

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

Əlyazması hüququnda

XARİCİ VƏ DAXİLİ TƏSİRLƏR NƏZƏRƏ ALINMAQLA NEFT VƏ QAZ KƏMƏRLƏRİNİN QALIQ İSTİSMAR RESURSLARININ TƏDQIQI

İxtisas: 3354.01 - Neft-qaz kəmərlərinin, bazalarının və
anbarlarının tikilməsi və istismarı

Elm sahəsi: Texnika elmləri

İddiaçı: **Anar Rasim oğlu Nağızadə**

Fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi
almaq üçün təqdim edilmiş dissertasiyanın

AVTOREFERATI

Bakı – 2026

Dissertasiya işi SOCAR-ın "Neftqazəlmətdəqiqatlayihə" İnstitutunun "HidroTexniki qurğuların tədqiqi" laboratoriyasında yerinə yetirilmişdir.

Elmi rəhbərlər:

Texnika elmləri doktoru, professor
Qafar Qulamhüseyn oğlu İsmayılov

Texnika elmləri doktoru, dosent
Natiq Muxtar oğlu Səfərov

Rəsmi opponentlər:

Texnika elmləri doktoru
Vəli Xanağa oğlu Nurullayev

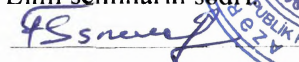
Texnika üzrə fəlsəfə doktoru, dosent
Mübariz Maşallah oğlu Quliyev

Texnika üzrə fəlsəfə doktoru
Rəbiyə Mustafa qızı Abışova

Azərbaycan Respublikası Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti nəzdində fəaliyyət göstərən FD 2.03 saylı Dissertasiya Şurası

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

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

Elmi seminarın sədri: Texnika elmləri doktoru, dosent
 **Fidan Babəli qızı İsmayılova**

İmzaları təsdiq edirəm:

ADNSU-nun Elmi katibi,

Texnika üzrə fəlsəfə doktoru, dosent
İnqlab Namiq oğlu Əliyev



TƏDQIQATIN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi. Neft və qaz yataqlarının mənimsənilməsi zamanı hasil olunan karbohidrogenlərin təhlükəsiz və etibarlı nəqli əsas texnoloji məsələlərdən biridir. Bu baxımdan neft və qaz kəmərləri mürəkkəb konstruktiv sistemlər olmaqla, müxtəlif xarici və daxili təsirlərin birgə təsirinə məruz qalır. Xüsusilə sualtı boru kəmərlərinin layihələndirilməsi və istismarı zamanı dəniz mühitinin xüsusiyyətləri, suyun və qrunzun temperaturu, hidrostatik təzyiq, dəniz dibinin relyefi, axınların təsiri və nəql olunan məhsulun fiziki-kimyəvi xüsusiyyətləri nəzərə alınmalıdır.

Boru kəmərlərinin etibarlı işləmə qabiliyyəti yalnız onların ilkin möhkəmlik göstəriciləri ilə deyil, həm də istismar müddəti ərzində yaranan gərginlik-deformasiya vəziyyətinin dəyişməsi, materialın yorulması, korroziya prosesləri, çatların inkişafı və müxtəlif növ qüsurların formalaşması ilə müəyyən olunur. Xarici hidrostatik təsirlər, daxili təzyiq, temperatur dəyişmələri və dinamik yüklər boru divarında əlavə gərginliklərin yaranmasına səbəb olur ki, bu da zaman keçdikcə boru kəmərlərinin möhkəmlik ehtiyatının və qalıq istismar resurslarının azalmasına gətirib çıxarır.

Müasir dövrdə quruda və Xəzərin Azərbaycan sektorunda müxtəlif təyinatlı neft və qaz kəmərləri uzun müddət ərzində fəaliyyət göstərir. Bu kəmərlərin texniki vəziyyətinin qiymətləndirilməsi zamanı yalnız mövcud qüsurların aşkar edilməsi deyil, həm də həmin qüsurların inkişaf dinamikasının, gərginlik vəziyyətinin dəyişməsinin və konstruksiyanın gələcək etibarlı işləmə müddətinin müəyyən edilməsi mühüm əhəmiyyət daşıyır. Bu məqsədlə texniki və texnoloji diaqnostika məlumatlarından istifadə etməklə boru kəmərlərinin qalıq istismar resurslarının qiymətləndirilməsi xüsusi aktuallıq kəsb edir.

Qeyd etmək lazımdır ki, xarici və daxili təsirlərin, faza çevrilmələrinin, struktur dəyişikliklərinin və dinamik yüklərin nəzərə alınması ilə neft və qaz kəmərlərinin qalıq istismar resurslarının təyini məsələləri tam həll olunmamışdır. Mövcud hesablama üsullarında bir sıra hallarda boru kəmərlərində yaranan mürəkkəb gərginlik vəziyyətləri və müxtəlif amillərin qarşılıqlı təsiri kifayət qədər nəzərə alınmır.

Boru kəmərlərinin möhkəmlik və dayanıqlığının təmin edilməsi, qalıq istismar resursunun daha dəqiq qiymətləndirilməsi üçün xarici və daxili təsirləri nəzərə alan elmi əsaslandırılmış hesablama üsullarının işlənilməsi mühüm elmi və praktiki əhəmiyyət kəsb edir.

Dəniz neft və qaz kəmərlərinin möhkəmlik və dayanıqlığına həsr olunmuş işlərdən Azərbaycanda A.X. Mirzəcanzadə, M.T. Abbasov, Ə.B. Süleymanov, S.A. Orucov, İ.R. Quliyev, Y.A. Səfərov və başqaları, keçmiş SSRİ-də P.P.Borodavkin, V.İ. Çernikin, E.M. Yasin, S.İ. Levin, M.A. Kamişev, V.V. Aleşin, Y.İ. Qoryanov, Q.Q. Vasilyev, V.Q. Orlov, B.L. Krivoşeyin, N.İ. Tuqunov, S.Y. Kuşnir, V.A. Kudryavçev, İ.A. İvanov, A.M. Şammazov, F.K. Xabibullin, Q.Q. Korovkov, A.Q. Bumerov, M.A. Quseynzadə, P.Q. Riselev, İ.A. Kutukov, L.S. Leybenzon, M.E. Lurye, İ.A. Çarnıy, V.A. Yufin, T.İ. Lapteva və başqalarının işlərini göstərmək olar. Bəzi yeniliklərin əldə edilməsinə baxmayaraq, yuxarıda göstərilən sahələr üzrə tədqiqatlar aktual olaraq qalmaqdadır.

Tədqiqatın obyektı və predmeti. Tədqiqatın obyektı - quruda və dənizdə çəkilən müxtəlif təyinatlı neft və qaz kəmərləri, predmeti isə xarici və daxili təsirlər nəzərə alınmaqla, boru kəmərlərinin iş qabiliyyətinə təsir edən amillərin və qalıq istismar resurslarının qiymətləndirilməsidir.

Tədqiqatın məqsəd və vəzifələri. Tədqiqatın məqsədi - dənizdə və quruda neft və qaz kəmərlərinin etibarlılıq parametrlərinin qiymətləndirilməsi əsasında və axının yeni fiziki modeli, struktur dəyişiklikləri, dinamik yüklər nəzərə alınmaqla, onların qalıq istismar resurslarının müəyyən edilməsidir. Bu məqsədlə aşağıdakı məsələlərə baxılmışdır:

- neft və qaz kəmərlərinə qoyulan əsas tələblər, onların iş qabiliyyətinin təmini üsulları, möhkəmlik və dayanıqlığının hesablanması yollarının təhlili;

- sualtı boru kəmərlərinin quraşdırılma texnologiyalarının problemlərinin təhlili;¹

¹ İskəndərov E.X. Neft və qaz kəmərlərinin tikintisi və quraşdırılması texnologiyası / E.X. İskəndərov. – Bakı: Elm, - 2022. – 416 s.

- sərbəst axınlı boru kəmərlərində neft dağılmalarının diaqnostikası;
- qaz quyusunun atqı xətlərində texniki diaqnostikanın aparılması;
- diaqnostika məlumatlarına əsasən boru kəmərlərinin qalıq resurslarının qiymətləndirilməsi;
- axının yeni fiziki modeli və strukturu nəzərə alınmaqla boru kəmərlərinin hesablanması;
- yüksək təzyiqli polad boru kəmərlərinin möhkəmliyə və dayanıqlığa hesablanması;
- dinamik yüklərin boru kəmərlərinin etibarlılığı və iş qabiliyyətinə təsirinin əsaslandırılması;
- sualtı boru kəmərlərinin yana doğru əyilməsinin tədqiqi;
- boru kəmərlərinin qalınlıq itkisinin diaqnostikası üçün yeni üsulun tətbiqi.

Tədqiqat metodları. Tədqiqat işində qoyulan məsələlər öz həllini nəzəri və praktiki yolla, neft və qaz kəmərlərinin quraşdırılması və istismarı, həmçinin daxili və xarici diaqnostikası üzrə məlumatların təhlili əsasında, standart laboratoriya avadanlıqları və sınaqları, həmçinin kompüter modeli və proqram vasitələrindən istifadə olunmaqla tapmışdır.

Müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar:

1. Reylefli boru kəmərlərində axının multifazallığı nəzərə alınmaqla basqısız axınla ətraf mühitə neftin dağılmasının (ballast həcmi) qiymətləndirilməsi üsulu;
2. Texniki və texnoloji diaqnostika məlumatlarına əsasən boru kəmərləri üçün qalıq istismar resurslarının təyini üsulu;
3. Monofazalıdan fərqli olaraq, multifazalı axınlarda fazaların qarşılıqlı təsirinin formalaşdırdığı sürət-qradient sahəsinin və dinamik yüklərin boru kəmərlərinin konstruktiv etibarlılığı və istismar resurslarına təsiri.

Tədqiqatın elmi yeniliyi:

- relyefli boru kəmərlərində axının multifazallığı nəzərə alınmaqla, ətraf mühitə basqısız neft dağılmasının (sızımlarının) qiymətləndirilməsi üsulu işlənmişdir;

- texniki və texnoloji diaqnostikaya əsasən boru kəmərlərinin qalıq istismar resurslarının təyini üsulu işlənmişdir;

- fazaların qarşılıqlı təsirinin formalaşdırdığı təzyiq qradientinin və dinamik yüklərin boru kəmərlərinin istismar resurslarına təsiri müəyyən edilmiş və nəzəri əsaslandırılmışdır.

Tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti. Axının yeni fiziki modeli və fazaların qarşılıqlı təsiri nəzərə alınmaqla multifazalı boru kəmərlərinin etibarlılıq və möhkəmlik hesablamalarının aparılması qalıq istismar resurslarının düzgün qiymətləndirilməsi üçün mühüm əhəmiyyət daşıyır.

Relyefli boru kəmərlərində yaranan qüsurlar nəticəsində baş verən basqısız axın zamanı neft dağılmalarının və ətraf mühitə təsirin qiymətləndirilməsi üçün təklif olunan üsul praktiki əhəmiyyət kəsb edir.

Texniki və texnoloji diaqnostika məlumatları əsasında təklif olunan yanaşmalar neft və qaz kəmərlərinin qalıq istismar resurslarının daha dəqiq müəyyən edilməsinə imkan verir. Dinamik yüklərin və faza çevrilmələrinin boru kəmərlərinin konstruktiv möhkəmliyinə təsiri qiymətləndirilmişdir.

Təklif olunan riyazi üsul və düsturlardan neft-qaz kəmərlərinin hesablanması üzrə tədris prosesində, o cümlədən bakalavr və magistr pillələrində istifadə oluna bilər.

İşin aprobasiyası və tətbiqi. Dissertasiyanın əsas nəticələri “Neftqzelmitədqiqatlayihə” İnstitutunun müvafiq elmi seminarında dinlənilmiş, aşağıdakı seminar və konfranslarda məruzə və müzakirə edilmişdir: Ümumilli Lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 100 illik yubileyinə həsr edilmiş “Neft-qaz yataqlarının axtarış problemləri və perspektivləri” mövzusunda Respublika elmi konfransı, Bakı, 2023; Doktorantların və gənc tədqiqatçıların XXVII Respublika elmi konfransı, Bakı, 2024; International conference Energy and Enviromental Technologies in Engineering and Architecture (ICETEA-2024), December 19-21, Baku, 2024.

Nəşrlər. Dissertasiya işinin əsas məslələri 13 elmi əsərdə öz əksini tapmışdır, onlardan 5-i həmmüəllifsiz, o cümlədən beynəlxalq xülasələndirmə və indeksləmə sistemlərinə daxil olan dövrü elmi nəşrlərdə 3 məqalə dərc olunmuşdur. 1-i xaricdə olmaqla Respublika

və beynəlxalq miqyaslı elmi tədbirlərin nəticələri üzrə dərc olunmuş məruzələrin sayı 4 - dür.

Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilatın adı. Dissertasiya işi SOCAR-ın “Neftqzelmitədqiqatlayihə” İnstitutunda yerinə yetirilmişdir.

Dissertasiyanın işarə sayı və həcmi. Dissertasiyanın strukturu və həcmi tədqiqatın məntiqi və qarşıya qoyulmuş vəzifələrin həlli ardıcılığı müəyyən olunmuşdur. Dissertasiya işi giriş (12124), 3 fəsil (I Fəsil - 52894, II Fəsil – 55639, III Fəsil – 80984), nəticələr və 127 adda ədəbiyyat siyahısından ibarətdir. İşin ümumi həcmi 162 səhifə olmaqla, 216263 işarə sayı təşkil edir.

İŞİN MƏZMUNU

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

Dissertasiya işinin **birinci fəsl**i “Neft və qaz kəmərlərinin iş qabiliyyətinə təsir edən amillərin və onların diaqnostikası üsullarının təhlili” adlanır və 5 yarım-fəsildən ibarətdir. Bu fəsildə sualtı və magistral boru kəmərlərinin istismar xüsusiyyətləri, onların etibarlılığına təsir edən amillər, eləcə də müasir diaqnostika və möhkəmlik–dayanıqlıq qiymətləndirmə metodları kompleks şəkildə araşdırılmışdır.

Birinci yarım-fəsildə boru kəmərlərinə qoyulan əsas konstruktiv tələblər geniş şəkildə təhlil edilmişdir. Burada boru kəmərlərinin diametr və divar qalınlığının seçilməsi, hidravlik və mexaniki yüklərə uyğun optimallaşdırılması, armatur və bağlayıcı elementlərin yerləşdirilməsi, həmçinin kəmərin trası üzrə minimal əyilmə radiusuna dair mühəndis şərtlər izah olunmuşdur. Eyni zamanda, istismar təhlükəsizliyini təmin edən normativ yanaşmalar və konstruktiv məhdudiyyətlər sistemləşdirilmişdir.

İkinci yarım-fəsildə sualtı dəniz boru kəmərlərinin tətbiq sahələri və layihələndirilməsinin spesifik xüsusiyyətləri nəzərdən keçirilmişdir. Burada dəniz şəraitinin mürəkkəb hidroloji və geomorfoloji xüsusiyyətlərinin layihə həllərinə təsiri göstərilmiş,

optimal nəql rejimlərinin təmin edilməsi üçün istilik və hidravlik hesablamaların zəruriliyi əsaslandırılmışdır. Eyni zamanda çoxfazlı axınların modelləşdirilməsi, mövsümi dəyişikliklərin təsiri və istismar parametrlərinin seçilməsi məsələləri də izah edilmişdir.

Üçüncü yarımfəsildə boru kəmərlərində yaranan qüsurların təsnifatı və onların diaqnostikası üsullarının seçilməsi meyarları təqdim olunmuşdur. Qüsurların mənşəyinə, quruluşuna və yerləşməsinə görə sistemləşdirilməsi aparılmış, həmçinin korroziya, qaynaq defektləri və mexaniki zədələnmələr kimi əsas nasazlıq növləri təhlil edilmişdir. Bununla yanaşı, ultrasəs, maqnit və digər dağıtmadan nəzarət metodlarının tətbiqi, onların üstünlükləri və məhdudiyyətləri barədə ümumiləşdirilmiş məlumat verilmişdir.

Dördüncü yarımfəsildə texniki diaqnostikanın məqsədi, vəzifələri və icra ardıcılığı kompleks şəkildə ümumiləşdirilmişdir. Burada texniki diaqnostikanın sənaye təhlükəsizliyində rolu, avadanlığın qalıq resursunun qiymətləndirilməsi, istismar parametrlərinin optimallaşdırılması və qüsurların vaxtında aşkarlanmasının əhəmiyyəti əsaslandırılmışdır. Eyni zamanda sualtı boru kəmərlərinin ilkin layihə parametrlərinin seçilməsi zamanı ərəzi şəraiti və texniki həllərin nəzərə alınması prinsipləri sistemləşdirilmişdir.

Beşinci yarımfəsildə sualtı boru kəmərlərinin möhkəmlik və dayanıqlıq hesablamaları geniş şəkildə təhlil edilmişdir. Burada divar qalınlığının təyini, buraxılabilən gərginliklərin hesablanması, xarici və daxili təzyiq təsirləri, eləcə də əyilmə və yerli dayanıqlıq itkisi şəraitində kəmərlərin davranışı üzrə əsas nəzəri və hesablama düsturları təqdim olunmuşdur. Bundan əlavə, yorğunluq, zərbə yükləri və seysmik təsirlərin nəzərə alınması ilə təhlükəsizlik kriteriyaları ümumiləşdirilmişdir.

Nəticə etibarilə, birinci fəsildə sualtı boru kəmərlərinin layihələndirilməsi və istismarı üçün əsas tələblər, qüsurların aşkarlanması və qiymətləndirilməsi metodları, həmçinin möhkəmlik və dayanıqlıq hesablamalarının fundamental prinsipləri sistemli şəkildə təhlil edilmişdir. Aparılan ümumiləşdirmələr nəticəsində sualtı boru kəmərlərinin təhlükəsiz və etibarlı istismarı üçün metodiki və elmi baza formalaşdırılmışdır.

