-neft, neft-qaz, qaz-kondensat və onların mexaniki hissəciklərlə qarışıqları da ola bilər. Əsas məsələ bu halda aparıcı (dispers mühit) və dispers fazanın düzgün qiymətləndirilməsindən ibarətdir. Odur ki, aparıcı dispers mühitin sıxlığını $\rho_{a.f.}$, dispers fazanın sıxlığını isə $\rho_{d.f.}$ kimi qəbul etsək, onda boru kəmərinə qarışıqların hərəkəti zamanı mexaniki hissəcik üçün daxili səthdə sürtünmə qüvvəsini mexanikadan məlum olan aşağıdakı asılılığa əsasən müəyyən etmək olar:

$$F = (\rho_{d.f.} - \rho_{a.f.}) g \varphi \pi d^3 / 6$$

Burada: d - mexaniki hissəciyin diametri; φ - sürtünmə əmsəlidir.

Multifazalı axında hissəciyin yerdəyişmə sürətini müəyyənləşdirmək üçün silindrik axının en kəsiyi boyu sürətin məlum paylanma qanunundan istifadə edək:

$$v = 2u \left[1 - \left(\frac{2r}{D} \right)^2 \right] \quad (3)$$

Burada: u - orta sürət; r - axının oxu ilə mexaniki hissəciyin mərkəzi arasındakı məsafədir.

Nəzərə alsaq ki, $r = \frac{D-d}{2}$, onda (3) ifadəsini aşağıdakı kimi yazmaq olar:

$$v = 2u \frac{d}{D} \left(2 - \frac{d}{D} \right) \quad (4)$$

Burada, D və d -uyğun olaraq boru kəmərinin və kürə şəkilli mexaniki hissəciyin diametridir.

Onda, sürtünmə qüvvəsinin gücünün (N) təyini üçün aşağıdakı ifadəni almaq olar:

$$N = Fv = 1.05 (\rho_{d.f.} - \rho_{a.f.}) \varphi u g (2 - d/D) d^4 / D \quad (5)$$

Sonuncu ifadədən görünür ki, boru kəmərinə eroziya təsirinin gücü daha çox mexaniki hissəciklərin diametrindən asılıdır.

Laylardan quyuya daxil olan mexaniki qarışıqların, əsasən qumlardan ibarət olduğunu nəzərə alsaq və ayrı-ayrı fraksiyaların orta ölçüləri və onların borulara olan təsirinə görə nisbi paylanmasına əsasən, eroziya təsirinin gücünü (5) ifadəsinə əsasən hesablamaq olar. Hesablamalar aşağıdakı ilkin məlumatlara əsasən aparılmışdır:

$D = 0,2$ m;

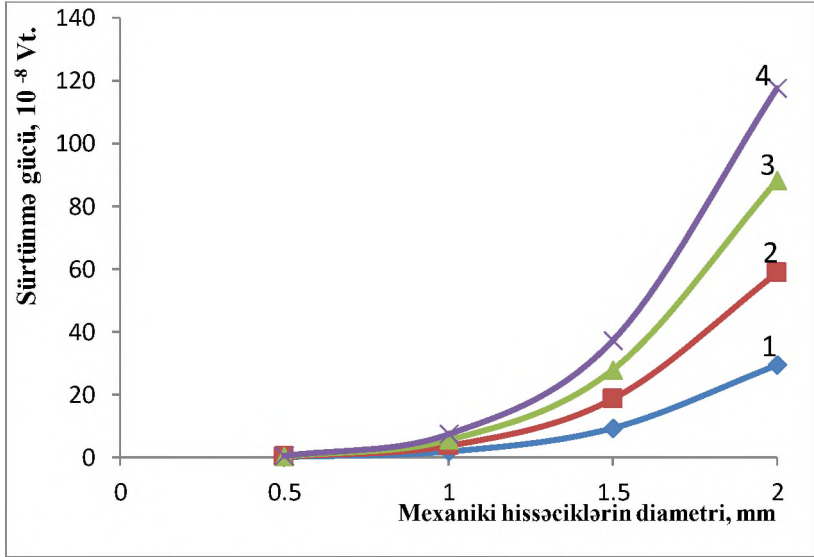
$\rho_{d.f.}$ və $\rho_{a.f.}$ – uyğun olaraq 1500 və 3 kq/m³ və $u = 5; 10; 15; 20$ m/s (u -dispers mühitin-qazın axın sürətidir) qəbul edilmişdir.

Hesablamaların nəticələrinə əsasən multifazlı axının müxtəlif sürətlərində mexaniki hissəciklərdən yaranan sürtünmə gücünün hissəciklərin ölçüsündən asılılığı şəkil 8-də verilmişdir.

Şəkil 8-ə əsasən söyləmək olar ki, sürtünmə gücü əsasən $d > 1$ mm ölçüdə olan fraksiyaların hesabına yaranır. Təhlil göstərir ki, eroziyanın baş verməsini əsasən (90 %-dən çox) diametri 1-2 mm olan fraksiyalar yaradır. Korroziya - eroziya sürəti mexaniki hissəciklərin qaz kəmərinin daxili səthində sürtünmə gücü ilə mütənasib olaraq artır və bu artım mexaniki hissəciklərin miqdarından çox, onların ölçüsündən asılıdır. Odur ki, qaz kəmərinə bərk mexaniki hissəciklərin təsirindən qorumaq məqsədilə həmin hissəciklərin borunun alt divarından axının nüvəsinə düşməsi və orada daşınması vacibdir.

Bunun üçün axında ən kəsik böyü statik təzyiq qradienti (dP/dr) mexaniki hissəciyin və qazın xüsusi çəkilərinin fərqiindən çox olmalıdır.

$$dP/dr > (\rho_{d.f.} - \rho_{a.f.}) g \quad (6)$$



1-4 uyğun olaraq $u=5, 10, 15$ və 20 m/s olduqda

Şəkil 8. Mexaniki hissəciklərin ölçüsündən asılı olaraq sürütmə gücünün dəyişməsi

En kəsik böyü yaranan statik təzyiq qradienti üçün, axının sürəti, boru kəmərinin diametri və bərk hissəciklərin diametri nəzərə alınmaqla (1) ifadəsinə əsasən aşağıdakı ifadəni yazmaq olar:

$$dP/dr = 16\rho_{a.f.} u^2 \frac{d}{D^2} \left(1 - \frac{d}{D}\right) \left(2 - \frac{d}{D}\right) \quad (7)$$

Onda (6) və (7) ifadələrinin bərbərlik şərtinə uyğun olaraq, bərk hissəciklərin daşınması üçün lazım olan axın sürətini çox kiçik xəta ilə hesablamaq üçün aşağıdakı ifadəni almaq olar:

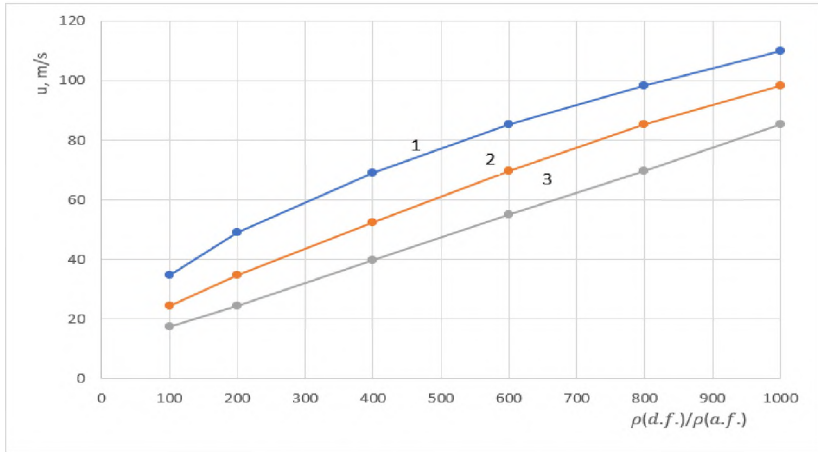
$$u = A \cdot D \sqrt{\frac{\rho_{d.f.}}{2 \rho_{a.f.} d}} \quad (8)$$

Burada, A – əmsaldır ($A=0.783 \frac{m^{\frac{1}{2}}}{s}$)

Sonuncu ifadədən göründüyü kimi, mexaniki hissəciklərin axınıla daşınma (aparılma) sürəti fazaların sıxlıqları, bərk hissəciklərin və kəmərin diametrindən asılı olaraq müxtəlif olacaqdır.

Sonuncu ifadəyə əsasən diametri $D=0.2m$ olan qaz kəmərinə müxtəlif ölçülü mexaniki hissəciklərin axının nüvəsində daşınma sürətinin $\frac{\rho_{d.f.}}{\rho_{a.f.}}$ parametridən asılılığı araşdırılmış, fazaların sıxlıqları nisbəti çoxaldıqca, daşınma sürətinin artdığı, mexaniki hissəciklərin ölçüsünün çoxalması ilə isə azalması müəyyən edilmişdir (şəkil 9).

Beləliklə, multifazalı boru xətlərinin eroziya-korroziyadan qorunması üsullarından biri kimi məhz düzgün hərəkət sürətinin seçilməsini göstərmək olar. Bu zaman axın sürəti dispers faza hissəciklərin axının nüvəsinə salarsa, daşınmasını təmin edərək borunun daxili səthində onların yığılmasına imkan verməyəcəkdir.



1÷3 uyğun olaraq $d=1mm, 2mm$ və $4mm$ olduqda

Şəkil 9. Daşınma sürətinin fazaların sıxlıqları nisbətindən asılılığı

İşin bu fəslində qaz resurslarının dinamikasına uyğun dəniz özüllərindən karbohidrogenlərin yığılması və nəqli üçün multifazalı texnologiyalar əsasında səmərəli üsullar işlənilmişdir.

Multifazalı qaz kəmərlərinin hesablanması zamanı başlıca şərt fazaların qarşılıqlı təsirinin nəzərə alınması və fazaların nisbətindən asılı olaraq boru kəmərinin hesabi diametrinin axının strukturundan asılı olaraq korrektə edilməsidir. Diametrin böyük qəbul edilməsi əlavə xərclərin yaranması və qaz kəmərinin korroziya-eroziya dağılmasının baş verməsinə səbəb olacaq. Diametrin qiymətinin kişildilmiş qəbul edilməsi isə quyuların hasilatını məhdudlaşdırmaqla yanaşı təzyiq itkilərini də artırmış olacaqdır.

Multifazalı axınlarda fazaların qarşılıqlı təsiri nəzərə alınmaqla qaz kəmərinin optimal diametrinin seçilməsinin ümumiləşdirilməsi və axının struktur formalarının dəqiqləşdirilməsi aparılmış və multifazalı boru kəmərlərinin hesablanmasının ardıcılığı göstərilmişdir. Qeyd etmək lazımdır ki, bu hesablamalar qaz fazasının aparıcı (daşıyıcı) faza olduğu qaz-kondensat qarışıqları üçün aparılmışdır. Hesablamalar həm monofaza, həm də multifazalı axınlar üçün həyata keçirilmişdir. Qaz kəmərinin hesablanması metodikasının seçilməsi və axının struktur formalarının müəyyən edilməsi ilk öncə sərfin qaz tutumunun $\beta = Q_q / (Q_q + Q_m)$ dəqiqləşdirilməsi ilə başlanılır. Axının struktur formalarının təyini isə aşağıdakı şərtlərə uyğun dəqiqləşdirilir:

$(dP/dr)_{max} > g(\rho_k - \rho_q) - \text{emulsiyalı (disperslənmiş) axın;}$

$(dP/dr)_{max} < g(\rho_k - \rho_q) - \text{təbəqələşmiş axın forması.}$

İlkin məlumatlara (qazın və kondensatın həcmi sərfələri, sıxlığı və özlülükləri, qaz kəmərinin həndəsi ölçüləri, başlanğıc və son təzyiq və s.) əsasən həcmi sərf qaz tutumu, verilən və ya seçilən diametrə uyğun hərəkət rejimləri və axının struktur formaları müəyyənləşdirilir.

Qaz-kondensat qarışığının axın forması təbəqələşmiş (fazalara ayrılmış) olduqda fazaların sürüşməsi qaçılmaz olduğundan, bu zaman qaz axınının en kəsiyi üçün diametr təyin edilir.

Qaz-kondensat qarışığının hesablanmış ρ_{qar} və ϑ_{qar} parametrlərinin qiymətlərinə əsasən axının en kəsiyində statik təzyiq qradientinin qiyməti (1) ifadəsi nəzərə alınmaqla təyin edilir.

Aparılan hesablamalar nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, monofaza vəziyyətində qazın nəql məsafəsinin kəmərin diametrinin çoxalması ilə artması mümkün olduğu halda, qazın multifazalı (qaz+kondensat) nəqlinin məsafəsi məhduddur.

Dəniz yataqlarından kondensləşən səmt qazlarının yığılması və nəqlinin yatağın işlənmə dinamikasından xeyli asılı olduğunu nəzərə alaraq 0.6; 1; 1.5; 2.5; və 4.0 MPa təzyiq altında və qazın sərfinin 0.024; 0.048; 0.12; 0.24; 0.48; 1.2 və 2.4 mln. m³/gün qiymətlərində multifazalı axınlar üçün nəql məsafəsinin (L) qaz kəmərinin diametrindən asılıqlarını təyin etmək üçün hidravlik hesablamalar aparılmışdır.

Hesablamalar multifazalı axınlarda fazaların qarşılıqlı təsiri nəzərə alınmaqla aparılmış, müxtəlif təzyiq və qaz sərfələri üçün $L=f(D)$ asılıqlara əsasən müəyyən edilmişdir ki, baxılan bütün hallarda kondensləşən qazların nəql məsafəsi məhduddur və maksimal nəql məsafəsi ilə xarakterizə olunur. Məsələn, $P_b=1$ MPa və $P_s=0.25$ MPa təzyiqlərdə qazın maksimal nəql məsafəsinin qazın sərfindən və kəmərin diametrindən asılı olaraq dəyişməsi cədvəl 1-də verilmişdir. Cədvəl 1-dən göründüyü kimi, başlanğıc nəql təzyiqində ($P_b=1$ MPa) qazın maksimal yığım-nəql məsafəsi qazın sərfindən asılı olaraq $Q_q=0.024$ mln m³/gün olduqda 45 km-dən 85 km-dək ($Q_q=2.4$ mln m³/gün olarsa) dəyişir.