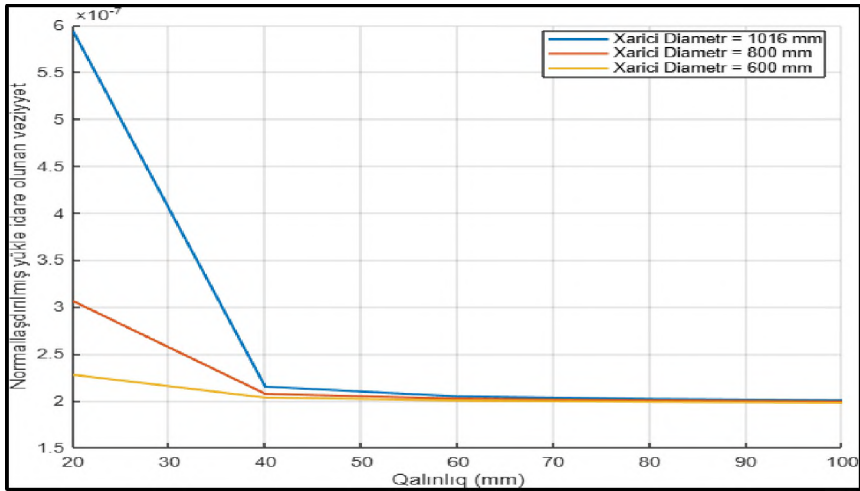
Dissertasiya işinin **ikinci fəsl**i “Texniki və texnoloji diaqnostikalar əsasında boru kəmərlərinin iş qabiliyyətinin yaxşılaşdırılması və qalıq resurslarının qiymətləndirilməsi” adlanır və yeddi yarım fəsildən ibarətdir. Fəsildə əsas məqsəd sualtı və yerüstü boru kəmərlərinin istismar etibarlılığının artırılması, onların texniki vəziyyətinin qiymətləndirilməsi və qalıq resursun proqnozlaşdırılması üçün tətbiq olunan müasir yanaşmaların araşdırılmasıdır.

Birinci yarım fəsildə sualtı boru kəmərlərinin quraşdırılması zamanı meydana çıxan əsas texnoloji çətinliklər geniş şəkildə təhlil olunmuşdur. Xüsusilə dəniz dibində boru kəmərlərinin birləşdirilməsi zamanı istifadə olunan müasir texnologiyalar – flanslı birləşmə sistemləri, hiperbarik qaynaq üsulları və uzaqdan idarə olunan sualtı aparatlar (ROV – Remotely Operated Vehicle) vasitəsilə həyata keçirilən əməliyyatlar ətraflı izah edilmişdir. Bu texnologiyaların hər biri dərin su şəraitində işin təhlükəsizliyi, dəqiqliyi və etibarlılığı baxımından mühüm rol oynayır və onların tətbiqi layihənin ümumi texniki risklərinin azaldılmasına xidmət edir.

Daha sonra boru kəmərinin xarici yüklər altında davranışı DNVGL-ST-F101 Norveç dəniz standartına uyğun olaraq analiz edilmişdir. Bu standart çərçivəsində yüklə idarə olunan vəziyyət (Load Controlled Condition – LCC) yanaşması tətbiq edilərək boru kəmərinin hidrodinamik, hidrostatik və əlavə mexaniki təsirlər altında deformasiya xüsusiyyətləri modelləşdirilmişdir. Modelləşdirmə prosesi MATLAB proqram mühitində həyata keçirilmiş və müxtəlif dərinlik və yük ssenariləri üçün simulyasiya nəticələri əldə olunmuşdur.

Xüsusilə Xəzər dənizinin 300 m dərinliyi üçün aparılmış hesablamalar nəticəsində boru kəmərinin yerdəyişmə davranışı analiz edilmişdir. Alınan nəticələr göstərir ki, hidrodinamik qüvvələr, axın sürəti və dəniz dibinin relyef xüsusiyyətləri borunun ümumi deformasiya xarakteristikasına birbaşa təsir edir. Müxtəlif divar qalınlıqlarına malik boruların müqayisəsi zamanı şəkil 1-də göstəriləndiyi kimi müşahidə olunmuşdur ki, qalınlıq artdıqca borunun sərtliliyi yüksəlir və nəticədə yerdəyişmə əyriləri bir-birinə yaxınlaşaraq daha stabil davranış nümayiş etdirir. Bu isə boru

kəmərinin struktur dayanıqlığının artması və xarici təsirlərə qarşı daha davamlı olması ilə izah olunur.



Şəkil 1. Xəzər dənizinin 300 m dərinliyi üçün müxtəlif diametrlili və qalınlıqlı boruların yüklərin təsirindən asılı olaraq yerdəyişməsi

İkinci yarımfəsildə isə real istismar şəraitində olan atqı xətti üzərində aparılmış texniki diaqnostika işləri təqdim olunmuşdur. Diaqnostika prosesinə ilkin olaraq vizual müayinə daxil edilmiş, boru səthində korroziya, mexaniki zədələnmə və örtük degradasiyası kimi defektlərin aşkarlanması həyata keçirilmişdir. Daha sonra ultrasəs qalınlıqölçmə metodu tətbiq edilərək DM5E tipli qalınlıqölçən cihaz vasitəsilə boru divarının müxtəlif nöqtələrində ölçmələr aparılmışdır.

Əldə olunan ölçmə nəticələri mövcud normativ sənədlərin tələbləri ilə müqayisə edilmiş və boru kəmərinin istismar yararlılığı qiymətləndirilmişdir. Aparılan analizlər nəticəsində bəzi lokal zonalarda divar qalınlığında azalma müşahidə olunsada, ümumilikdə boru xəttinin istismara davamlılıq göstəricilərinin qənaətbəxş olduğu müəyyən edilmişdir. Bu yanaşma boru kəmərinin qalıq resursunun təyin olunması və gələcək istismar müddətinin proqnozlaşdırılması üçün mühüm elmi əsaslar yaratmışdır.

“28 May” NQÇİ-nin “Günəşli” yatağında, 10 sayılı dəniz stasionar özülündə 184 sayılı qaz quyusunun atqı xəttində texniki diaqnostika və vizual müayinə işlərinə uyğun olaraq aparılmış hesablamalar nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, atqı xəttinin faktiki qalınlığı (2,65 mm) buraxılabilən qalınlıqdan (3,91 mm) az olduğu üçün istismara yararsız vəziyyətdədir.

Üçüncü yarımfəsildə kontaktsız maqnitometrik diaqnostika (metalın maqnit yaddaşı) yanaşması üzrə kəmərin texniki vəziyyətinin öyrənilməsi məqsədilə gərginlik-konsentrasiya zonalarının aşkarlanması və qiymətləndirilməsi meyarları təqdim olunmuş, qalıq maqnit sahəsinin paylanması əsasında təhlükəli zonaların seçilməsi məsələlərinə baxılmışdır.

Dördüncü yarımfəsildə boru kəmərlərinin borudaxili diaqnostikası üçün qəbul-buraxılış kamerasının iş prinsipi və əməliyyat ardıcılığı (kamera, siyirtmələr, təzyiqin bərabərləşdirilməsi və s.) qısa və ardıcıl şəkildə şərh edilmişdir.

Beşinci yarımfəsildə qəza zamanı sərbəst basqısız axınla neft dağılmaların qiymətləndirilməsi məsələsi qoyulmuş, ümumi dağılma həcmi mərhələlər üzrə izah edilərək, relyefli trasda hidrostatik təzyiqin düzgün modelləşdirilməsinin vacibliyi göstərilmişdir.

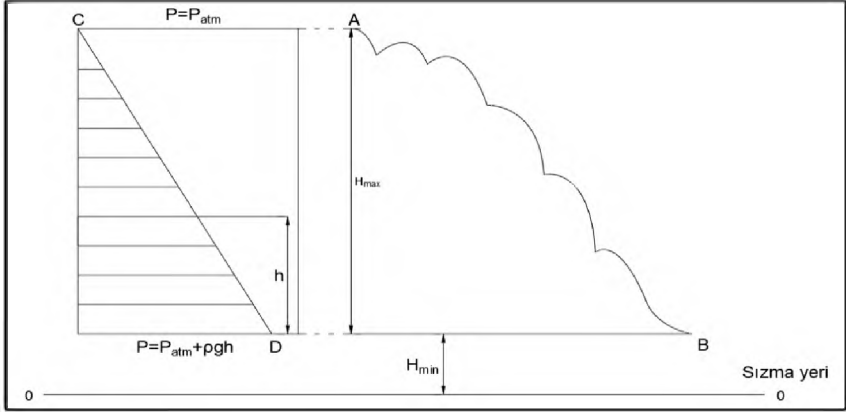
Məlumdur ki, neft kəmərlərinin istismarı zamanı qəza-neft dağılmaları zamanı yaranan itkilərin və ətraf mühitə ekoloji təsirin qiymətləndirilməsi məqsədilə neftin dağılan həcmnin qiymətləndirilməsinin riyazi modeli maye və qazın dəlik və lüləkdən monofazalı şəkildə axmasının hidravlikasına uyğun olaraq qəbul edilmişdir.

Təcrübə göstərir ki, multifazalı axınlarda qəzalar zamanı həmişə relyefli boru kəmərlərində mayenin sıxışdırılıb çıxarılmayan ballast həcmi mövcud olur.

Boru kəmərləri avtomatika sistemləri ilə təchiz olunduğundan qəza baş verdikdə neftin basqılı rejimdə axma müddəti demək olar ki, 2 dəq-dən çox olmur. Nasosların işi saxlandıqdan sonra siyirtmə də eyni vaxtda bağlandığından, neftin basqılı axını dayanır. Siyirtmə bağlandıqdan sonra basqısız rejimdə neftin həcmnin təyini məsələsi isə xüsusi araşdırma tələb edir.

Neft dağılmalarının qiymətləndirilməsi məqsədilə bir qayda

olaraq relyefli boru kəmərlərində zədələnmə-de  şilm   halları ba  ş verib  s  , onda kəmərin profilində maksimal və minimal olmaqla 2 nöqtə (  kil 2, A və B nöqtələri) qeyd olununaraq, bu hissədə təzyiqin necə paylanmasını əks etdirən qrafik qurulur. Baxılan halda yaranmış qəza-sızma yeri (dəliyi) profilin minimal yəni B nöqtəsi hesab olunur.



  kil 2. Neft kəmərinin sızma gözlənilən hissəsində hidrostatik təzyiqin paylanması (yanlış olaraq qəbul edilmiş)

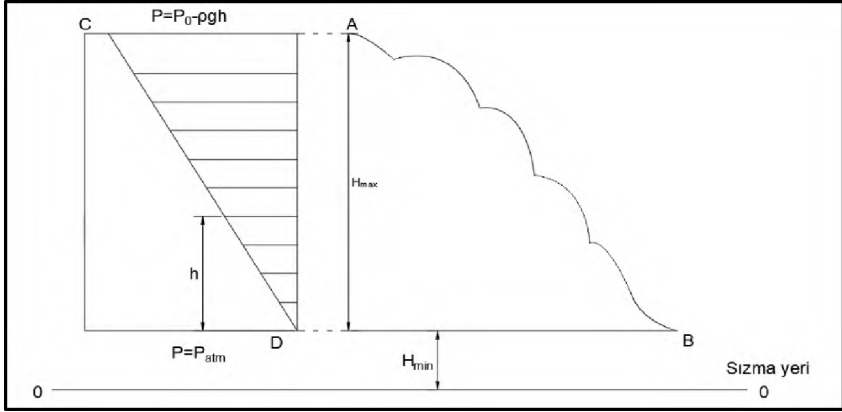
Bu zaman mövcud metodikaya əsasən qəbul edilir ki, basqı (təzyiq) kəmərin AB hissəsi boyu   kil 2-də göstərildiyi kimi, CD xətti üzrə d  yi  şilir v   atmosfer təzyiqi maksimal A nöqtəsinə uy  n gəlir. Bu nöqtədə $P = P_{at}$ olur. Sonra hündürlük boyu təzyiq $P = P_{atm} + \rho gh$ qanunu üzrə d  yi  ş  r  k aşağıya doğru artmış olur. Qeyd olunan paylanmanı nəzərə alaraq neftin qəza d   iyind  n axma sürəti hidravlikadan (ancaq monofazalı axınlar   c  n) məlum olan aşağıdakı ifadə ilə təyin edilir:

$$\vartheta = \sqrt{\frac{2P}{\rho}} = \sqrt{\frac{2(P_{atm} + \rho gh)}{\rho}} \quad (1)$$

Burada: h – cari hündürlük, m;
 ρ – neftin sıxlığıdır, kq/m^3 .

Diqqətlə ara  dırsaq, məlum olur ki, qəza (sızma) ba  ş vermi  ş neft kəmərinin AB hissəsində atmosfer təzyiqi   kil 2-də göstərildiyi kimi

profil hissəsinin A maksimal nöqtəsində yox, əksinə minimal B nöqtəsində, yəni qəza yerində yaranacaqdır. Məhz bu dəlikdən aşağı getdikcə, maye sütunun hündürlüyü çoxaldıqca təzyiq artmış olur. Bu zaman təzyiq ($P_{atm} + \rho gh$) ifadəsinə uyğun olaraq dəyişir. Əksinə, dəlikdən yuxarı istiqamətdə, məsələn h hündürlüyündə maye sütunun hündürlüyünə uyğun olaraq ρgh qədər azalacaqdır (şəkil 3).



Şəkil 3. Neft sızması olan yerdə hidrostatik təzyiqin paylanması (həqiqi model üzrə)

Odur ki, basqısız axın zamanı B kəsiyində borudakı təzyiq atmosfer təzyiqi ilə eyni olduğundan, neftin axması baş verməyəcəkdir. B nöqtəsində qəza dəliyiindən sərbəst axınla neftin axması o vaxt baş verəcək ki, həmin dəlik suyun altında olmasın. Əgər quruda olarsa, ancaq yaxın aşırım nöqtəsi ilə B dəliyi arasında olan bir hissənin tədricən boşalması halı olacaqdır. Qalan neft hissəsinin isə sərbəst axınla axını baş verməyəcəkdir.

Qeyd etmək lazımdır ki, normativ sənədlərdə və ədəbiyyat mənbələrində hal-hazırda multifazlı axınlar üçün monofazlı axınlardan fərqli olaraq müvafiq qiymətləndirmə və hesablama üsulları, demək olar ki, mövcud deyil.

Ümumiyyətlə, axının kəsilməzliyi prinsipinə görə tam boşalma halı mümkün deyildir. Fizikanın qanunlarına görə, kəmərdən boşalan neftin yeri digər səlt mühitlə (məsələn atmosfer havası və ya neftin öz

buxarları ilə) dolmalıdır. Relyefli boru kəmərlərində xeyli hündürlüklər fərqi mövcud olduğundan , atmosfer təzyiqi ilə borudaxili təzyiq arasında yaranan təzyiqlər fərqi hesabına neftin “qaynaması” halı mümkündür. Belə ki, təzyiqin azalması boru kəmərinin müəyyən yerində aşağıdakı bərabərliyin ödənilməsi mümkündür:

$$P_{atm} - \rho gh = P_{b,e} \quad (2)$$

Burada: $P_{b,e}$ – neftin buxar elastikliyi təzyiqi, Pa;

h – qəza dəliyindən hesablanan sütunun hündürlüyü, m.

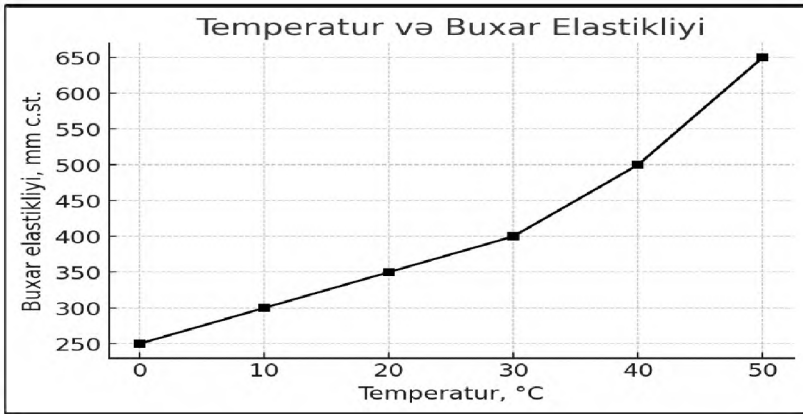
Beləliklə, (2) şərtinin ödənilməsi zaman neftdən ayrılan buxarlar kəmərdən axan neftin yerini doldurmuş olur.

Qeyd etmək lazımdır ki, öz buxarları ilə əvəz olunan neftin sıxışdırılmasının mümkünlüyü isə temperaturdan asılı olan buxar elastikliyi təzyiqi ilə müəyyən ediləcəkdir. Neftin buxar elastikliyi təzyiqinin temperaturdan asılılıq dəyişməsi (ГОСТ Р 51858-2002) şəkil 4-də göstərilmişdir.

Beləliklə, boru kəmərlərində basqısız axınla neft dağılmalarının qiymətləndirilməsi nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, ən pis halda belə boru kəmərinin neftdən tam boşalması mümkün deyil. Qəza-neft dağılmaları baş verdikdə kəmərin basqısız rejimdə tam boşalması profilin ekstremal nöqtələrində dəliklər yarandıqda mümkündür.

Şəkil 4-dən göründüyü kimi, temperatur artdıqca neftin buxar elastikliyi təzyiqi də yüksəlir. Bu artım temperaturun yüksək qiymətlərində daha intensiv xarakter alır.

Temperaturun yüksəlməsi ilə neftin tərkibində olan yüngül komponentlərin buxarlanma prosesi sürətlənir və nəticədə yaranan buxar fazasının təzyiqi artır. Məsələn, temperaturun 40°C-dən 50°C-dək artması zamanı neftin buxar elastikliyi təzyiqi 500 mm civə sütunundan 650 mm civə sütununa qədər yüksəlmişdir. Bu isə temperatur dəyişmələrinin neftin fiziki xüsusiyyətlərinə və boru kəmərinə baş verən axın proseslərinə əhəmiyyətli təsir göstərdiyini göstərir.