Başlanğıc nəql təzyiqindən və qazın sərfindən asılı olaraq maksimal nəql məsafəsinin hesablanmış qiymətləri cədvəl 2-də verilmişdir.

Cədvəl 1

**Multifazalı qazın yığım-nəql məsafəsinin müxtəlif diametrli boru kəmərləri və sərfin qiymətləri
üçün dəyişməsi ($P_b=1$ MPa və $P_s=0.25$ MPa təzyiqlərdə)**

Şərti diametr, D, m	Q _q , mln m ³ /gün						
	0.024	0.048	0.12	0.24	0.48	1.2	2.4
0.1	22						
0.15	39	32					
0.20	44	42					
0.25	45	42					
0.30	44	50	50				
0.35	43	49.5	55				
0.40		49	57	54	45		
0.45			57	60	52		
0.50			56.5	62	57		
0.60			55	64	65		
0.70			54	63	70	60	
0.80					70	65	
0.90					69.5	70	
1.0					69	73.5	
1.1						75.5	70
1.2						78	74
1.3						79	77
1.4						80	78
1.5						79.5	79
1.8						76.5	82
2.0							85
2.2							85
2.4							84

Cədvəl 2

Qazın sərfi və başlanğıc nəql təzyiqindən (P_b) asılı olaraq kondensləşən qazlar üçün maksimal nəql məsafəsinin qiymətləri (km ilə)

Qazın sərfi, mln. m ³ /gün	Nəql təzyiqi, MPa				
	0.6	1.0	1.5	2.5	4.0
0.024	22.5	45	75	126	200
0.048	25.0	50	80	140	225
0.12	29.0	57	92	160	260
0.24	33.0	64	110	180	285
0.48	35.6	70	123	198	320
1.2	40.0	80	139	225	365
2.4	43.0	85	150	245	400

Cədvəl 2-dən göründüyü kimi, 0.6, 1.0, 1.5, 2.5, 4.0 MPa təzyiq altında kondensləşən qazların maksimal yığım-nəql məsafəsi qazın sərfindən asılı olaraq artır və uyğun olaraq 22.5-43; 45-85; 75-150; 126-245 və 200-400 km intervalında dəyişə bilər. Bu cür axınlar üçün nəql məsafəsi qazın sərfi ilə müqayisədə daha çox qaz kəmərinə başlanğıc təzyiqdən asılıdır (cədvəl 2). Belə ki, başlanğıc təzyiqin artması ilə kəmərin optimal diametri dəyişməyə də, qarışıqın nəql məsafəsini bir neçə dəfə artırmaq mümkündür. Təhlil göstərir ki, başlanğıc təzyiqdən fərqli olaraq qazın və kondensatın sərfinin hətta dəfələrlə artırılması belə qaz-kondensat qarışığının nəql məsafəsini yalnız bir neçə kilometr artırmağa imkan verir.

Beləliklə, aparılan hesablamaların nəticələrinin təhlilinə əsasən müəyyən edilmişdir ki, multifazlı qaz kəmərinin səmərəli işinin təmin olunması üçün yatağın işlənilmə dinamikasına uyğun olaraq onun diametri düzgün seçilməlidir. Monofazadan (qaz) fərqli olaraq multifazlı qaz-kondensat qarışıqlarının nəql məsafəsi borunun diametrinin artması ilə heç də istənilən qədər artmır və məhdud qiymətə malikdir. Əgər nəql həmin qiymətdən böyük diametrlı boru kəməri ilə həyata keçirilmiş olarsa, onda qaz kəməri kondensatla dölərək yerlərdə yaranan durğun zonaların (tıxacların) hesabına multifazlı qaz kəmərinə texnoloji çətinliklərin yaranması qaçılmaz

olacaqdır. Kondesləşən qazların və ya qaz-kondensat qarışıqlarının yığılması və nəqlinin səmərəliliyi qaz resurslarının nəzərə alınmasından və nəql texnologiyasının düzgün seçilməsindən çox asılıdır.

İşin beşinci fəslində multifazalı quyu məhsullarının yığılması, hazırlanması və nəqli proseslərinin səmərəliliyini artırmaq məqsədilə yeni reoloji və hidravlik meyarların işlənməsi ilə bağlı məsələlərə yer verilmişdir.

Ballastların multifazalı qarışıqlarda çökməsinin tədqiqi aparılmış və reoloji modelləşdirmə əsasında diaqnostikası göstərilmişdir. Müxtəlif çeşidli neftlərin qarışması zamanı onların kimyəvi tərkibindən asılı olaraq “arzuolunmaz” qarışıqların yaranması həm də asfalten-qatran-parafin (AQP) və digər ballastların intensiv çökməsi ilə də təzahür edə və texnoloji çətinliklərə, çirkəlmələrə səbəb ola bilər. AQP kimi ballastların çökməsinin diaqnostikası üçün multifazalı neftlərin reoloji axın əyrilərinin interpretasiyası əsasında qrafoanalitik üsul təklif olunmuşdur.

Neftin tərkibində mövcud olan disperslənmiş su, mineral duzlar və bərk faza hissəcikləri, həmçinin onda həll olan AQP kimi yüksək molekullu kimyəvi birləşmələr (“qara” emulqatorlar) neft emulsiyalarının reofiziki xassələrini və strukturunu xeyli dəyişdirə bilər. Qeyd etmək lazımdır ki, neft emulsiyaları polidispers sistemlər hesab olunmaqla əksər hallarda qeyri-Nyuton sistemlərə aid edilir. Neft emulsiyalarının reologiyası bir çox amillərdən, o cümlədən, emulsiyada suyun dispersləşmə dərəcəsindən çox asılıdır.

Dispers sistemlərin reoloji təhlilinin nəticələri göstərir ki, reoloji modellərin çoxluğu və müxtəlifliyinə baxmayaraq əsas tədqiqatlar müəyyən dəqiqliklə təcrübə məlumatlarını təsvir edən hadisələrin mexanizmi nəzərə alınmadan, empirik modellərin qurulmasına həsr olunmuşdur⁵.

⁵ Келбалиев, Г.И. Реология неньютоновских нефтей. Монография. / Г.И. Келбалиев, Д.Б. Тагиев, С.Р. Расулов [и др.]. // Москва: - Маска, - 2022. - 601с.

Hal-hazırda mövcud olan emprik reoloji modellərin neft-mədən praktikasında müxtəlif emulsiyaların özlülüyünün təyini üçün istifadə olunması xeyli çətinliklərlə bağlıdır və əksər hallarda mühəndis məsələlərinin həlli üçün yararlı olmur. Bu ilk növbədə neftlərdə disperslənmiş su hissəciklərinin ölçülərinin və həcmi payının təyini ilə bağlıdır. Mədən praktikası göstərir ki, yataqların istismarı zamanı getdikcə su faizinin artması və termobarik şəraitin dəyişməsi hesabına neft emulsiyalarının reoloji və fiziki-kimyəvi xassələri də geniş diapazonda dəyişmiş olur. Bu cür dəyişmələr yəqin ki, suyun disperslənmə dərəcəsinə təsir göstərdiyindən hər hansı reoloji sınağın aparılması həmin hissəciklərin ölçülərinin təyini zəruri edir.

Digər tərəfdən ağır və dayanıqlı neft emulsiyalarında əksər hallarda okkulizasiya olunmuş qazın olması hesabına da neft emulsiyaları qismən qazsızlaşdırılmış hesab edilməlidir. Odur ki, bu cür emulsiyalarda qabarcıqların olması və müxtəlif forma alması da mümkündür.

Neftin reoloji xüsusiyyətindən və sulaşma dərəcəsindən asılı olaraq neft emulsiyalarının özlülüyünün necə dəyişməsinə müəyyən etmək üçün neft nümunələri seçilmiş və reoloji sınaqları aparılmışdır. Reoloji sınaqlar həm susuzlaşdırılmış, həm də müxtəlif sulaşma dərəcəsinə malik olan neftlər üçün aparılmışdır. Aparılan reoloji təhlillər nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, neftin sulaşma dərəcəsi artdıqca emulsiyaların özlülüyü əhəmiyyətli dərəcədə çoxalır. Muradxanlı yatağından götürülmüş neft nümunəsində 20 °C-də aparılan reoloji tədqiqatların nəticələri 35, 40, 45, 50, 55, 60 və 65% sulaşma dərəcələri üçün cədvəl 3-də göstərilmişdir. Cədvəldən göründüyü kimi, sulaşma dərəcəsinin çoxalması ilə neft emulsiyaları üçün sürüşmə gərginliyi (özlülük) əhəmiyyətli dərəcədə və eyni qanunauyğunluqla artır.

Araşdırmalar nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, bu qanunauyğunluğu aşağıdakı riyazi modellə ifadə etmək olar:

$$\eta_{em} = \eta_n \left(\frac{\eta_{em}^*}{\eta_n} \right)^{\frac{\beta_{su}}{\beta_{su}^*}} \quad (9)$$

Burada, β_{su} - cari sulaşma dərəcəsi, %; η_n - susuzlaşdırılmış neftin özlülüüyü, $Pa \cdot s$; β_{su}^* və η_{em}^* - uyğun olaraq maksimal sulaşma dərəcəsi (%) və həmin sulaşmaya uyğun olan emulsiyanın özlülüünün maksimal qiymətidir ($Pa \cdot s$).

Sonuncu ifadədən görüldüyü kimi, $\beta_{su} = \beta_{su}^*$ olduqda $\eta_{em} = \eta_{em}^*$, sulaşma olmadıqda isə ($\beta_{su} = 0$), $\eta_{em} = \eta_n$ alınır.

Sınaq işləri, özlülüüyü, $\eta_n = 0.1 Pa \cdot s$ olan susuzlaşdırılmış neft nümunəsi əsasında neft emulsiyalarının maksimal özlülüünə (η_{em}^*) çatana qədər olan sulaşma həddinə kimi davam etdirilmişdir.

Emulsiyanın maksimal özlülüünə uyğun olan $\beta_{su}^* = 65\%$ sulaşma həddinin qiyməti $\tau = f(\dot{\gamma})$ axma əyrilərinə əsasən müəyyən edilmişdir. η_{em}^* və β_{su}^* parametrlərinin qiymətləri sürət qradientlərinin müxtəlif qiymətləri üçün cədvəl 3-də verilmişdir.

Alınmış riyazi modelə və cədvəl 3-in məlumatlarına əsasən sınağı aparılan neft emulsiyaları üçün özlülülüklerin η_{em} hesablanmış qiymətləri də həmin cədvəldə verilmişdir.

Müxtəlif sulaşma dərəcələri və sürət qradientlərində neft emulsiyaları üçün hesablanmış özlülüün (η_{em}^{mod}) qiymətləri, emulsiyaların təcrübə yolu ilə alınmış (η_{em}^{eks}) qiymətləri ilə tutuşdurulmuş, müvafiq xətlər hesablanmışdır. Cədvəl 3-dən görüldüyü kimi, təcrübəyə və (9) ifadəsinə əsasən təyin edilmiş qiymətlərin bir-birindən fərqlənməsi çox olmadığından (orta hesabla 4-5%) mühəndis hesablamaları üçün qəbul edilə bilər.

Beləliklə, hər hansı bir neft nümunəsi üçün (istər quyudan, istər çəndən, istərsə də boru kəməmindən götürülmüş) sulaşmanın dəyişməsinə əsasən neft emulsiyalarının özlülülüklerinin necə dəyişməsinə təklif olunan riyazi modellə proqnozlaşdırmaq olar. Bunun üçün həmin neft nümunəsinin laboratoriya şəraitində müxtəlif sulaşma dərəcələrində reoloji sınağının aparılması $\tau = f(\dot{\gamma})$ və $\eta_{em} = f(\beta_{su})$ asılılıqlarının qurulması və həmin asılılıqlardan β_{su}^* və η_n parametrlərinin təyini kifayət edir ki, sonrakı dövrdə neft emulsiyaları üçün özlülüün necə dəyişməsinə proqnozlaşdırmaq mümkün olsun.