Şəkil 4. Neftin buxar elastikliyi təzyiqinin temperaturdan asılılığı

Altıncı yarımfasildə neftqazmədən boru kəmərinin texniki və texnoloji diaqnostikasının məlumatları nəzərə alınmaqla boru kəmərlərinin qalıq istismar resurslarının qiymətləndirilməsi məsələsinə baxılmışdır.

İstismarda olan neft və qaz kəmərlərinin etibarlıq parametrlərinin dəqiqləşdirilməsinin təhlükəsizlik baxımından xüsusi əhəmiyyət kəsb etdiyini nəzərə alaraq, kəmərlərdə aparılan texniki diaqnostika ilə yanaşı texnoloji diaqnostika məlumatlarından da istifadə olunması, xarici və daxili amillərin birgə nəzərə alınmasının vacibliyi göstərilmişdir. Diaqnostika məlumatlarına əsasən boru kəmərlərinin etibarlı istismara yararlılıq müddəti müəyyən edilmişdir.

Qalıq resurslarının qiymətləndirilməsinin vacib şərtlərini (hesabi, korroziyaya uğramış hesab olunan və minimal boru qalınlığı) nəzərə almaqla yanaşı, ümumi korroziya amilini (sürətini) əsas götürməklə aparılmasının zəruriliyi qeyd olunmuşdur. Kəmərin qalınlıq istismar resursunun (t_{qal}) təyini üçün aşağıdakı qiymətləndirmə təklif olunmuşdur:

$$t_{qal} = \frac{\delta_{min} - \delta_{kor}}{v_{kor}}, \quad (3)$$

Burada:

$$v_{kor} = \frac{\delta_{nom} - \delta_{min}}{t} - \text{orta korroziya sürəti};$$

δ_{nom} , δ_{min} və δ_{kor} – uyğun olaraq layihə üzrə kəmərin nominal, minimal və korroziyaya uğrayan qalınlığı;

t – kəmərin istismar müddətidir.

Diametri $D=279$ mm olan neftqazmədən boru kəmərlərinin 12 illik istismar müddətində QOST 8731-ə əsasən quraşdırılmış polad Ct20 markalı materiallı normativ sənədləri və istismar xarakteristikası nəzərə alınmaqla qalıq istismar resursunun qiymətləndirilməsinə baxılmışdır.

Diagnostika və ölçmə məlumatlarına əsasən (cədvəl 1) boru kəməri üçün orta, korroziyaya uğramış hesab olunan və minimal buraxılabilən qalınlıq, korroziyanın orta sürəti uyğun olaraq $\delta_{or} = 8,55\text{mm}$; $\delta_{kor} = 7\text{mm}$; $\delta_{min} = 7,52\text{mm}$; $v_{kor} = 0,206 \frac{\text{mm}}{\text{il}}$ təşkil etdiyi üçün, kəmər üçün qalıq istismar resursu $t_{qal} = 2,52$ il olmuşdur.

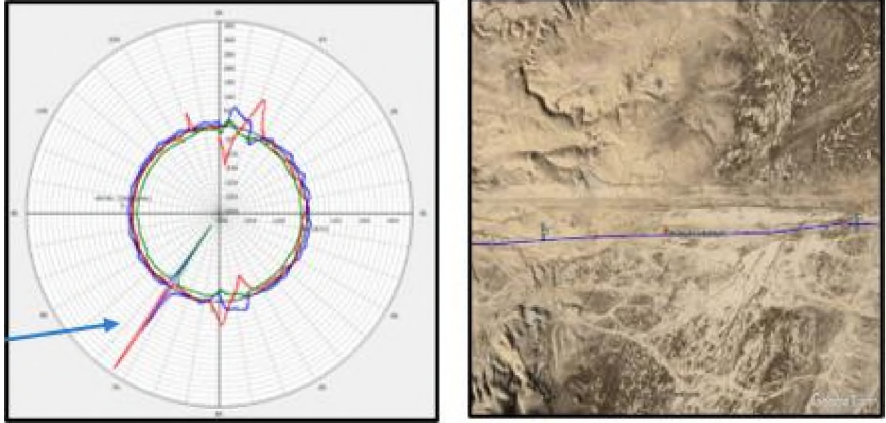
Boru kəmərinin sonrakı istismarının mümkünlüyü isə minimal qalınlığın tab gətirə biləcəyi təzyiqin (P_0) qiymətinə əsasən müəyyən edilmişdir. Bu təzyiqin hesablanmış qiymətinin $P_0=9,8$ MPa olduğunu nəzərə alsaq, boru kəmərinin sonrakı təyin olunan müddətdə (2,52 il) təhlükəsiz istismarı üçün kəmərdə daxili təzyiq 9,8 MPa-dan az olmalıdır.

Cədvəl 1

Ölçmə nəticəsində aşkar olunan qalınlıqlar (mm)

Ölçmə aparılan nöqtələr			
I	II	III	IV
8,5	8,5	8,6	8,7
8,7	7,8	8,6	9
7,8	8,6	7,9	8,9
7,7	8,4	8,5	8,9
9,3	9,3	9,4	9,4
9,1	9	9	9
7,8	7,7	8,3	8,7

Yeddinci yarımşəildə metalın maqnit yaddaşı metodunun (MYM) yeni tətbiqi kimi TSC-9M-12 cihazı ilə nəzarət, H_p skanı və H_p qradienti üzrə gərginlik-konsentrasiya zonalarının (GKZ) qiymətləndirilməsi izah edilir; nəticələrin emalı və interpretasiyası verilmişdir (bax: şəkil 5).



Şəkil 5. Anomaliyanın maqnitogramı və peyk görüntüsü

Metodun aprobeşiyası SOCAR-ın “Neft Kəmərləri” İdarəsində, diametri 530 mm olan “Şimal-ıxrac” Boru Kəmərinə (ŞİBK) aparılmışdır. Nəzarətin nəticələri şəkil 5-də verilmişdir.

Maqnitogramda H_p qeydə alınmış, gərginlik-konsentrasiya zonası peyk görüntüsü vasitəsilə göstərilmişdir. Şəkildə qeyd edilən GKZ 1 – anomaliyanın coğrafi koordinatını, GKZ 2 – əlin vəziyyətinin dəyişməsi zamanı təkərlərin hərəkətində yaranan gecikməni əks etdirir.

“Şimal” İxrac yeraltı magistral neft kəmərinə aparılmış maqnitometrik diaqnostik işlər zamanı, onun 14-cü kilometrində maqnit anomaliyaları, gərginliyin səciyyəvi toplanma zonaları aşkarlanmışdır.

Yuxarıda verilənlərə əlavə olaraq qeyd edilməlidir ki, tədqiq edilən hissədə torpaq sarı gildən ibarətdir və borunun üzərində torpaq qatının qalınlığı 1,8 m-dir. Kəmər eboksit qətran örtüklə izolyasiya edilmişdir. Boruların qaynaq hissəsindəki izolyasiya qatı - poliken

lentdir. Anomaliya müəyyən olan hissədə qaynaq növü - əl qaynağıdır və tikişin ətrafında intensiv korroziya halı müşahidə edilmişdir.

Beləliklə, nəticə olaraq qeyd etmək olar:

- ŞİBK-067 anomaliyası olan hissədə açılmış şurfun uzunluğunda kəmər üzə-rində borunun izolyasiya qatını dağıtmadan skaner cihazı ilə yoxlanılaraq, qüsurların tapılması və onlar üzərində ultrasəs defektoskopiya işləri aparılmışdır.

- Aparılan “skan-analiz”-in nəticəsi kimi təmaslı yoxlama ilə gərginliyin xarakterik toplanma zonası aşkar edilmişdir.

- Polad boru üzərində həlqəvi istiqamətdə ölçmələr aparılaraq, faktiki en kəsik qalınlıqları təyin edilmişdir. Boru kəmərinin üst sahəsində minimal faktiki qalınlıq 7,76 mm, yan sahəsində minimal faktiki qalınlıq 7,55 mm, alt sahəsində isə 7,77 mm-dir.

- Diametri 530 mm olan “Şimal İxrac” boru kəmərinin yeraltı hissəsində 14-cü km-də açılmış şurfda təhlükəlilik dərəcəsi III qrup anomaliya olduğundan, gərginlik konsentrasiyası zonaları kimi qeyri-homogen gərginlikli deformasiya vəziyyətində olan boru kəməri hissələri qəbul edilə bilər, lakin bu hissədə boru kəməri istismara yararlı vəziyyətdədir.

- Maqnit yaddaş metodu həqiqətən boru kəmərlərinin texniki diaqnostikası üçün yararlıdır və SOCAR-ın digər obyektlərində tətbiq edilməsi məqsədəuyğun olardı.

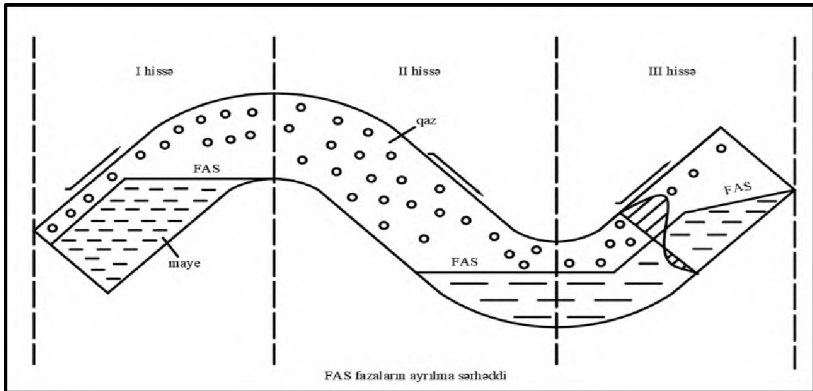
Dissertasiya işinin **üçüncü fəsl**i “Axının yeni fiziki modeli, struktur çevrilmələri və nəqli texnologiyaları nəzərə alınmaqla boru kəmərlərinin qalıq istismar resurslarının tədqiqi” adlanır və 7 yarım-fəsildən ibarətdir.

Birinci yarım-fəsildə axının yeni fiziki modeli əsasında² silindrik axının en kəsiyində statik deyil, tam təzyiqin sabitliyi və en kəsik boyu təzyiq qradientinin dəyişməsi nəzərə alınaraq multifazalı boru kəmərlərində hidravlik hesablanmanın struktur rejimlərin formalaşması və spesifikasiyası göstərilmişdir.

Mayenin qravitasiyalı multifazalı axında aparılmasının mexanizmi fazların qarşılıqlı təsirinə görə xeyli maraq doğurur və en

² Ситэнков В.Т. Теория градиентноскоростного поля. В.Т. Ситэнков. - Москва: ВНИИОЭНГ, - 2004. - 308 с.

kəsik boyu təzyiq qradiyentindən asılı olaraq dəyişir (şəkil 6).



Şəkil 6. Mayenin qravitasialı axında aparılmasının mexanizmi

Boru kəmərinin başlanğıcında (I hissə), multifazalı qarışığın ora daxil olması qradiyent-sürət sahəsinin aşağı gərginlikli olması ilə xarakterizə olunduğu üçün, disperslənmiş mayenin qaz axını ilə aparılması mümkün olmur. Nəticədə, boru kəmərinə qarışığın separasiya yolu ilə ayrılması baş verir və maye öz ağırlığı hesabına kəmərin dibinə çökür. Maye qazla daşına bilmədiyi üçün tədricən kəmərdə maye ilə dolmağa başlayır.

Şəkil 6-da I və III hissələr aşağıdan yuxarı, II hissə isə yuxarıdan aşağı axın hissələrini və qaz kəmərinin sərbəst və maye ilə dolu kəsiklərində qazın və mayenin paylanmış sürətlərini əks elətdirir. I hissə artıq tarazlıq halına kimi maye ilə dolmuşsa, II hissə həmişə “quru” rejimdə işləyir, III hissə isə dolma mərhələsində yerləşir, kəmərin I hissəsində qaz mayenin üstü ilə təbəqəyə ayrılmış şəkildə hərəkət edir. Bu zaman qaz axınının en kəsik sahəsi maye ilə xeyli kiçilmiş olduğundan qazın sürəti çox olur. Boru kəmərinin sərbəst en kəsiyində qazın sürətinin paylanması maye hissəciklərinin qaz axını ilə tutularaq daşınması üçün kifayət etməsə də, kəmərdə kondensatla (maye ilə) dolan kanalda mayenin daşınması üçün lazım olan şört ödənilir. Boru kəmərinin kondensatla dolması prosesinin ardıcılığı aşağıdakı kimi baş verir:

I hissənin kondensatla dolması başa çatdıqdan sonra III hissənin

dolması halı baş verir. Qazla birlikdə kəmərin II hissəsinə daxil olan maye boru kəmərinin dibinə düşərək qravitasiya və sürtünmə qüvvələrinin təsiri altında III hissənin girişinə doğru yerini dəyişir. Bu zaman III hissədə sərbəst en kəsiyində qazın sürəti aşağı olduğu üçün bu hissədən mayenin çıxarılması baş vermir. Beləliklə, profilin aşağı hissəsində müəyyən vaxt ərzində mayenin toplanması baş verir. Bu hal fazaların ayrılma sərhəddinin (FAS) horizontal vəziyyət alana qədər davam edir. Mayenin bir hissəsi qaz axını ilə sıxışdırıldığı üçün bu yerdə borunun en kəsik sahəsinin maye ilə tamamilə bağlanması halı baş vermir. Əlavə maye boru kəmərinin bu hissəsində uzunluq boyu paylanmış olur.

Maye (dispers mühit) tərəfindən qazın daşınması qarışıqın həcmi qaz tutumunun, orta həcmi sərf sürətinin və maye axınında en kəsik boyu təzyiq qradiyentinin artması fonunda baş vermiş olur.

Multifazalı qarışıq nəql edən boru kəmərinin hidravlik hesablanması qeyd olunan hal üçün ayrı-ayrılıqda hesablanır. “Quru” dibli sahələr, yəni yuxarıdan aşağı hərəkət zonaları və horizontal hissələr, hansılar ki, aşağı düşən hissələrə keçid alır, hidravlikanın adi tənliliklərinə uyğun olaraq homogen monofazalı axın üçün aparılır.

Boru kəmərinin qalxan hissələri isə yenə həmin monofazalı mühit üçün hidravlik hesablamalara uyğun, mayedən azad sərbəst kanalın diametrini nəzərə almaqla aparılır. Hidravlik hesablamalar aparmaq üçün zəruri olan təzyiq qradiyentinin maksimal qiyməti aşağıdakı kimi hesablanır:³

$$(dP/dr)_{\max} = 6,16 \cdot 16 \cdot \rho_{\text{qar}} u_{\text{qar}}^2 / D \quad (4)$$

Burada:

u_{qar} – qarışıqın axın sürəti, $\left(\frac{m}{san}\right)$;

$\rho_{\text{qar}}, \rho_m$ və ρ_q uyğun olaraq qarışıqın, mayenin və qazın sıxlığıdır, kq/m^3 .

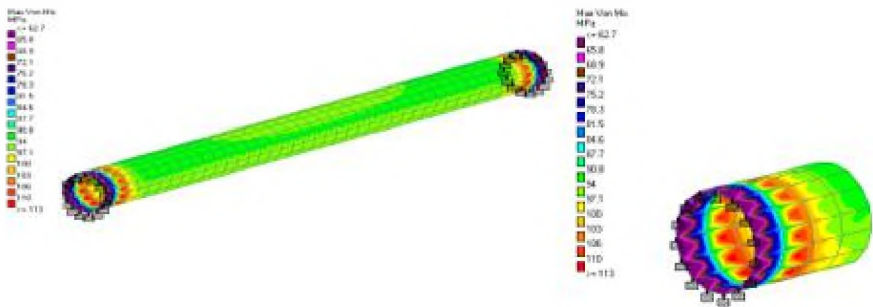
Sonuncu ifadə $(\rho_m - \rho_q)g$ ifadəsi ilə tutuşdurulur axının strukturu – yəni disperslənmiş (emulsiyalı), yaxud təbəqələşmiş olması dəqiqləşdirilir.

³ Гриченко А.И. Гидродинамика газожидкостных смесей в скважинах и трубопроводах / А.И. Гриченко, О.В. Клапчук, Ю.А. Харченко; - Москва: Недра, - 1994. - 279 с.

İkinci yarımfasildə yüksək təzyiq və temperatur şəraitində texnoloji polad boru kəmərlərinin möhkəmliyə və dayanıqlığa hesablanması məsələlərinə baxılmışdır. İstismar zamanı kəmərlərin daxili təzyiqə (10 MPa-a qədər) və temperatura ($-253...+700^{\circ}\text{C}$ və daha artıq), izolyasiya çəkisi, kimi yüklərə məruz qalması, həmçinin korroziya nəticəsində divar qalınlığında itkilərin yaranması araşdırılmışdır. Hesablamalar nəticəsində istismarın dayandırılması, təmir müddəti, işçi təzyiqin azaldılması və diaqnostika üsulunun seçilməsi kimi qərarların əsaslandırılması göstərilmişdir.

“STAAD Pro” proqramı vasitəsilə kəmərin möhkəmliyə və dayanıqlığa hesablanması aparılmışdır. $D=273$ mm olan texnoloji boru kəmərinin konstruktiv modeli qurulmuş, kəmərin xətti hissəsində yaranan gərginlik konsentrasiyalarının paylanması göstərilmişdir (şəkil 7).

Gərginlik konsentrasiyası - hər hansı bir konstruksiyanın istismara yararlı və ya yararsız olduğunu müəyyən etmək üçün əsas meyardır. Alınan gərginlik konsentrasiyası üç əsas gərginliyi ekvivalent gərginliyə gətirmək üçün hesablanır ki, bu da materialın axma həddi ilə müqayisə olunaraq konstruksiyanın vəziyyəti qiymətləndirilir.



Şəkil 7. Boru kəmərinin xətti hissəsində yaranan gərginlik konsentrasiyasının paylanması

Gərginlik konsentrasiya zonasının maksimal qiyməti (113 MPa), 15X1M1Φ markalı poladın temperatur əmsalı nəzərə

alınaraq hesablanan buraxılabilən gərginliyi ilə müqayisəli təhlili aparılmış və kəmərin istismara yararlı olması qiymətləndirilmişdir.