Cədvəl 3

Neft emulsiyaları üçün özlülüyün təcrübəyə və təklif olunan riyazi modelə əsasən hesablanmış qiymətləri ($t=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\eta_n = 0.1\text{ Pa}\cdot\text{s}$)

$\dot{\gamma}, \text{s}^{-1}$	τ, Pa	$\beta_{su}, \%$	$\eta_{em}^{mod}, \text{Pa}\cdot\text{s}$	$\eta_{em}^{eks}, \text{Pa}\cdot\text{s}$	Xəta, %
0.3333	2.00	35	5.71	6.00	4.8
	3.37	40	10.18	10.11	0.6
	5.9	45	18.14	17.7	2.5
	10.74	50	32.33	32.22	0.3
	19.70	55	57.61	59.11	2.5
	33.66	60	102.68	101.08	1.6
	61.12	65	183	183.38	0.2
1.0	3.87	35	3.83	3.87	1
	6.43	40	6.44	6.43	0.2
	11.17	45	10.85	11.17	2.9
	17.86	50	18.26	17.86	2.3
	31.04	55	30.74	31.04	3.8
	56.37	60	51.74	50.37	2.7
	87.1	65	87.1	87.1	0
3.0	7.84	35	2.71	2.64	2.7
	13.0	40	4.34	4.32	0.5
	21.00	45	6.96	7.00	0.6
	31.81	50	11.14	10.84	2.8
	55.7	55	17.86	18.23	2.0
	69.97	60	28.61	26.62	7.5
	137.52	65	45.84	45.84	0
9.0	13.91	35	1.90	1.99	4.5
	25.76	40	2.89	2.86	1.0
	41.84	45	4.41	4.64	4.5
	57.84	50	6.72	6.42	4.7
	91.75	55	10.24	10.18	0.6
	113.97	60	15.60	14.88	4.8
	213.92	65	23.76	23.77	0.04
48.6	43.84	35	0.92	0.90	2.2
	59.01	40	1.27	1.21	4.9
	89.32	45	1.76	1.84	4.3
	108.00	50	2.41	2.23	3.6
	170.72	55	3.32	3.52	5.7
	204.37	60	4.57	4.31	6.0
	305.6	65	6.29	6.28	0.1
145.8	84.04	35	0.54	0.57	5.2
	104.6	40	0.69	0.72	4.2
	155.72	45	0.88	1.09	19.2
	190.5	50	1.22	1.30	6.1
	230.4	55	1.42	1.51	5.9
	269.54	60	1.81	1.84	1.6
	336.16	65	2.30	2.31	0.4

Neftlərin sulaşması, qarışması və soyuma tempinin onların donma temperaturuna təsirinin laboratoriya sınaqları əsasında tədqiqi də aparılmışdır. Müəyyən edilmişdir ki, yüksək özlülüklü neftlərin bir-biri, yüngül neft və kondensatla qarışdırılaraq nəqli zamanı qarışma nisbətindən asılı olaraq donma temperaturunun anomal olaraq dəyişməsi, neft emulsiyalarının sulaşma dərəcəsi və soyuma tempinin artması ilə isə donma temperaturunun 5-10 °C-dək çoxalması mümkündür.

Dissertasiya işində multifazlı qarışıqların parçalanmasının (fazalara ayrılmasının) səmərəliliyini artırmaq üçün “qara” emulqatorların və Bernulli qüvvəsinin rolu tədqiq olunmuşdur.

Məlumdur ki, neftlərin hazırlanma texnologiyasının səmərəliyi minimal deemulqatorun sərfində maksimal həcmdə susuzlaşdırılmış neftin alınmasından çox asılıdır. Bununla yanaşı, neftin hazırlanması prosesi elə sürətlə həyata keçirilməlidir ki, yanacağın sərfi çoxalmasın və yüngül karbohidrogen fraksiyalarının itkisi az olsun.

Neft yataqlarının işlənilmə təcrübəsi göstərir ki, neftlərin tərkibi, fiziki-kimyəvi və reoloji xüsusiyyətləri istismar prosesində işlənmə dinamikasından asılı olaraq daima dəyişir. Bu proses əsasən neftlərin qarışması zamanı, sulaşması ilə neft emulsiyalarının yaranması və onların tərkibində olan və təbii emulqatorlar (“qara” emulqatorlar) adlanan AQP miqdarının çoxalması ilə müşahidə olunur.

Müəyyən edilmişdir ki, “qara” emulqatorların miqdarı çoxaldıqca emulsiyanın parçalanmasının səmərəliliyi-susuzlaşdırılma faizi azalır.

Neft-mədən praktikasında karbohidrogenlərin lay suyu və mexaniki hissəciklərdən təmizlənməsi (ayrılması) prosesləri multifazlı texnologiyalara əsaslanır. Təcrübədə hidrosiklon texnologiyasının bir çox hallarda az səmərəliliyinin səbəbini fazaların qarşılıqlı təsir mexanizminə əsasən açmaq mümkün olmuşdur. Belə ki, hidrosiklonun fəaliyyətinə Bernulli qüvvəsinin mənfi təsiri aşkar edilmiş və multifazlı texnologiya əsasında texnoloji parametrləri düzgün seçməklə silindrik axında ən kəsik

boyu formalaşan həmin qüvvənin qurğunun işinə mənfi təsirinin qarşısının alınmasının mümkünlüyü göstərilmişdir.

İşdə reoloji modelləşdirmə əsasında multifazalı sistemlərin axını zamanı stabil sərf xarakteristikalarının diaqnostikası məsələsinə baxılmışdır. Bir çox hallarda multifazalı şəkildə formalaşan texnoloji proseslərin səmərəliliyinin artırılması multifazalı axınların düzgün reoloji modelləşdirilməsi və hidravlik (sərf) xarakteristikalarının dayanıqlı olmasını tələb edir. Multifazalı sistemlərin reoloji sınaqları göstərir ki, bir çox hallarda onların axın əyriləri ($\tau = f(\dot{\gamma})$) qeyri monoton asılılıqlarla xarakterizə olunur. Bu cür sistemlərin axma əyrilərinin riyazi təsviri üçün aşağıdakı reoloji model təklif olunmuşdur⁶.

$$\tau = \tau_0 + \mu_0(\dot{\gamma} + \kappa_1\dot{\gamma}^2 + \kappa_2\dot{\gamma}^3) \quad (10)$$

Sonuncu reoloji tənlikdən göründüyü kimi, τ və $\dot{\gamma}$ arasındakı asılılıq 3-cü dərəcəli (kub) olduğundan yuxarıda qeyd olunan dayanıqsız halların mövcudluğu qaçılmazdır. Təklif olunan reoloji modeli qəbul etməklə rotoviskozimetrik nəticələri boru hidravlikasına (nəqlə) keçirmək və multifazalı sistemlərin sərf xarakteristikalarını müəyyənləşdirməyin mümkünlüyü göstərilmişdir.

Sonuncu (10) ifadəsinə daxil olan τ_0 , μ_0 , κ_1 və κ_2 parametrləri reoloji axma əyrisinin interpretasiyasına əsasən təyin edilmişdir.

Boru hidravlikasının elementlərinə əsaslanaraq multifazalı axınların sərf xarakteristikası üçün reoloji modelə uyğun aşağıdakı identifikasiya modeli qurulmuşdur:

$$\Delta P = a_1 Q^3 + a_2 Q^2 + a_3 Q + a_4 \quad (11)$$

$$\text{Burada, } a_1 = 2l\mu_0\kappa_2/(\pi^2 R^{10});$$

$$a_2 = 2l\mu_0\kappa_1/(\pi^2 R^7);$$

$$a_3 = 2l\mu_0/(\pi^2 R^4);$$

$$a_4 = 2l\tau_0/R.$$

⁶ Саттаров, Р.М. Наномоделирование технологических процессов разработки и эксплуатации нефтегазовых месторождений / Р.М.Саттаров, И.Р. Саттарзаде, А.Г. Гусманов // Азербайджанское Нефтяное Хозяйство, Баку: -2010. № 1, - с. 42-51.

Sərf xarakteristikasının, yəni $\Delta P = f(Q)$ asılılığının dayanıqlı olması üçün (11) tənliyinin 1 həqiqi və 2 kompleks kökünün olması vacibdir. İfadədən göründüyü kimi, təzyiq itkisi (ΔP) hətta sərf (Q) müxtəlif olmaqla üç qiymətində belə eyni ola bilər. Ekstremum qiymətlərə uyğun gələn sərf qiymətləri aşağıdakı ifadəyə əsasən tapılmışdır:

$$3a_1Q^2 + 2a_2Q + a_3 = 0 \quad (12)$$

Stabil sərf xarakteristikasının mövcud olması üçün (12) ifadəsinin həqiqi köklərinin olmadığını ($a_2^2 < 3a_1a_3$) və a_1 , a_2 və a_3 -ün yuxarıdakı ifadələrini nəzərə alsaq, dayanıqlı sərf xarakteristikasının olması şərtini aşağıdakı kimi yazı bilərik:

$$\kappa_2 = \kappa_1^2 / 3$$

Beləliklə, təklif olunan reoloji modelə əsasən və təcrübi yolla hesablanmış reoloji parametrlərin demək olar ki, multifazalı sistemlər üçün eyni olduğu və qeyd olunan riyazi modellə həmin sistemlərin reoloji xüsusiyyətlərinin təsvir olunmasının və reoloji modelləşdirmə əsasında sınağı aparılan sistemlər üçün sərf xarakteristikalarının stabil olub-olmamasının yoxlanılmasının mümkünlüyü göstərilmişdir.

Dissertasiya işinin altıncı fəslində multifazalı axınlarda baş verən texnoloji problemlərin və istismar çətinliklərinin diaqnostikası məsələlərinə həsr olunmuşdur. Basqısız (sərbəst) axınla neft dağılmalarının qrafoanalitik təhlili aparılmışdır. Sulaşma amilinin quyunun fontan vurmasına təsiri analitik qiymətləndirilmişdir. Vertikal axınlarda struktur rejimlərinin formalaşmasında fazaların qarşılıqlı təsirinə rolu qiymətləndirilmişdir. Qaldırıcılarda və dik borularda fazaların sürüşməsinin qarışıq sıklığına təsiri qiymətləndirilmişdir. Qazın dispers halının saxlanması ilə nəql edilməsinin yolları göstərilmişdir.

Ümumiyyətlə, qəza halları nəticəsində neftin, qazın dağılan miqdarının hesablanması üçün hal-hazırda mövcud olan riyazi modellər maye və qazların dəşik və lülələrdən monofazalı şəkildə axmasının hidravlikasına uyğun olaraq qəbul edilmişdir. Normativ sənədlərdə və ədəbiyyat mənbələrində multifazalı axınlar üçün

müvafiq qiymətləndirmə və hesablama üsulları, demək olar ki, mövcud deyil.

Başlanğıc və sonunda siyirtmələri bağlı olduqda boru kəməri hissəsinin relyefdən asılı olaraq tam boşalmasının mümkünlüyü araşdırılmışdır.

Boru kəmərlərində sərbəst axınla qəza-neft dağılmalarının qiymətləndirilməsi üçün qrafo- analitik üsul təklif olunmuşdur. Müəyyən edilmişdir ki, ən pis halda belə neft kəmərinin tam boşalması mümkün deyil. Qəza dağılmaları zamanı boru kəmərinin sərbəst axın rejimində tam boşalması o vaxt mümkün olar ki, qəza zamanı boru kəmərinin bütün ekstremal nöqtələrində (profilin maksimal və minimal nöqtələrində) deşiklər yaranmış olsun.

İşdə quyunun fontanvurma ehtimalının diaqnostikası üçün quyudibi təzyiqin minimal qiymətinin təyini məsələsinə baxılmış, məhsulun sulaşma dərəcəsinin multifazalı qaldırıcının işinə təsiri araşdırılmış və artan su faizi fonunda fontanvurmanın diaqnostikası məsələsi həll edilmişdir.

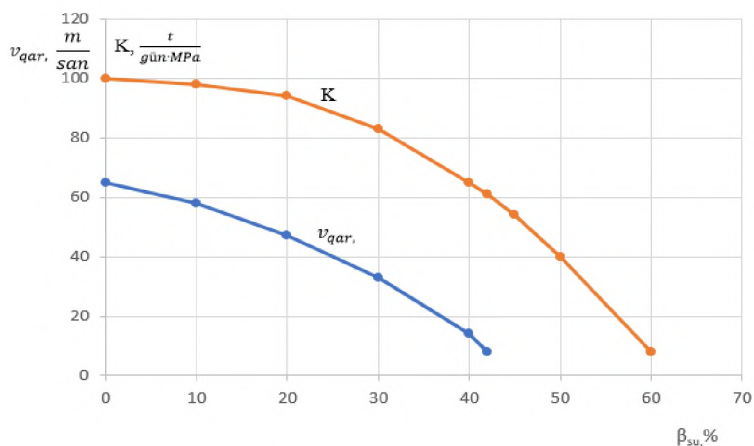
Multifazalı texnologiyalar əsasında fontanvurma şərtinin limit qiymətini təyin etmək üçün aşağıdakı mədən məlumatlarından istifadə olunmuşdur:

- Məhsuldar layın yatma dərinliyi – 1700 m;
- Lay təzyiqi – 14 MPa;
- Qazsızlaşdırılmış neftin sıxlığı – 860 kq/m³;
- Lay neftinin sıxlığı – 760 kq/m³;
- Suyun sıxlığı – 1180 kq/m³;
- Doyma təzyiqi – 8,92 MPa;
- Qaz amili – 47 m³/m³;
- Qazın sıxlığı – 1,38 kq/m³;
- Quyu ağzında minimal təzyiq – 0,3 MPa;

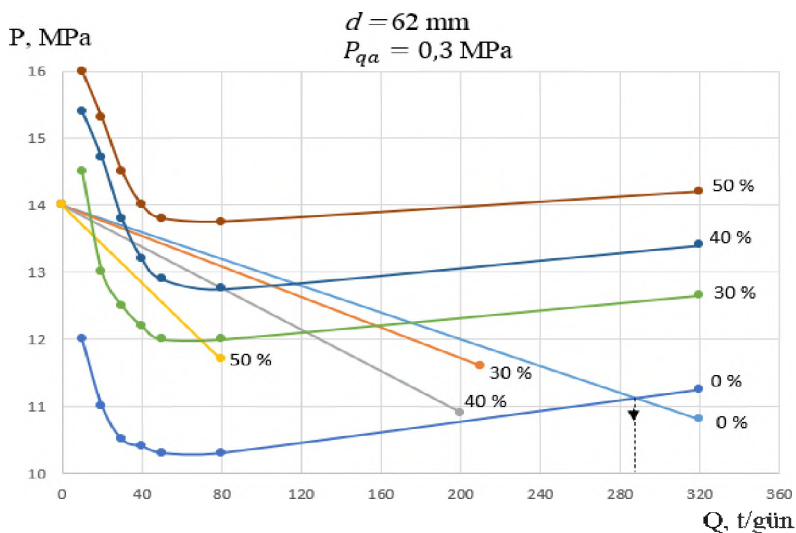
Tutaq ki, yataq lay təzyiqinin 14 MPa səviyyədə saxlanması ilə istismar olunur. Məhsuldarlıq əmsalının və sürətin sulaşmadan asılılığı şəkil 10-da göstərilmişdir. Quyuda qaldırıcı borunun diametri – 62 mm-dir.