- Diagnostika işləri zamanı boru kəmərinin xətti hissəsinin faktiki minimal divar qalınlığının 24,43 mm olduğu müəyyən olunmuşdur;

- Boru kəmərinin xətti hissə elementinin riyazi hesablanması aparılaraq buraxılabilən qalınlığın 12,68 mm olduğu müəyyən olunmuşdur. Alınan nəticə ilə (12,68) faktiki qalınlıq (24,43) müqayisə olunaraq boru kəmərinin xətti hissə elementinin istismara yararlı olduğu qənaətinə gəlinmişdir.

- Təklif olunan proqram təminatı vasitəsilə kəmərin möhkəmliyə və dayanıqlığa hesablanması aparılmış, kəmərin metal çəkisi, işçi təzyiq və temperaturu nəzərə alınmaqla, təhlil olunmuşdur. Təhlil əsasında, borularda yaranan konsentrik zonada gərginliyin maksimal qiyməti (113 MPa) və kəmərin temperatur əmsali nəzərə alınaraq, müəyyən olunan buraxılabilən gərginlik həddindən (152,18 MPa) kiçik olduğu üçün, onun istismara yararlılığı müəyyən edilmişdir.

Üçüncü yarımfəsildə sualtı qaz kəmərinde⁴ faza çevrilmələri və istismar zamanı yaranan texnoloji çətinliklərin (xüsusilə çöküntülərin yığılması və korroziyanın sürətlənməsi) təsiri araşdırılmışdır. Qaz kəmərinin daxilində çöküntülərin toplanması sxemi araşdırılmış, uzunmüddətli istismar fonunda divar qalınlığının ölçülməsi əsasında korroziya sürətinin artmasının səbəbləri göstərilmişdir. Korroziya sürətinin normativlərlə müqayisədə yüksək olması çöküntülərlə əlaqələndirilmişdir.

Beləliklə, aparılan tədqiqat və təhlil işlərinin nəticələri göstərmişdir ki, tədqiq olunan dəniz qaz-kondensat yataqlarında qazın nəqlə hazırlanması üçün tətbiq olunan texnologiyalar mükəmməl olmadığına görə nəql sisteminə verilən qazların tərkibində xeyli miqdarda karbohidrogen kondensatı, su (həm sərbəst, həm də tarazlıq halında) və mexaniki qarışıqlar var. Qazın istər sualtı, istərsə də magistral (yeraltı, yerüstü) boru kəmərləri ilə nəqli zamanı ətraf

⁴ PIPEPHASE Multiphase Flow in Networks, Schneider Electric Software, LLC. – California: - 2005. – 186 p.

mühitin termobarik təsirləri nəticəsində onların daxilində faza çevrilmələri baş verir. Bu isə qazın tərkibində daşınan karbohidrogen, su və mexaniki qarışıqların kəmərdə daxilində çökməsi ilə müəyyən texnoloji çətinliklər yaranmasına səbəb olur.

Dördüncü yarımfəsildə qaz resurslarının dinamik dəyişməsi nəzərə alınmaqla multifazalı nəql texnologiyalarının əsaslandırılması göstərilmişdir. Multifazalı nəqlə axının struktur çevrilmələrinin yaratdığı təzyiq döyüntüləri və kondensat yığılması səbəbilə istismar etibarlılığının artırılması üçün periodik təmizləyici qurğuların (pigging) tətbiqi və onların periodikliyinə seçilməsi əsaslandırılmışdır (cədvəl 2).

Təhlil nəticəsində multifazalı axınlarda yaranan dinamik yüklərin qiymətinin hansı mühitin (qazın yoxsa mayenin) aparıcı-daşıyıcı faza, yəni dispers mühit olmasından asılılığını nəzərə alaraq dispers mühitin qaz və maye olduğu hallar üçün dinamik təzyiqlərin qiymətləndirilməsi üçün uyğun olaraq aşağıdakı riyazi ifadələr alınmışdır:

Cədvəl 2

Qaz kəmərinə ($D=0,25$ m) yığılan kondensatın taraz həcmi və qazın müxtəlif sərtlərində təmizləyici qurğunun buraxılması

Qazın sərfi, min m ³ /saat	0,5	1,5	3,0	4,5	6,5
Kəmərdə kondensatın həcmi, m ³	2,30	1,80	1,46	1,24	1,0
Kondensatla buraxıla bilən dolma payı, %	35	35	25	15	0
Kondensatın buraxıla bilən həcmi, m ³	805	630	365	186	0
Kondensatın toplanma vaxtı, gün	121	95	55	28	-
Təmizləyici qurğunun buraxılma intensivliyi	4 ayda 1 dəfə	3 ayda 1 dəfə	2 ayda 1 dəfə	ayda 1 dəfə	-

$$P_d^q = 1,59gD \cdot (1 - \beta) \frac{\rho_m^2}{\rho_q} \quad (5)$$

$$P_d^m = 1,59gD \cdot (1 - \beta) \rho_m \quad (6)$$

Burada:

D – borunun diametri, m;

β – qaz tutumudur.

(5) və (6) ifadələrindən aşağıdakı ifadəni yazmaq olar:

$$\frac{P_d^q}{P_d^m} = \frac{\rho_m}{\rho_q} \quad (7)$$

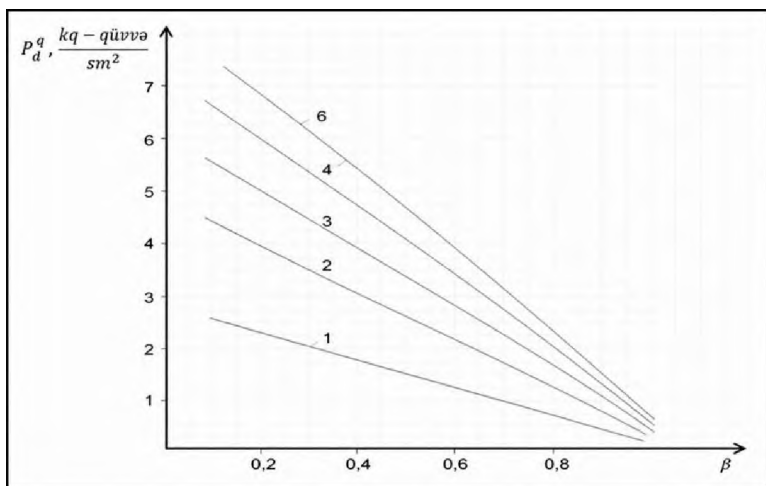
Dinamik təzyiqin dispers mühiti qaz olan multifazalı axınlar üçün daha səciyyəvi olduğunu nəzərə alaraq, (5) ifadəsinə əsasən dinamik təzyiqin qaz tutumu və fazaların sıxlıqlarının nisbətindən asılılığını müəyyən etmək üçün aşağıdakı ilkin məlumatlardan istifadə olunmaqla hesablamalar aparılmışdır:

$$D = 500mm; \rho_m = 800kg/m^3; \rho_m/\rho_q = 25; 50; 75; 90; \\ \beta = 0,3; 0,5; 0,7; 0,9.$$

Bu hesablamaların nəticələrinə əsasən $P_d^q = f(\beta)$ və $P_d^q = f(\rho_m/\rho_q)$ asılılıqları qurulmuşdur (şəkil 8 və 9).

Şəkil 8 və 9-dan göründüyü kimi, qaz tutumu çoxaldıqca, dinamik təzyiq xətti qanunla azalır. Fazaların sıxlıqlarının nisbətinin çoxalması ilə multifazalı axında baş verən dinamik təzyiqin qiyməti mütənasib olaraq artır.

Beləliklə, multifazalı neft və qaz kəmərlərində dinamik yüklərin yaranma səbəbləri araşdırılmış, multifazalı axınlarda yaranan dinamik təzyiqin qiymətləndirilməsi məsələlərinə baxılmışdır. Həcmi qaz tutumu və fazaların sıxlıqlarından asılı olaraq dispers mühiti neft və qaz olan multifazalı axınlarda dinamik təzyiqin təyini məqsədilə riyazi modellər təklif olunmuşdur.