İlkin məlumatlara əsasən neftin müxtəlif sulaşma hallarında qaldırıcı üçün xarakterik hidravlik əyrilər qurulmuşdur (şəkil 11). Bu

şəkildə həmçinin $\beta_{su} = 0 \%$, $k = 100 \text{ t}/(\text{gün} \cdot \text{MPa})$ və $P_l = 14 \text{ MPa}$ qiymətlərində indikator ayrıləri də əks olunmuşdur.



Şəkil 10. Məhsuldarlıq əmsalı (K) və sürətin (v_{qar}) sulaşma faizindən asılılığı



Şəkil 11. Fontanvurma şərtinin limit qiymətinin təyini (müxtəlif sulaşmalarda %)

Qurulmuş qrafiklərə əsasən susuz ($\beta_{su} = 0 \%$) halda indikator xəttinin qaldırıcının xarakterik əyrisi ilə kəsişmə nöqtəsi sulaşmayan quyunun fontanvurma rejimini təyin etməyə imkan verir: $P_{qd} = 11,2$ MPa və $Q=288$ t/gün. Sonra qrafikdə məhsulun müxtəlif sulaşmaları üçün $k = f(\beta_{su})$ (şəkil 10) asılılığından istifadə olunaraq müxtəlif sulaşma halları üçün indikator əyriləri də qurulmuşdur. Beləliklə, müxtəlif sulaşmalarda fontan quyusunun işinin rejim xarakteristikası təyin edilmiş və P_{qd} , Q_m və $\Delta P = P_l - P_{qg}$ parametrlərinin qiymətləri cədvəl 4-də verilmişdir.

Cədvəl 4

Məhsulun müxtəlif sulaşmalarında quyunun iş rejiminin parametrləri ($\beta=0,979$)

$\beta_{su}, \%$	$\frac{K}{t}$ $\frac{g}{g \cdot \text{gün} \cdot \text{MPa}}$	P_{qd} , MPa	$\frac{Q_m}{t}$ $\frac{g}{g \cdot \text{gün}}$	ΔP , MPa	$\bar{p}_{qar}$, $\frac{kq}{m^3}$	$\frac{Q_m}{m^3}$ $\frac{s}{s}$	$\frac{Q_q}{m^3}$ $\frac{s}{s}$	$\frac{Q_{qar}}{m^3}$ $\frac{s}{s}$	$\frac{v_{qar}}{m}$ $\frac{s}{s}$	$\left(\frac{dP}{dr}\right)$, $\frac{MPa}{m}$
0	100	11,12	288	2,88	810	0,0041	0,1927	0,1968	65	340
20	95	11,65	220	2,35	884	0,0029	0,1363	0,1392	46	170
30	83	12,22	148	1,78	921	0,0019	0,0893	0,0912	30	72
40	65	12,82	77	1,18	956	0,0009	0,0423	0,0432	14	15
42*	60	13,25	45	0,75	964	0,0005	0,0235	0,024	8	5
50	36	-	-	-	995	-	-	-	-	*

*- Bu sulaşmadan sonra fontanvurma dayanır.

Şəkil 11-dən göründüyü kimi, 50% sulaşma olduqda indikator xətti qaldırıcının xarakteristika əyrisi ilə kəsişmir. Yəni, bu sulaşmada quyunun fontan vurması mümkün deyil. Ancaq quyu $\beta_{su} = 40\%$ sulaşma olduqda fontan vurur. Yəqindir ki, fontan quyusu üçün sulaşmanın limit qiyməti 40 ilə 50 % arasında yerləşir. İnterpolyasiya üsulu ilə müəyyən etmək olar ki, fontanvurma $\beta_{su} = 42,0 \%$ olduqda dayanır. Bu sulaşma həddində şəkil 10-dan göründüyü kimi, məhsuldarlıq əmsali $k=60$ t/(gün·MPa) təşkil edir.

Verilən şərtlər daxilində 42% sulaşma olduqda fontanvurma üçün minimal quyudibi təzyiq $P_{qdmin}=12.88$ MPa alınmışdır.

Maye-qaz qarışığının qaldırıcı boruda axın rejimi multifazlı texnologiyalar əsasında da araşdırılmışdır. Aşağıdakı iki hala baxılmışdır:

1. Quyu məhlulu sulaşmayıb. Yəni verilən şərtlərə görə qaldırıcıda neftin homogen axını, disperslənmiş hərəkət forması mövcud olur. Həcmi qaz tutumu böyük qiymətə malik olduğu üçün qaz fazası aparıcı-dispers mühit, neft isə dispers faza kimi qəbul edilir. Odur ki, en kəskin boyu təzyiq qradientinin maksimal qiymətini aşağıdakı düsturla hesablamaq olar:

$$(dP/dr)_m = 6,16 \cdot \bar{\rho}_{qar} v_{qar}^2 / d ;$$

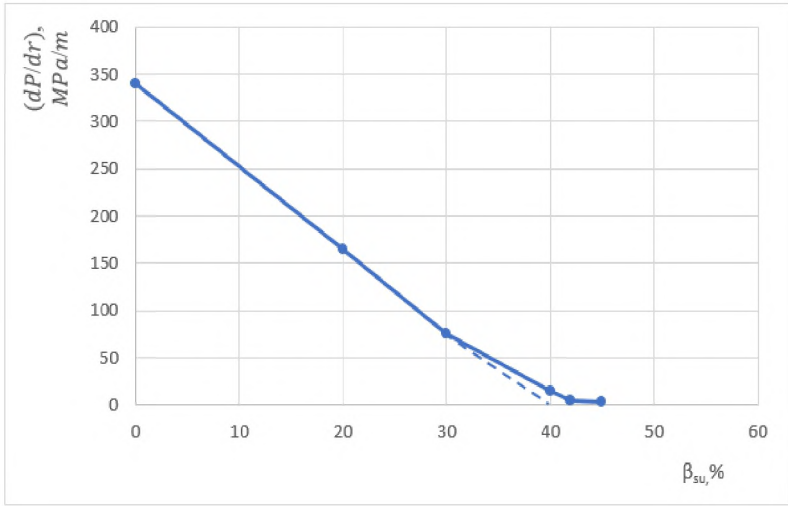
$$v_{qar} = \frac{4 Q_{qar}}{\pi d^2} ,$$

Burada $\bar{\rho}_{qar}$ – qarışıqın orta sıxlığı, kg/m^3 ; d – qaldırıcının diametri, $d=0,062 \text{ m}$; Q_{qar} və v_{qar} – uyğun olaraq qarışıqın sərfi ($\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$) və sürətidir ($\frac{\text{m}}{\text{s}}$).

$\bar{\rho}_{qar}, Q_{qar}, v_{qar}$ və $(dP/dr)_m$ parametrlərinin müxtəlif sulaşma faizlərində neft-qaz qarışıqları üçün hesablanmış qiymətləri cədvəl 4-də verilmişdir.

Multifazalı qarışıqın sürətinin (v_{qar}) və qaldırıcının en kəskin boyu təzyiq qradientinin ($\frac{dP}{dr}$) quyu məhsulunun sulaşma faizindən asılı olaraq dəyişməsi uyğun olaraq şəkil 10 və 12-də göstərilmişdir. Sulaşmadan asılı olaraq quyunun iş rejiminin necə dəyişilməsi isə cədvəl 4-də verilmişdir.

2. Məhsulun müxtəlif sulaşma hallarına (20, 30, 40, 42 və 50%) baxılmışdır. Bu halda, həmçinin sulaşmanın hansı faizində fontan vurmasının başa çatması və bu zaman hansı minimal quyu dibi təzyiqində baş verməsi araşdırılmışdır. Məsələnin şərtinə görə $P_{qd} > P_{doy}$ olduğunu nəzərə alaraq, multifazalı sulaşmış qarışıqın disperslənmiş hərəkət rejiminin mövcudluğu yoxlanılmışdır. Bu məqsədlə qaldırıcının en kəskin boyu yaranan təzyiq qradientinin hesablanmış qiymətləri fazaların xüsusi çəkirlərinin fərqi ($\bar{\rho}_m - \bar{\rho}_q$) g ilə tutuşdurulmuşdur. Qeyd etmək lazımdır ki, bu zaman $\bar{\rho}_m$ – neft-su qarışıqının orta sıxlığı kimi qəbul edilmişdir. Qazın sıxlığı isə minimal quyu ağzı təzyiqi və minimal quyudibi təzyiqi nəzərə alınaraq, hesablanmışdır.



Şəkil 12. Təzyiq qradiyentinin sulaşma faizindən asılılığı

Bu sıxlıqların uyğun olaraq 4,2 və 15,1 kg/m^3 təşkil etdiyini nəzərə alaraq hesablama üçün $\bar{\rho}_q = 15,1 \text{ kg/m}^3$ qəbul edilmişdir. Beləliklə,

$$g(\bar{\rho}_{qar} - \bar{\rho}_q) = 9,81(964 - 15,1) = 9310 \frac{\text{Pa}}{\text{m}} = 0,01 \frac{\text{MPa}}{\text{m}}$$

Göründüyü kimi, dP/dr qradiyenti fazaların xüsusi çəkilərinin fərqindən (baxılan halda $dP/dr = 5 \text{ MPa/m}$) 500 dəfə çoxdur. Yəni baxılan bütün sulaşma hallarında axının disperslənmiş forması mövcud olacaqdır. Sonuncu hesablamanın fonunda axının disperslənmiş formadan təbəqələşmiş (ayrı-ayrı fazalar şəklində) hərəkət rejiminə keçidə uyğun gələn böhran sürətinin qiymətini də hesablamaq olar.

$$v_{böh} = \sqrt{\frac{\frac{dP}{dr} \cdot d}{6,16 \cdot \bar{\rho}_{qar}}} = \sqrt{\frac{10^5 \cdot 0,062}{6,16 \cdot 946}} = 1,03 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Göründüyü kimi, həcmi qaz tutumu $\beta=0,997$ olan qaz-maye qarışığı üçün bu çox kiçik sürət olduğu üçün fontanvurma dövründə qeyd olunan rejimin reallaşması mümkün olmayacaqdır.

Mühüm nəticələrdən biri kimi, şəkil 12-dən də göründüyü kimi, qaldırıcının en kəsiyi boyu təzyiq qradiyentinin məhsulun sulaşma faizindən asılı olaraq dəyişməsinə əsasən quyunun fontan dövrünün hansı sulaşmada başa çatmasının diaqnostikasının mümkün olmasını qeyd etmək lazımdır. Belə ki, məhsulun təqribən 40-41% sulaşması, hansı ki, $(\frac{dP}{dr})$ parametrinin minimal qiymətinə uyğun gəlir, fontanvurmanın başa çatmasına dolayısı olsa da bir işarədir.

Beləliklə, multifazalı texnologiyalar əsasında quyu məhsulunun sulaşmasının fontanvurmaya təsiri tədqiq olunmuşdur. Sulaşmanın hansı faizində fontanvurmanın başa çatması və bunun quyudibi təzyiqin hansı qiymətində baş verməsinin təyini məqsədlə diaqnostik üsul işlənmişdir.

İşdə multifazalı axınlar zamanı qaz kəmərinin texnoloji vəziyyətinin diaqnostikasının mümkünlüyü göstərilmişdir. Qazın tərkibinə görə hesablanmış ranqların additivlik qaydasına tabe olmayaraq dəyişməsi baş verirsə, deməli kəmərdə struktur dəyişikliyi (faza çevrilməsi) baş verir. Əgər additivlik qaydası ödənilmədiyi halda ranqların qiyməti dəyişirsə, bu, kəmərdə maye fazanın (karbohidrogen və su) ayrılmasına işarədir.

Multifazalı qaz kəmərlərinin texnoloji vəziyyətinin diaqnostikası üçün metodik rəhbərlik hazırlanmış və SOCAR tərəfindən təsdiq olunmuşdur.

Dissertasiya işinin bu fəslində fontan (qazlift) qaldırıcısında və dik borularda multifazalı axınların struktur formalarının və həqiqi xarakteristikalarının diaqnostikası məsələlərinə baxılmışdır.

Fontan və qazlift quyularının qaldırıcı borularında, eləcə də sualtı boru kəmərlərinin dik borularında qaz-maye axınlarının struktur təhlili göstərir ki, qabarcıqlı (emulsiyalı) struktur formasında adətən qaz qabarcıqlarının ölçüsü çox kiçik olduğu üçün sistemin dispersliyi yüksək olur və onların Arximed qüvvəsi hesabına mayədə sürüşərək üzə çıxması (sürüşmə sürəti) çox zəif olduğu üçün qarışığa bircinsli homogen sistem kimi baxılır. Qaldırıcı borularda yuxarı

qalxdıqca təzyiq azaldığı üçün həmin qaz qabarcıqları öz həcmi böyüdür və bir-biri ilə birləşərək daha da böyümüş olurlar. Beləliklə, qabarcıqların maye fazaya nisbətən sürüşməsi özünü göstərməyə və tədricən müxtəlif struktur rejimləri formalaşmağa başlayır.

Ümumiyyətlə, ayrı-ayrı strukturlar arasında dəqiq keçid sərhəddi olmasa da hal-hazırda aşağıdan yuxarı axınlar üçün əsasən üç struktur formasının – dispersli (emulsiyalı), mərmili (tıxaclı) və çubuqlu (həlqəvi) strukturların mövcudluğu və daha geniş yayıldığı qəbul edilir.

Multifazalı axınlarda maddə və enerjinin en kəsik boyu ötürülməsi təkcə turbulent diffuziya hesabına baş vermir. Bu prosesə həmçinin mühitin istiqamətlənmiş hərəkəti də səbəb olur. Bu cür ötürmənin hərəkətverici qüvvəsi en kəsik boyu yaranan təzyiq qradientidir.

Diametri D olan vertikal boruda multifazalı qaz-maye axımında dimetri d olan qaz hissəciyinin (qabarcığının) aparıcı faza ilə qarşılıqlı təsiri aşağıdakı kimi baş verir: aşağıdan yuxarı hərəkət zamanı dinamik təzyiqin təsirindən borunun divarlarına yaxın olan qaz qabarcıqları digər qabarcıqlar kimi təcilli hərəkət edir. Bu zaman fazaların sürüşməsi halı da baş verə bilər. Formalaşan qradient-sürət sahəsinin gərginliyindən asılı olaraq, aşağıdakı hallar mövcud ola bilər:

- $dP/dr < (\rho_m - \rho_q)$. Boru səthinə yaxın olan qaz qabarcıqları axının sürəti ilə öz yerlərini en kəsik boyu dəyişməyərək hərəkətini davam etdirir (ρ_q -qazın sıxlığı).

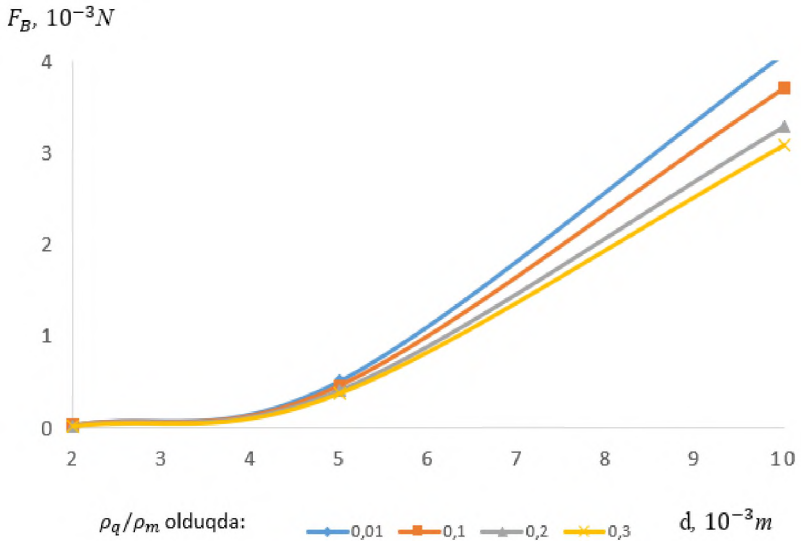
- $dP/dr > (\rho_m - \rho_q)g$. Bu halda boru divarına yaxın yerləşən qabarcıqlar axının mərkəzinə doğru istiqamətlənmiş Bernuli qüvvəsinin təsiri altında olacaqlar.

Bernuli (F_B) və dinamik təzyiq (F_d) qüvvələrinin əvəzləyicisi olan F qüvvəsinin təsirindən boru divarına yaxın olan qaz qabarcıqları sürətini artıraraq axının mərkəzinə doğru hərəkət edir. Silindrik axınlar üçün yuxarıda qeyd olunan tarazlıq şərtinə əsasən Bernuli qüvvəsinin qiymətləndirilməsi üçün (2) ifadəsi nəzərə alınmaqla aşağıdakı ifadəni yazmaq olar:

$$F_B = 0,167\pi d^3(\rho_m - \rho_q)g \quad (13)$$

Sonuncu ifadədən göründüyü kimi, qaz qabarcıqlarının diametrinin artması ilə borunun divarından axının oxuna doğru yönəlmiş bu qüvvə daha intensiv olaraq çoxalmış olur.

Məsələn, $d = 10 \text{ mm}$, $\rho_q = 10 \text{ kq/m}^3$ və $\rho_m = 800 \text{ kq/m}^3$ olan hal üçün Bernuli qüvvəsinin qaz qabarcığının diametrindən və fazaların sıxlıqları nisbətindən asılılıqları diametrin 2.5 və $10 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ qiymətləri üçün şəkil 13-də göstərilmişdir.



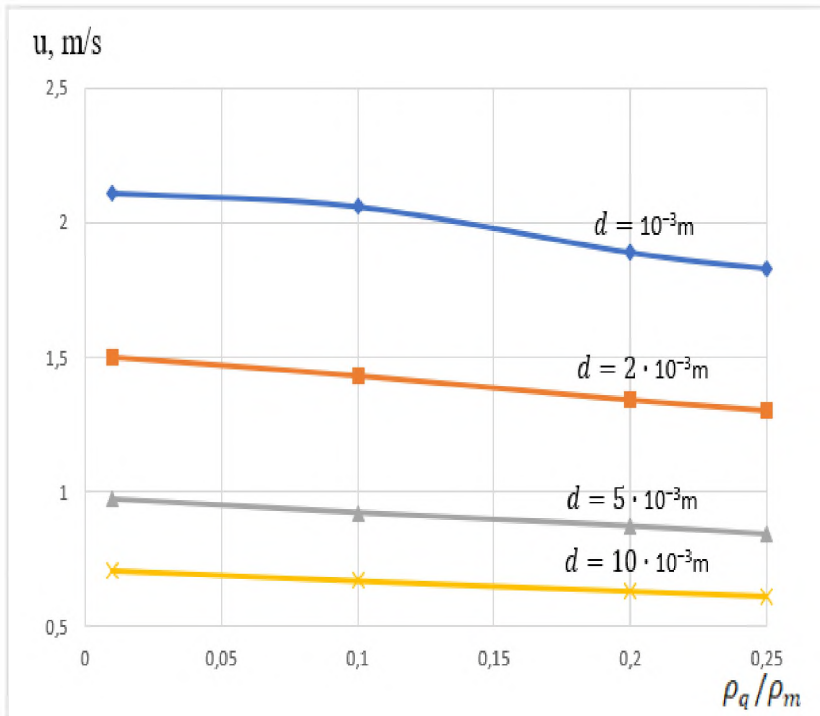
Şəkil 13. Bernuli qüvvəsinin qaz qabarcıqlarının diametrindən asılılığı

Qaz qabarcıqlarının (d) və borunun məlum diametrinə (D) əsasən qabarcıqların axının nüvəsinə daşınmasının hansı sürətdə baş verməsini də hesablamaq olar. Yuxarıda qeyd olunan tarazlıq şərtinə uyğun olaraq daşınma sürətinin qiymətini hesablamaq üçün sadə çevrilmələrdən sonra aşağıdakı ifadə alınmışdır:

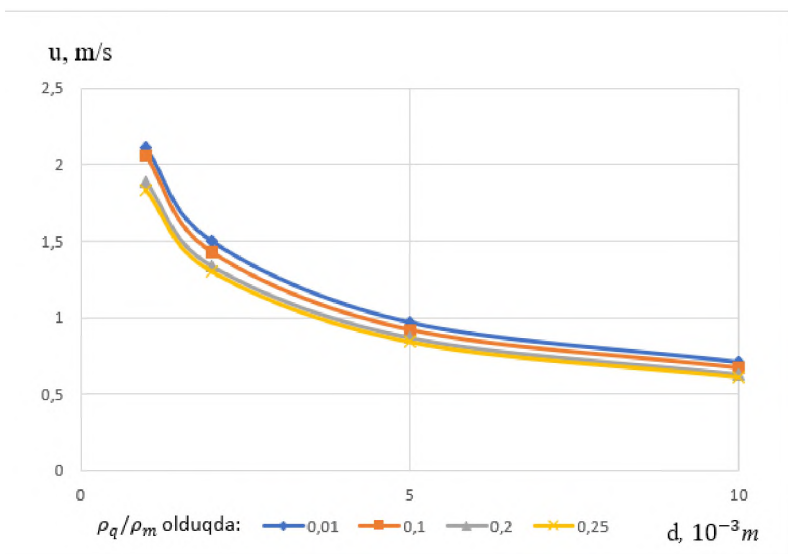
$$u = \frac{1}{4} \sqrt{\left(1 - \frac{\rho_q}{\rho_m}\right) \frac{g \cdot D}{\frac{d}{D} \left(1 - \frac{d}{D}\right) \left(2 - \frac{d}{D}\right)}}$$

47

Sonuncu ifadəyə əsasən $\rho_m = 800 \text{ kq/m}^3$ və $D = 0,12 \text{ m}$ qiymətləri üçün hesablamalar aparılmış və daşınma sürətinin fazaların sıxlıqları nisbətindən ρ_q/ρ_m və qabarcıqların diametrindən (d) asılılıqları qurulmuşdur (şəkil 14 və 15). Şəkil 14 və 15-dən görüldüyü kimi, qabarcıqların diametrinin və fazaların sıxlıqları nisbətinin çoxalması ilə, qaz qabarcıqlarının (dispers fazanın) axının mərkəzinə daşınma sürətinin xeyli azalması ən çox qabarcıqların diametrinin çoxalması ilə baş verir.



Şəkil 14. Daşınma sürətinin fazaların sıxlıqları nisbətindən asılılığı



Şəkil 15. Daşınma sürətinin qaz qabarcıqlarının diametrindən asılılığı

Vertikal multifazalı axınların struktur rejimlərinin formalaşması qaldırıcı borularda uzunluq (hündürlük) boyu təzyiqin düşməsi və qazın ayrılması ilə yanaşı, həmçinin qaldırıcının en kəsiyi boyu dəyişən təzyiq qradientinin yaratdığı Bernuli qüvvəsinin təsirindən qaz qabarcıqlarının axının nüvəsinə miqrasiyası hesabına da baş verir. Odur ki, horizontal axınlarda olduğu kimi, vertikal axınlar üçün də hidrodinamik hesablamalar zamanı fazaların qarşılıqlı təsirinin nəzərə alınması vacibdir.

Fontan (qazlift) qaldırıcısında multifazalı qarışığın həqiqi parametrlərinə fazaların sürüşməsinin təsiri tədqiq olunmuş və sürüşmə effektivliyinin təsirinin azaldılması yolları göstərilmişdir.

İşdə multifazalı özlü-plastik sistemlərin (su-emulsiyaları, qazıma məhlulu, qismən qazsızlaşdırılmış reoloji mürəkkəb neftlər) stasionar xarakteristikalarının diaqnostikası məsələlərinə baxılmışdır.

Dəniz yataqlarından hasil edilən məhsulun nəqli zamanı qazın layihə tələblərinə uyğun hazırlanmasına baxmayaraq faza çevrilmələri (kondensləşmə və ya yenidən separasiya) halları

mövcud olur. İstər təbii qazın faza halından və istərsə də nəql kəmərinin reylefindən (qravitasiya qüvvələrindən) asılı olaraq onun birfazlı dispers halının saxlanması və ya axın boyu təmin edilməsi çox vacibdir. Bu fəsildə həmçinin təbii qazın dispers halını saxlamaqla qaz kəmərinin stabil iş rejiminin təmin edilməsi üsulu işlənmişdir.

Dissertasiyanın 7-ci fəsli lay - quyu sisteminin modelləşdirilməsi, onların birgə xarakteristikalarının qurulması əsasında quyuların optimal iş rejimlərinin təyini, istismar məlumatlarına əsasən vaxtaşırı quyuların işinə düzgün, elmi cəhətdən əsaslandırılmış nəzarət üsullarının işlənməsi məsələlərinə həsr olunmuşdur. Neft və qaz yataqlarının istər Azərbaycanda, istərsə dünyanın başqa ölkələrdə işlənilməsinin təcrübəsi göstərir ki, yataqlar üzrə hasilatın enerjiyə və resurslara qənaət etməklə artırılması məsələlərinin həllinə yönəlmiş innovativ və intellektual üsulların işlənməsi xeyli aktualıq kəsb edir.

Neft yataqlarının işlənməsinin son mərhələsində, daha doğrusu hasilatın azalması zamanı bu cür həllər daha çox aktualıq kəsb edir. Bu cür həllərdən biri intellektual informasiya sistemlərinin yaradılması, lay-quyu sistemlərinin birgə modelləşdirilməsi əsasında neft hasilatının optimallaşdırılması, yığım-nəql sistemlərinin səmərəli fəaliyyətinin təşkili və digər məsələlərin həlli üçün texnoloji proseslərin səmərəliliyinin artırılmasına imkan verən innovativ üsulların işlənməsidir⁷. Belə ki, “intellektual yataq”, “ağıllı quyu” modellərindən istifadə etməklə istismar obyektləri üzrə olan məlumatların operativ yığılması və işlənməsi, eləcə də, retrospektiv təhlil əsasında lay-quyu-yığım sisteminin təhlilinin aparılmasına və texnoloji proseslərin optimallaşdırılması üçün operativ qərarların verilməsi mümkündür.

Bu cür modelləşdirmə ayrı-ayrı quyuların modelləşdirilməsinə imkan verməklə yanaşı quyuların istismarı zamanı neftin və qazın

⁷Бобб, И.Ф. Международный опыт создания нефтегазовых ИТ-технологий для моделирования месторождений // Георесурсы. -2018. -Т.20, №3. - с.193-196.

çıxarılmasının optimallaşdırılması üçün lazım olan düzəlişlərin aparılmasına da imkan verir⁸.

Ümumi qaydada hasilatın səviyyəsi quyuda orta lay təzyiqi ilə dib təzyiqi arasında olan fərqlə müəyyənləşdirilir. Praktikada ən çox aşağıdakı iki üsul tətbiq olunur:

- Sabit məhsuldarlıq əmsalı (K_m) üsulu;
- Foqel üsulu.

Sabit məhsuldarlıq əmsalı (K_m) üsulu və ya düzxətli məhsuldarlıq əmsalı üsulu quyunun məhsuldarlığının sabit qalmasını nəzərdə tutan və vahid enerji sərfinə uyğun gələn hasilatdır.

$$K_m = \frac{Q_m}{P_{lay} - P_{q.d.}}$$

Burada, Q_m - quyunun ümumi maye hasilatı ($Q_n + Q_{su}$); P_{lay} -statik lay təzyiqinin orta qiyməti; $P_{q.d.}$ - istismar zamanı quyu dibində olan təzyiqdir.

Foqel üsulu adlanan ikinci üsul isə quyunun maksimal hasilatını proqramlaşdırmağa imkan verir. Qeyd etmək lazımdır ki, bu üsul su basqılı lay rejimi də nəzərə alınmaqla istənilən lay kollektorlarında tətbiq oluna bilər. Bu üsulu həmçinin məhsulunda sərbəst qaz olan quyularda da tətbiq etmək mümkündür. Foqelin təklif etdiyi tənlik aşağıdakı kimidir:

$$\frac{Q_m}{Q_{max}} = 1.0 - 0.2 \left(\frac{P_{q.d.}}{P_{lay}} \right) - 0.8 \left(\frac{P_{q.d.}}{P_{lay}} \right)^2 \quad (14)$$

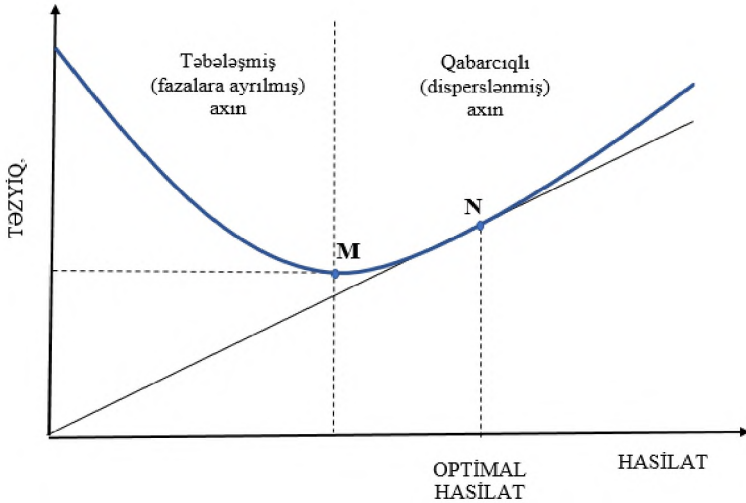
Burada, Q_{max} - maksimal maye hasilatıdır.

Göründüyü kimi, təzyiqlərin nisbətinə əsasən ölçüsüz hasilatlar nisbəti $\frac{Q_m}{Q_{max}}$ - parametrini təyin etmək olar. Bu halda, maksimal hasilat (Q_{max}) 100% depresiya olduqda əldə olunmuş hesab edilir. Mayenin istənilən hasilatında müəyyən dib təzyiqində quyuya axının

⁸ Персиянцев, М.Н. Дабыча нефти в осложненных условиях. / М.Н. Персиянцев. Москва: ООО Недра-Бизнес-центр, - 2010. - 653 с.

xarakteristikasının (14) ifadəsinə əsasən müəyyən edilməsi mümkündür.

Multifazalı texnologiyalara uyğun olaraq (fontan) qazlift qaldırıcısı üçün hidravlik (sərf) xarakteristikası sürtünmə və qravitasiya itkiləri nəzərə alınmaqla yanaşı, həm də multifazalı axının hərəkət rejimini müəyyən etməyə imkan verir (şəkil 16.).

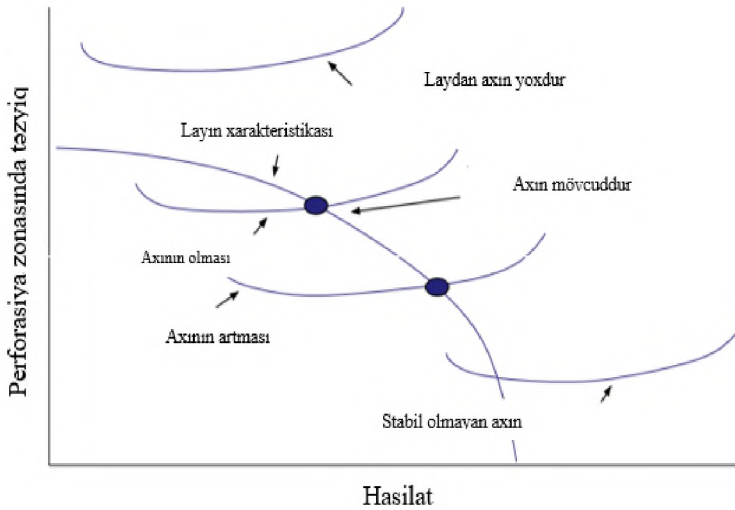


Şəkil 16. Multifazalı axın zamanı struktur rejiminin dəyişilməsi

Şəkil 16-dan göründüyü kimi, M nöqtəsindən solda təbəqələşmiş (fazalara ayrılmış), sağda isə disperslənmiş (qabarcıqlı) axın forması mövcud olur. Bu halda optimal iş rejiminə uyğun gələn nöqtə N nöqtəsi olur və bu nöqtə koordinat başlanğıcından çəkilən toxunanla müəyyən edilir.

Qaldırıcı boruların işçi xarakteristikası və layın xarakteristika ayrılırların qurulması və onların kəsişmə nöqtəsinin təyini əsasında quyuların iş rejimlərini qiymətləndirmək və optimallaşdırmaq mümkündür. Belə ki, həmin xarakteristikaların kəsişmə nöqtəsi modelləşdirilən quyu üçün ümumi təzyiq səviyyəsində hasilatın qiymətini müəyyən etmiş olacaqdır. Müxtəlif multifazalı axınlar

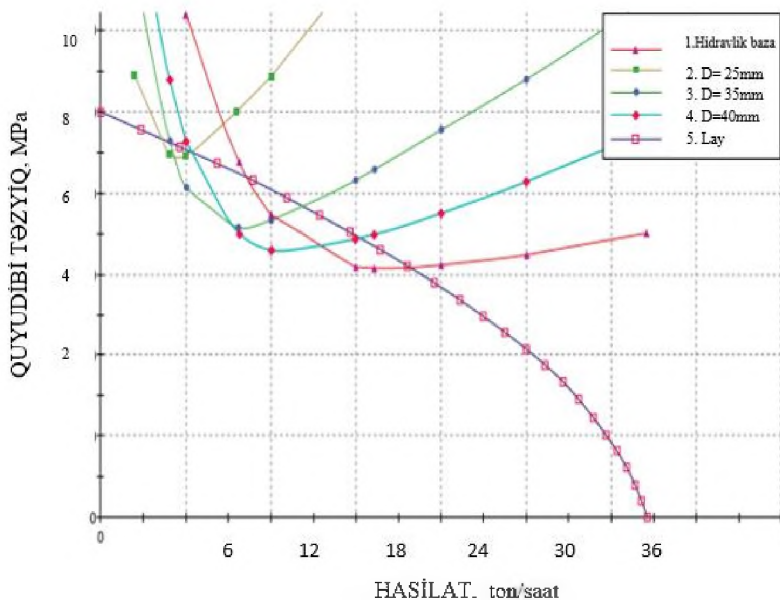
(qaldırıclar) üçün hidravlik xarakteristikaların layın xarakteristikası ilə kəsişmələri şəkil 17-də göstərilmişdir.



Şəkil 17. Qaldırıcının və layın birgə xarakteristikasının variantları

Şəkil 17-dən göründüyü kimi, bu xarakteristikaların kəsişmədiyi hal da mümkündür. Bu hal laydan axının olmaması halına uyğun gələcəkdir. Göründüyü kimi qaldırıcının səmərəli işləməsi üçün onun xarakteristikasının minimum qiyməti yox, ondan sağda yerləşən nöqtədə layın xarakteristika əyrisini kəsməlidir. Əks halda, yəni minimum nöqtəsindən solda kəsərsə, onda iş rejimi qeyri-stabil, axın isə təbəqələrə (fazalara) ayrılmış olacaqdır.

Lay – quyu sisteminin modelləşdirilməsi əsasında yuxarıda qeyd olunan multifazlı texnologiyalara uyğun olaraq fontan qaldırıcısının və laydan quyuya axının birgə xarakteristikaları qurulmuşdur (şəkil 18.). Qeyd olunan şəkildə fontan qaldırıcısının xarakteristikaları boruların müxtəlif diametrləri üçün qurulmuş və bu xarakteristikaların layın xarakteristikası ilə kəsişmələri təhlil olunmuşdur.



Şəkil 18. Lay – quyu sisteminin birgə xarakteristikası (müxtəlif diametrli qaldırıcı üçün simulyasiyası)

Şəkil 18-dən görüldüyü kimi, qurulmuş birgə xarakteristika nasos-kompresor boruları üçün hesablama diaqramı kimi qəbul oluna bilər. Belə ki, şəkildən görüldüyü kimi, baza variantı üçün, yəni quyuda diametri 50/75 mm olan qaldırıcıdan istifadə olunduqda quyu-lay xarakteristikalarının kəsişməsinə uyğun olaraq quyunun hasilatı 20 ton/saat təşkil edəcəkdir. Əgər quyuda kiçik diametrli nasos-kompresor borularından istifadə olunarsa, onda quyunun hasilatı azalmış olacaqdır. Məsələn, diametrin 40; 35 və 25 mm qiymətlərində quyunun hasilatı uyğun olaraq azalaraq 15, 12, 4 ton/saat təşkil edəcəkdir. Beləliklə, şəkildən də görüldüyü kimi, qaldırıcının heç bir diametrində maksimal hasilatı (35 ton) əldə etmək mümkün olmayacaqdır. Odur ki, bu cür hallara quyunun hasilatının artırılması məqsədilə nasos-kompresor borularında quyuəgzi təzyiqin azaldılması yolunun seçilməsi daha məqsəduyğun olacaqdır.

Beləliklə, quyu-lay sisteminin birgə xarakteristikalarına əsasən fontan (qazlift) quyularında optimal iş rejimlərinin qurulması məsələlərinin araşdırılması göstərir ki, laydan gələn axının Foqel üsulu ilə modelləşdirilməsi, multifazalı axınların mövcud olduğu qaldırıcıların hidravlik xarakteristikalarının isə sürət-qradient sahəsinin yeni nəzəriyyəsinə uyğun və axının yeni fiziki modeli əsasında qurulması qaldırıcıların işçi xarakteristikalarının daha düzgün müəyyənləşdirməyə imkan verir. Digər tərəfdən bu cür yanaşma qaldırıcı borularda əsas struktur formalarından olan təbəqələşmiş yoxsa, disperslənmiş axının formalaşmasını da müəyyənləşdirməyə imkan yaradır.

ƏSAS NƏTİCƏLƏR

1. Neftqazçıxarmada və karbohidrogenlərin nəqlində multifazalı texnologiyaların yaradılmasının zərurətləri göstərilmiş, elmi və təcrübi aspektləri əsaslandırılmışdır. Qradient-sürət sahəsinin nəzəriyyəsinə və axının yeni fiziki modelinə əsaslanaraq böyük xətalara yol vermədən mühəndis məsələlərinin həllinə imkan verən sadə riyazi modellərin qurulması və multifazalı şəkildə formalaşan texnoloji proseslərin təhlili və səmərəliliyinin artırılması üçün tətbiqinin mümkünlüyü əsaslandırılmışdır.
2. Müəyyən edilmişdir ki, səmt neft qazlarının səmərli şəkildə utilizə edilməsinin əsas problemi onların multifazalılığı ilə bağlıdır. Belə ki, bu qazların nəqli zamanı propan-butan fraksiyalarının kondensləşərək kəmərdə çökməsi təzyiq itkilərini xeyli çoxaltmaqla və nəql məsafəsini xeyli azaltmaqla onların səmərəli utilizəsinə imkan vermir. Qazların səmərəli utilizəsi məqsədilə texnoloji avadanlıqların seçilməsi zamanı qaz resurslarının da nəzərə alınmasının məqsədəuyğunluğu göstərilmişdir.
3. Multifazalı axınlarda fazaların qarşılıqlı təsirinin hərəkətverici qüvvəsi olan Bernulli qüvvəsinin axının sürətindən asılı olaraq neft və qaz kəmərləri üçün qiymətləndirilməsi aparılmışdır. Müəyyən edilmişdir ki, axının kənarlarından mərkəzə doğru yönələn bu qüvvənin yaratdığı maksimal təcilin dispers mühitin axın sürətinin

15 və 10 m/s qiymətləri üçün sərbəstdüşmə təcildən uyğun olaraq hətta 1400 və 600 dəfə çox olması mümkündür. Bernulli qüvvəsinin ən kəsik boyu maksimal qiymətinin borunun radiusunun $0.577R$ qiymətinə uyğun gəldiyi aşkar edilmişdir.

4. Monofazalı axınlardan fərqli olaraq multifazalı axınlarda təzyiqin axın boyu paylanması qarışıqın sıxılma dərəcəsi və hərəkət rejimindən asılı olaraq eksponensial qanunla azalır. Ən böyük azalma laminar rejimdə və sıxılma dərəcəsi çox olduqda baş verir.

5. Multifazalı boru kəmərlərində təzyiqin səviyyəsinin kəmərin buraxma qabiliyyətinə (qarışıqın sərfinə) təsirinin əhəmiyyətli dərəcədə olması müəyyən edilmişdir. Real boru kəmərlərində orta təzyiqin qiymətindən asılı olaraq qarışıqın sərfinin təzyiqin çoxalması ilə 60%-ə qədər artmasının mümkünlüyü göstərilmişdir.

6. Multifazalı axınlara xas olan və boru kəmərlərinin trasının dönmə yerlərində, qravitasiyalı axın zonalarında, nəql olunan mühitin sıxlığının dəyişdiyi yerlərdə və s. hallarda dinamik yüklərin (təzyiqin) qiymətləndirilməsi zamanı yaranan dinamik təzyiqin qarışıqın həcmi qazlılığı və fazaların sıxlığından asılılığı müəyyən edilmişdir. Bu təzyiqin qazlılığın çoxalması ilə artması, fazaların sıxlıqlarının nisbətindən çoxalması ilə isə azalması aşkar edilmişdir.

7. Reylefli multifazalı axın zonalarının və qravitasiya itkilərinin təyini metodikası təklif olunmuşdur. Sulaşma və qazsızlaşdırılma dərəcəsindən asılı olaraq multifazalı mədən boru kəmərlərinin sərf xarakteristikasında minimal təzyiq itkiləri təyin edilmişdir.

8. Dəniz yataqlarından qaz-kondensat qarışıqlarının səmərəli yığılması və nəqli üçün multifazalı texnologiyalar əsasında konsepsiya işlənmişdir:

- Multifazalı sualtı qaz kəmərlərinin eroziya-korroziya aşınmasına səbəb olan mexaniki hissəciklərin (dispers fazanın) mexaniki təsirindən qorunması üçün düzgün hidrodinamik rejimin seçilməsinin vacibliyi göstərilmişdir. Belə ki, qazın (dispers mühitin) hərəkət sürətinin həmin hissəciklərin qaz axını ilə daşınmasını təmin etdiyi halda onların boru səthində yığılması və rəqsi hərəkəti baş verməyəcəkdir;

- Müəyyən edilmişdir ki, qaz-kondensat qarışıqlarını nəql edən multifazalı qaz kəmərinin səmərəli işinin təmin olunması üçün yatağın işlənmə dinamikasına uyğun olaraq onun diametrinin düzgün seçilməsi çox vacibdir. Monofazadan (qaz) fərqli olaraq multifazalı qaz-kondensat qarışığının nəql məsafəsi diametrdən asılı olaraq məhduddur. Kondensləşən qazların və ya qaz-kondensat qarışıqlarının yığılması və nəqlinin səmərəliliyi qaz resurslarının nəzərə alınmasından və nəql texnologiyasının düzgün seçilməsindən çox asılıdır.

9. Çoxsaylı laboratoriya tədqiqatlarına əsasən müəyyən edilmişdir ki, müxtəlif neftlərin qarışdırılması zamanı “arzuolunmazlıq” halları, həm də müxtəlif ballastların intensiv çökməsi ilə təzahür edə bilər. Qaraçuxur və Bulla neftlərinin (42:58%) nisbətdə qarışdırılması zamanı 10 saat ərzində ballastların çökməsi başa çatmış olur. Qarışan neftlərin reoloji tədqiqatlarına əsasən onların quyu ilə çıxarılması və mədəndaxili yığım-nəql xətlərində hərəkəti zamanı strukturəməlgəlməyə keçid temperaturunun (çökməsinin) ehtimal olunan qiymətini təyin etmək üçün üsul təklif olunmuşdur.

10. Dayanıqlı neft emulsiyalarının sulaşma dərəcəsindən asılı olaraq özlülüyünün necə dəyişməsinə proqnozlaşdırmaq üçün riyazi model təklif olunmuşdur.

11. Aparılan laboratoriya sınaqlarının nəticələrinə əsasən müəyyən edilmişdir ki, neftlərin sulaşma dərəcəsinin və soyuma tempinin artması ilə onların donma temperaturunun əhəmiyyətli dərəcədə çoxalması mümkündür.

12. Multifazalı qarışıqların mərkəzdənqaçma qüvvəsi ilə fazalara ayrılmasının səmərəliliyinin aşağı olmasının səbəbi izah edilmiş və texnoloji parametrlərin düzgün seçilməsi əsasında silindrik axınlarda ən kəskin boyu yaranan Bernulli qüvvəsinin qurğunun işinə mənfi təsirinin qarşısının alınmasının mümkünlüyü göstərilmişdir.

13. Multifazalı boru kəmərlərində sərbəst axınla neft dağılmalarının qiymətləndirilməsi üçün qrafo-analitik üsul təklif olunmuşdur. Müəyyən edilmişdir ki, ən pis halda belə neft kəmərinin tam boşalması mümkün deyil. Qəza dağılmaları zamanı boru

kəmərinin sərbəst axın rejimində tam boşalması o vaxt mümkün olar ki, kəmərin ekstremal nöqtələrində (profilin maksimal və minimal nöqtələrində) dəşiklər yaranmış olsun.

14. Multifazalı texnologiyalar əsasında quyu məhsulunun sulaşmasının fantanvurmaya təsiri tədqiq olunmuş, sulaşmanın hansı faizində fontanvurmanın başa çatması və bunun quyudibi təzyiqin hansı qiymətində baş verməsinin təyini məqsədilə diaqnostik üsul işlənmişdir.

15. Multifazalı qaz kəmərinin texnoloji vəziyyətinin nəql olunan qazın (qaz qarışıqlarının) tərkibinə görə diaqnostikasının mümkünlüyü göstərilmişdir. Qaz qarışığının komponentlərinin dəyişmə dinamikasına uyğun hesablanmış ranqların additivlik qaydasına tabe olmayaraq dəyişməsinin kəmərdə struktur dəyişikliyi (faza çevrilməsi), additivlik qaydası ödənilməklə ranqın qiymətinin dəyişməsi isə maye fazanın, yəni karbohidrogen və suyun ayrılaraq çökməsinə dolayısı da olsa işarə olması əsaslandırılmışdır.

16. İlk dəfə olaraq fontan (qazlift) qaldırıcılarında və dik borularda struktur rejimlərinin formalaşmasında axının en kəsiyi boyu dəyişən təzyiq qradientinin yaratdığı Bernulli qüvvəsinin təsirindən qaz qabarcıqlarının axının nüvəsinə miqrasiyası hesabına da baş verməsi əsaslandırılmışdır.

17. Dik borularda və fantan (qazlift) qaldırıcılarında multifazalı qarışığın sıxlığına fazaların sürüşməsinin təsiri araşdırılmış, həcmi sərfin müxtəlif qaz tutumlarında qarışığın sıxlığına təsiri tədqiq edilmişdir. Qazın nisbi sürətinin çoxalması ilə qarışığın sıxlığının monoton olaraq artması müəyyən edilmişdir. Sürüşmə effektivini azaltmaq məqsədilə kiçik diametrli qaldırıcı boruya keçilməsi və maye axınının sürətinin artırılması təklif olunmuşdur.

18. Multifazalı özlü-plastik laminar axınlar üçün inersiya qüvvələri nəzərə alınmaqla stasionar iş rejiminə çıxış vaxtının təyini üçün metodika işlənmişdir. Bu vaxtın $8v/R^2$ parametri ilə yanaşı, başlanğıc sürüşmə gərginliyi (τ_0) ilə müəyyən olunan axının nüvəsinin (r_0/R) necə formalaşmasından da asılılığı müəyyən edilmişdir.

19. Qaz kəmərinin stabil iş rejiminin təmin edilməsi məqsədilə multifazalı qazın dispers halını saxlamağa imkan verən nəql texnologiyasından istifadə olunmasının vacibliyi və əhəmiyyəti nəzəri və təcrübi olaraq əsaslandırılmışdır. Təbii qazın nəqli zamanı monofazalılığını təmin etmək üçün dispers sistemlərin alınması mexanizmlərindən, o cümlədən, burulğanlı hərəkət yaradan “burğu” qurğusundan istifadə olunmasının məqsəduyğunluğu göstərilmişdir. Laboratoriya sınaqları zamanı bu cür kontruksiyanın həm də ziyanlı təzyiq döyüntülərini dəfələrlə azaltdığı müəyyən edilmişdir.

20. Lay-quyu sisteminin modelləşdirilməsi əsasında, multifazalı axının yeni fiziki modelinə uyğun olaraq quyuya axının və qaldırıcıda hərəkətin birgə hidravlik xarakteristikalarına uyğun olaraq istismar quyularında texnoloji iş rejiminin qurulması və optimallaşdırılmasının mümkünlüyü göstərilmişdir.

Dissertasiyanın əsas nəticələri aşağıdakı elmi işlərdə öz əksini tapmışdır:

1. İskəndərov, E.X., İsmayılova, F.B. Dəniz qaz-kondensat yataqlarından karbohidrogenlərin yığılmasının səmərəliliyi haqqında // İsrafil Quliyevin anadan olmasının 100 illik yubileyinə həsr olunmuş “Dəniz neft və qaz yataqlarının işlənilməsinin aktual problemləri” mövzusunda konfransın materialları, - Bakı: - 2017, - s. 6-12.

2. İsmayılov, Q.Q. Multifazalı qaz kəmərlərində hidrodinamik korroziya problemləri və onların həlli yolları / Q.Q. İsmayılov, E.X. İskəndərov, F.B. İsmayılova // Odlar Yurdu Universitetinin Elmi və Pedaqoji Xəbərləri, - Bakı: - 2017. № 47, - s. 60-66.

3. İsmayılov, Q.Q. Neft qarışıqlarının hazırlanması və nəqlinin reoloji və fiziki-kimyəvi aspektləri. Dərs vəsaiti. / Q.Q. İsmayılov, F.B. İsmayılova, M.B. Adıgözəlova – Bakı: ADNSU-nun nəşriyyatı, - 2017. -161s.

4. İsmayılov, Q.Q. Qaz kəmərlərinin texnoloji vəziyyətinin diaqnostikası üzrə Metodik rəhbərlik. / Q.Q. İsmayılov, Q.H.

Seyfullayev, F.B. İsmayılova [və b.] – Bakı: Elm nəşriyyatı, - 2017, - 38 s.

5. Искендеров, Э.Х. Исследование влияния степени обводненности на состав газовой фазы / Э.Х. Искендеров, Г.Г. Исмайылов, Ф.Б. Исмайылова // Научно-практический журнал «Экоэнергетика», Баку: - 2017. №3, - с.6-12.

6. Исмайылов, Г.Г., Мусаев, С.Ф., Исмайылова, Ф.Б. О возможности прогнозирования вязкостных свойств водонефтяных эмульсий / Материалы всероссийской научно-технической конференции. Ухта, 2-3 ноября, 2017, с.205-207.

7. İsmayılov, Q.Q. Ekstremal şəraitlərdə qazların yığılması, hazırlanması və nəqli. Monoqrafiya / Q.Q. İsmayılov, Y.Z. Ələkbərov, F.B.İsmayılova [və b.] – Bakı: Elm nəşriyyatı, - 2018, - 506 s.

8. İsmayılov, Q.Q. Multifazalı yığım-nəql boru kəmərlərində korroziya problemləri / Q.Q. İsmayılov, E.X. İskəndərov, F.B. İsmayılova // AMEA, Xəbərlər Yer Elmləri Xəbərləri, - Bakı: - 2018. № 1, - s. 31-37.

9. İsmayılov Q.Q. Neftqazçıxarmada multifazali texnologiyalar. Monoqrafiya. / Q.Q. İsmayılov, F.B. İsmayılova, E.X. İskəndərov [və b.] – Bakı: Elm, - 2018, - 248 s.

10. İsmayılova, F.B. Qismən qazsızlaşdırılmış reoloji mürəkkəb neftlərdə suyun disperqlənməsinə temperaturun təsiri barədə / F.B. İsmayılova, S.F. Musayev, V.Q. Quliyev // “Neftin, qazın geotexnoloji parametrləri və kimya” ETİ-nin elmi əsərləri, - Bakı: - 2018. XVIII cild, - s. 308-313.

11. İsmayılova, F.B. Texnoloji boru kəmərlərində reoloji mürəkkəb neftlərin hərəkəti zamanı struktur əmələgəlməyə keçid temperaturunun diaqnostikasi. / F.B. İsmayılova, Valed Mohammed Nacif, G.A. Zeynalova // «Neftin, Qazın Geotexnoloji Problemləri və Kimya» ETİ-nin Elmi əsərlər, - Bakı: - 2018. XVIII cild, - s.313-322.

12. Исмайылов, Г.Г. Исследование кинетики осаждения балластов в перекачиваемых нефтяных смесях / Г.Г. Исмайылов, Э.Х. Искендеров, Ф.Б. Исмайылова, Г.А. Зейналова. // Научный информационный сборник «Транспорт и хранение

нефтепродуктов и углеводородного сырья», Москва: - 2018. №1, - с.37-47.

13. Ismayilova, F.B, Musayev, S.F. Methodology for analyzing the “Oil-gas-water mixture collection system from offshore fields. // Modern problems of innovative technologies in oil and gas production and applied mathematics” proceedings of the international conference, - Baku, - December 13-14, - 2018. - p.447-449.

14. Ismayilova, F.B., Musayev, S.F., Zeynalova, G.A. Hydraulic collations of subsea pipelines for handling of partly gas rich oil emulsions // “Modern problems of innovative technologies in oil and gas production and applied mathematics” proceedings of the international conference, - Baku, - December 13-14, - 2018, - p, 449-450.

15. İsmayilov, Q.Q. Neftlərin qarışmasının və sulaşmasının donma temperaturuna təsirinin tədqiqi / Q.Q. İsmayilov, E.X. İskəndərov, F.B. İsmayilova [və b.] // Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri, - Bakı: - 2019. Cild 11, №2, - s. 52-56.

16. Исмайлов, Г.Г., Искендеров, Э.Х., Исмайлова, Ф.Б. Об эффективности функционирования мультифазных газопроводов с учетом динамики разработки газоконденсатных залежей. Материалы Международной научно-практической конференции «Состояние и перспективы эксплуатации зрелых месторождений», том 2. Актау: - 16-17 май, 2019. - с.75-82.

17. Ismayilov, G.G., Iskandarov, E.K., Ismayilova, F.B. Diagnosis of functioning of gas pipelines by cluster analysis method // 10th International Conference on Theory and Application of Soft Computing, Computing with Words and Perceptions - ICSCCW, Prague-Czech Republic, - 2019, - 27-28 August, - p.557-564.

18. Ismayilov, G.G., Iskandarov, E.K., Ismayilova, F.B. Diagnostic Operation of Gas Pipelines Based on Artificial Neuron Technologies // 10th International Conference on Theory and Application of Soft Computing, Computing with Words and Perceptions - ICSCCW, Prague-Czech Republic, - 2019, - 27-28 August, - p.787-791.

19. Ramazanova, E.E., İsmayılov, Q.Q., İsmayılova, F.B. [və b.]. Qazın hazırlanması üçün boru tipli qurğu. Azərbaycan Respublikasının Əqli Mülkiyyət Agentliyi. PATENT faydalı model. F20190004, 26.08.2019.
20. İsmayılov, Q.Q. Ballastların neft qarışıqların makroskopik parametrlərinə təsirinin tədqiqi / Q.Q. İsmayılov, M.B. Adıgözəlova, F.B. İsmayılova [və b.] // Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri, -Bakı: - 2020. Cild 12, №1, - s. 51-59.
21. İsmayılov, Q.Q. Neftin nəqli və saxlanması, Dərs vəsaiti. / Q.Q. İsmayılov, H.F. Mirələmov, F.B.İsmayılova [və b.] – Bakı: ADNSU-nun nəşri, - 2020, - 225s.
22. Mirələmov, H.F. Təbii qazın nəqli və saxlanması, Dərs vəsaiti. / H.F. Mirələmov, Q.Q. İsmayılov, F.B.İsmayılova [və b.] – Bakı: ADNSU-nun nəşri, - 2020, - 186s.
23. İsmayılova, F.B. Neftlərin qarışması zamanı çöküntülərin yaranması // - Bakı: Azərbaycan Neft Təsərrüfatı jurnalı, - 2020. №12, - s. 36-39.
24. Исмайылов, Г.Г. Об осаждениях балластов в смесях несовместимых нефтей / Г.Г. Исмайылов, Э.Х. Искендеров, Ф.Б. Исмайылова // Научно-практический журнал «Вестник нефтегазовой отрасли Казахстана». - 2020. №3(4), - с.70-80.
25. Исмайылов, Г.Г. Управляемые способы гашения пульсаций давления в мультифазных трубопроводах / Исмайылов Г.Г., Искендеров Э.Х., Исмайылова Ф.Б., Зейналова Г.А. // Journal of Engineering Physics and Thermophysics, Белорусия: - 2020. - с. 222-228.
26. Ismayilov, G.G., Iskandarov, E.K., Ismayilova, F.B. Deposition of Chemical Ballasts in “Undesirable” Oil Mixtures, // International Conference on actual Problems of Chemical Engineering, Dedicate to the 100th anniversary of ASOİU, Baku, - 24-25 December, - 2020, - p.397-399.
27. Ismayilov, G.G., Iskandarov, E.K., Ismayilova, F.B., Hacizade, S.G. Analysis of the Gas Pipelines Operation Based on Neural Networks, // 14th International Conference on Theory and

Application of Fuzzy Systems and Soft Computing – ICAFS-2020, Springer Nature Switzerland AG, - 2020, - p.403-409.

28. İsmayılova, H.G., İsmayılova, F.B., İskandarov, E.X., Hajizade, S.G. Fuzzy assessment of corrosion risks. 11th World Conference “Intelligent System for Industrial Automation” (WCIS-2020), // - Tashkent, - 26–28 Noyabr, - 2020, - p.385-388.

29. İsmayılova, F.B. Multifazalı boru kəmərlərində təzyiqin paylanması haqqında // -Bakı: Azərbaycan Neft Təsərrüfatı jurnalı, - 2021. №2, - s. 58-61.

30. İsmayılov, Q.Q. Nəql fenomeni. Dərslik. / Q.Q. İsmayılov, E.X. İskəndərov, F.B. İsmayılova – Bakı: Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti, - 2021, - 212 s.

31. İsmayılova, F.B. Multifazalı boru kəmərlərindən sərbəst axınla neft dağılımlarının qrafo-analitik təhlili // - Bakı: Azərbaycan Ali Texniki Məktəblərin Xəbərləri, - 2021. Cild 07, No 03, - s. 4-12.

32. İsmayılova, F.B. Multifazalı reylefli boru kəmərlərində qravitasiya itkilərinin təyini // - Bakı: Azərbaycan Neft Təsərrüfatı jurnalı, - 2021. №5, - s. 38-42.

33. İsmayılova, F.B. Multifazalı boru kəmərlərində dinamik yüklərin qiymətləndirilməsi / F.B. İsmayılova, X.T. Cəfərova // Azərbaycan Neft Təsərrüfatı jurnalı, - Bakı: - 2021. №9, - s. 29-31.

34. İsmayılova, F.B. Multifazalı boru kəmərlərində dayanıqsız hidravlik xarakteristikaların diaqnostikası / F.B. İsmayılova, E.X. İskəndərov // Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri, - Bakı: -2021. Cild 13, №1, - s. 54-57.

35. İsmayılova, F.B. Təzyiqin multifazalı boru kəmərlərinin buraxma qabiliyyətinə təsiri haqqında / F.B. İsmayılova, E.X. İskəndərov // Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri, - Bakı: -2021. Cild 13, №2, - s.78-83.

36. İsmayılova, F.B. Neftlərin hidronəqlinin tənzimlənməsinin bəzi məsələləri. / F.B. İsmayılova, G.A. Zeynalova // Mühəndis mexanikası elmi-texniki jurnal. - Bakı: - 2021. № 1-2, - s. 45-50.

37. Исмайлов, Г.Г., Исмайлова, Ф.Б. Об эффективности разделения мультифазных систем в гидроциклонах. Материалы

Международной конференции «Рассохинские чтения», Ухта: - 4-5 февраля, - 2021. - с.64-68.

38. Исмайылов, Г.Г. Прогнозирование вязкостных свойств водонефтяных систем. / Г.Г. Исмайылов, Ф.Б. Исмайылова, С.Ф. Мусаев // SOCAR Proceedings, Баку: - 2021. №1, - с.109-115.

39. Исмайылова, Ф.Б. О роли силы Бернулли при функционировании мультифазных трубопроводов. Материалы Международной конференции «Рассохинские чтения», Ухта: - 4-5 февраля, - 2021. - с.68-71.

40. Исмайылова, Ф.Б., Зейналова, Г.А. Об эффективности разделения мультифазных систем центрифугированием. Way science, (Integration of Education, Science and Business in Modern Environment: Winter Debates: abstracts of the 2nd International Scientific and Practical Internet Conference. –Ukraine: - 2021. – P.1. - с.387-390.

41. Ismayilov, G.G. Problems of hydrodynamic Corrosion in Multiphase pipelines, / G.G. Ismayilov, E.K. Iskandarov, F.B. Ismayilova // Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces, - 2021. Vol. 57, No. 1, - p. 147–152.

42. İsmayılov, Q.Q. Təbii qazın dispers halını saxlamaqla boru kəmərinin stabil iş rejiminin təmin edilməsi / Q.Q. İsmayılov, E.X. İskəndərov, F.B.İsmayılova [və b.] // Azərbaycan Neft Təsərrüfatı, - Bakı: -2022. №8, - s. 35-40.

43. İsmayılov, Q.Q. Multifazalı vertikal axınlarda struktur rejimlərin formalaşması haqqında / Q.Q. İsmayılov, F.B. İsmayılova, G.A. Zeynalova // Azərbaycan Neft Təsərrüfatı, - Bakı: - 2022. №11, - s. 28-33.

44. İsmayılov, Q.Q. Nəql fenomeni (məsələlər həlli ilə). Dərs vəsaiti. / Q.Q.İsmayılov, F.B. İsmayılova, G.A. Zeynalova – Bakı: ADNSU-nun nəşri, -2022, - 176 s.

45. İsmayılov, Q.Q., İsmayılova, F.B., Zeynalova, G.A., Qulubəyli Ə.P. Multifazalı qaz kəmərlərində fazaların qarşılıqlı təsiri və texnoloji çətinliklər. // XəzərNeftQazYataq-2022 Beynəlxalq Elmi-Praktiki Konfrans, - Bakı: -6-7 dekabr, - 2022, - s. 27-34.

46. İsmayılova, F.B. Qaz resurslarının dinamikasına uyğun multifazlı səmt qazlarının səmərəli yığılması və nəqli // - Bakı: Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri, - 2022. Cild 14, №3, - s.74-79.
47. İsmayılova, F.B. Multifazlı səmt neft qazının utilizə problemləri və nəql texnologiyaları // -Bakı: Azərbaycan Neft Təsərrüfatı Jurnalı, - 2022. №4, - s. 62-66.
48. İsmayılova, F.B. Dik borularda fazaların sürüşməsinin multifazlı qarışıqın sıxlığına təsirinin qiymətləndirilməsi / F.B. İsmayılova, E.X. İskəndərov, H. Bəbirov // Azərbaycan Ali Texniki Məktəblərin Xəbərləri, - Bakı: -2022. Cild 18, №3, - s. 49-54.
49. Iskandarov, E.K., Ismayilova, F.B., Farzalizade, Z.I.. Evalution of changes in the operating modes of gas pipelines on the basis of artificial neuron technologies. // “KhazarNeftGazYatag 2022” International Scientific and Practical Conference, Baku, - 2022. - p.18-22.
50. İsmayılova, F.B. Multifazlı neft-qaz qarışığının sulaşmasının quyunun fontan vurmasına təsirinin diaqnostikası // - Bakı: Azərbaycan Neft Təsərrüfatı jurnalı, - 2022. №5, - s. 26-30.
51. İsmayılov, Q.Q. Mürəkkəb relyefli maye qaz kəmərlərində multifazlı zonaların tənzimlənməsi haqqında / Q.Q. İsmayılov, F.B. İsmayılova, X.T. Cahangirova // Azərbaycan Neft Təsərrüfatı, - Bakı: - 2023. №11, - s. 26-30.
52. İsmayılova, F.B. Çoxfazlı dispers sistemlərin ayrılması zamanı hidrosiklonun aşağı səmərəliyinin səbəbləri haqqında. / F.B. İsmayılova, Q.Q. İsmayılov, Ə.P. Qulubəyli // Azərbaycan Ali Texniki Məktəblərin Xəbərləri, - Bakı: - 2023. Cild 30, buraxılış 07, - s.278-285.
53. Исмайылов, Г.Г. Некоторые аспекты повышения эффективности освоения газоконденсатных ресурсов в морских условиях / Г.Г. Исмайылов, Э.Х. Искендеров, Ф.Б. Исмайылова, [и др.] SOCAR PROCEEDINGS 02, - 2023, - с.7-13.
54. Исмайылова, Ф.Б., Исмайылов, Г.Г., Искендеров, Э.Х., Джахангирова, Х.Т. Построение математической модели расходных характеристик мультифазных трубопроводов с

учетом фазовых переходов. Инженерно-физический журнал. Том 96, № 1, 2023, с.73-78.

55. Ismayilov, G.G., Ismayilova, F.B., Zeynalova, G.A. Innovative methods and technologies for efficient gathering and transportation of hydrocarbon resources from offshore fields. // Conference Proceedings “Energy Locomotives of the Turkish World” dedicated to the 100th anniversary of the National Leader Haydar Aliyev and establishment of the Republic of Turkey, Baku, -25-26 Oktober, -2023, - p. 5.

56. Ismayilova, H.G. Diagnosis of the risk of oil leaks from pipelines. / H.G. Ismayilova, F.B. Ismayilova, M. Shahlarly // Reliability: Theory and Applications, - 2023. Special Issue 5 (75) Vol.18, - p.449-455.

57. Ismayilova, H.G. Investigation of Submarine Pipeline Failure Accidents in Deepwater Based on the Fuzzy Analytical Hierarchy Process. / Ismayilova H.G., Ismayilova F.B., Shahlarly M. // Lecture Notes in Networks and Systems, - 2023, - p.391-398.

58. İskəndərov, E.X. Karbohidrogenlərin yığılması və nəqlə hazırlanması. Dərs vəsaiti / E.X. İskəndərov, F.B. İsmayilova – Bakı: ADNSU-nun nəşriyyatı, -2024. - 172 s.

59. Ismayilova, F.B. Investigation of precipitation kinetics of various ballasts in “Undesirable” oil mixtures. / F.B. Ismayilova, G.A. Zeynalova, K. Jahangirova The Caucasus Economic and Social Analysis Journal, - 2024. Volume 58 (12), Issue 01, pp. 59-70.

60. Ismayilov, G.G. Diagnosis of steady-state characteristics in laminar flow of fluids. / G.G. Ismayilov, F.B. Ismayilova, G.A. Zeynalova // Rudarsko-geolosko-naftni zbornik, - 2024, Vol. 39, No. 69, - p.53-58.

İddiaçının dərc olunmuş əsərlərdə və dissertasiya işində şəxsi töhfəsi

[23], [29], [31], [39], [46], [47], [50] – sərbəst (həmmüəllifsiz) yerinə yetirilmişdir.

[1], [10], [11], [13], [14], [28], [33], [34], [36], [40], [48], [49], [52], [54] – məsələnin qoyuluşu, eksperimental və nəzəri tədqiqatların planlaşdırılması, alınan nəticələrin sistemləşdirilməsi və təhlili.

[2], [3], [4], [6], [7], [8], [9], [12], [15], [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22], [24], [25], [26], [27], [30], [37], [41], [42], [43], [44], [45], [51], [53], [55], [60] – tədqiqatların aparılması metodikasının işlənməsi, riyazi modelin alqoritminin təklifi, elmi nəticələrin sistemləşdirilməsi, təcrübi məsələnin icrası.

[5], [35], [38], [56], [57], [58], [59] – müəlliflərin iştirak etmə payı bərabərdir.



Dissertasiyanın müdafiəsi 27 may 2025-ci il tarixində saat 11⁰⁰-da Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən ED 2.03 Dissertasiya şurasının iclasında keçiriləcək.

Ünvan: AZ1010, Bakı şəhəri, D.Əliyeva 227

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

Dissertasiya və avtoreferatın elektron versiyaları Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetinin rəsmi internet saytında yerləşdirilmişdir.

Avtoreferat 24 April 2025-ci il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: 21.04.2025
Kağızın formatı: A5
Həcm: 77564
Tiraj: 100