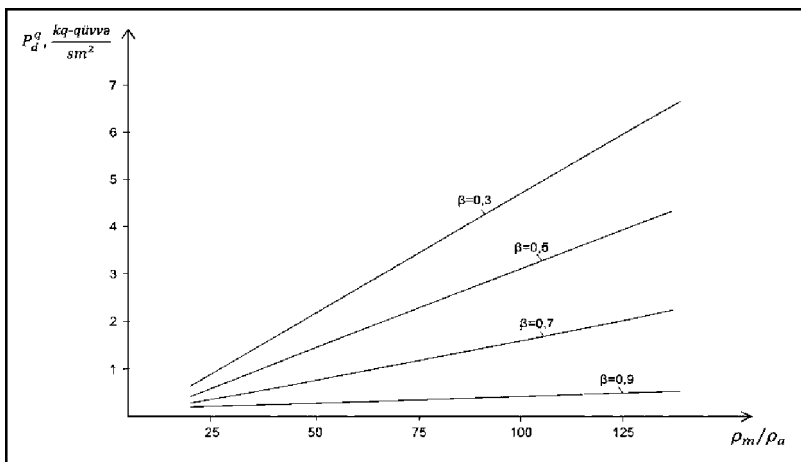
1÷5 - uyğun olaraq $\frac{\rho_m}{\rho_q} = 25, 50, 75, 90, 120$

Şəkil 8. Multifazlı axında dinamik təzyiqin qaz tutumundan asılılığı

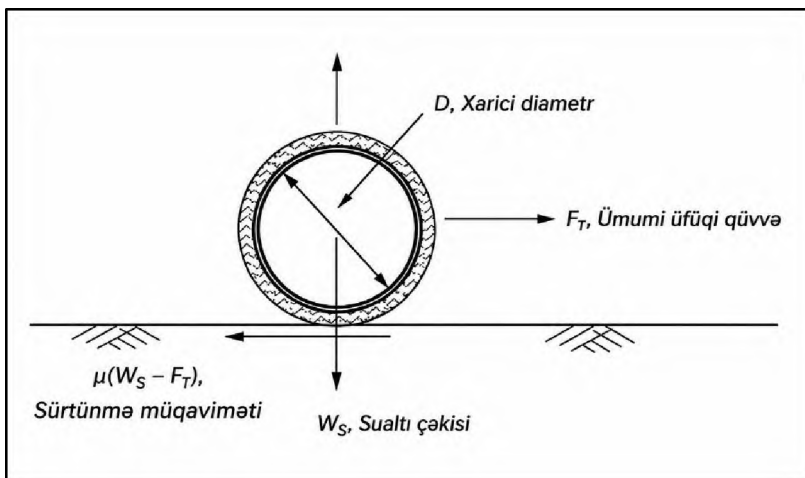
Qaz tutumunun çoxalması ilə dinamik təzyiqin azalması, maye və qaz fazalarının sıxlıqları nisbətinin çoxalması ilə isə dinamik təzyiqin qiymətinin artması aşkar edilmişdir.

Altıncı yarımfəsildə sualtı boru kəmərinin yana doğru yerdəyişməsi və əyilməsi dəniz dibində boru–qrunt qarşılıqlı təsiri nəzərə alınmaqla tədqiq edilmişdir. DNV-RP-F109 yanaşmasına uyğun olaraq statik, kvazistatik və zaman-domenli dinamik analizlərin birləşdirilməsi, 3 saatlıq simulyasiya müddəti, Morison tənliyi əsasında hidrodinamik təsirlər və JONSWAP spektri üzrə dalğa modeli göstərilmiş, qrunun passiv müqavimətinin yerdəyişmədən asılılığı da nəzərə alınmışdır (şəkil 10).

Yeddinci yarımfəsildə magistral qaz kəmərlərinin konstruktiv etibarlılığının müasir proqram təminatı ilə hesablanması məsələlərinə baxılmışdır. Burada texniki diaqnostika nəticələri əsasında kəmərin sadələşdirilmiş modeli qurulmuş, tətbiq olunan yüklərin səth boyu paylanması və elementlərdə yaranan gərginlik səviyyələrinin qiymətləndirilməsi aparılmışdır.



Şəkil 9. Multifazlı axında dinamik təzyiqin fazaların sıxlıqları nisbətindən asılılığı



Şəkil 10. Sualtı boru kəmərlərinin dayanıqlıq analizi

NƏTİCƏ VƏ TƏKLİFLƏR

1. Qaz quyularının texniki diaqnostikasına əsasən “28 May” NQÇİ-nin balansında olan 10 sayılı DSP-nin 184 sayılı qaz quyusunun $64kq/sm^2$ təzyiq altında istismar olunan atqı xəttində ($\varnothing 89mm$), faktiki qalınlıq buraxılabilən qalınlıqdan az olduğu üçün istismara yararlılığı aşkar edilmişdir [4].

2. Relyefli boru kəmərlərində axının multifazallığı nəzərə alınmaqla hər hansı bir səbəbdən basqısız axınla ətraf mühitə neftin dağılmasının (ballast həcmi) qiymətləndirilməsi üsulu işlənmişdir [5].

3. Neft və qaz kəmərlərinin istismar xarakteristikalarını əks etdirən texniki və texnoloji diaqnostika məlumatlarına əsasən boru kəmərləri üçün qalıq istismar resurslarının qiymətləndirilməsinin kəmərin divarının minimal ehtimal olunan qalınlığına əsasən və korroziya sürəti nəzərə alınmaqla aparılmasının məqsədəuyğunluğu göstərilmişdir [11].

4. Diametri 530 mm olan “Şimal İxrac” boru kəmərinin yeraltı hissəsində, 14-cü km-də açılmış şurfda maqnit yaddaşı proqramı ilə yoxlama zamanı kəmərdə gərginliyin xarakterik toplanma zonası aşkar edilmişdir. Təhlükəlik dərəcəsi III qrup anomaliya olduğundan boru kəməri bu hissədə istismara yararlı hesab edilmişdir. Bu üsulun yararlılığının nəzərə alaraq, onun SOCAR-ın digər obyektlərində tətbiqi təklif olunmuşdur [1].

5. Faza çevrilmələri ilə müşahidə olunan qaz kəmərlərində qazın tərkibində daşınan karbohidrogen, su və mexaniki qarışıqların çökməsinin istismar məlumatlarına əsasən texnoloji diaqnostikasının vacibliyi göstərilmişdir [9].

6. Sualtı boru kəmərlərinin istismar səmərəliliyini və qalıq istismar resurslarını artırmaq məqsədilə qazın sərfi nəzərə alınmaqla kəmərdə kondensatın toplanmasının buraxılabilən həcmi və dövrülüyünün təyini əsasında boru kəmərinin kondensat, su və s. təmizlənməsinin zəruriliyi və intensivliyi müəyyən edilmişdir. Bu intensivliyin 1 ayda 1 dəfədən, 4-5 ayda 1 dəfəyədək dəyişməsi müəyyən edilmişdir [7].

7. Multifazalı axınlar zamanı boru kəmərlərində yaranan dinamik yüklərin kəmərlərin etibarlılığı və iş qabiliyyətinə təsiri

məsələləri araşdırılmış, qaz tutumu və fazaların sıxlıqlarından asılı dinamik təzyiq yüklərinin qiymətləndirilməsi üçün üçün üçün riyazi model təklif olunmuşdur [10].

8. MATLAB riyazi proqramının köməyiylə sultı boru kəmərlərinin dinamik sabilliyinin təhlili aparılmış, boru kəmərlərinin yana doğru əyilməsinin təhlili və hesablanması aparılmışdır [8].

9. Müasir proqram təminatı vasitəsilə qaz kəmərlərində konstruktiv etibarlığın simulyasiyası aparılmışdır. “Qaz ixrac” idarəsinə məxsus “Astara-Qazıməmməd” yeraltı qaz kəmərinin 187,74-cü km-də açılan şurfda kəmərin xətti hissəsində “Olympus 27 MG” markalı ultrasəs prinsipli qalınlıqölçənlə defektoskopiya işlərinin nəticəsində faktiki divar qalınlıqlarının borunun üst hissəsində 12,18 mm, yan səthində 11,80 mm, alt hissəsində isə 9,19 mm olduğu müəyyən edilmişdir. Kəmərin alt hissəsində 5-6 mm korroziya yarıqları aşkar olunduğundan, bu hissədə faktiki qalınlıq 3,19 mm olması aşkar edilmişdir. Boru kəmərinin riyazi hesablanmasından alınan hesabi qalınlığın faktiki qalınlıqla müqayisəsi ($3,19 < 4,60$) olduğuna görə kəmərin bu hissəsinin istismara yarasız olduğu qənaətinə gəlinmişdir. Həmçinin gərginliyin axma həddinin (379 MPa) metalın fiziki xüsusiyyətlərinə uyğun gələn axma həddindən (350 MPa) böyük olması müəyyən edilmişdir [1].

Dissertasiyanın əsas müddəaları və məzmunu çap olunmuş aşağıdakı əsərlərdə öz əksini tapmışdır:

1. Nağızadə, A.R. Boru kəmərlərinin diaqnostikası üçün yeni üsulun tətbiqi barədə // - Bakı: Azərbaycan Neft Təsərrüfatı, - 2022. №9, - s. 63-67.

2. İsmayılova, F.B., Nağızadə, A.R. Magistral qaz kəmərlərinin konstruktiv etibarlılığının müasir proqram təminatı vasitəsilə hesablanması // - Bakı: Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri, - 2023. Cild 15, №3, - s. 59-65.

3. Nağızadə A.R. Yüksək təzyiqli texnoloji polad boru kəmərlərinin möhkəmliyə və dayanıqlığa hesablanması metodu barədə // - Bakı: Azərbaycan Neft Təsərrüfatı, - 2023. №9, - s. 30-34.

4. Nağızadə A.R. “28 May” NQÇİ-nin balansında olan 10 sayılı DSP-nin 184 sayılı qaz quyusunun atqı xəttində aparılan texniki diaqnostika işləri // - Bakı: Ümummilli lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 100 illik yubileyinə həsr edilmiş “Neft yataqlarının axtarış problemləri və perspektivləri” mövzusunda Respublika elmi konfransının materialları, - 2023. №12, - s. 148-150.

5. İsmayılov Q.Q., Nağızadə A.R. Boru kəmərlərində basqısız axınla qəza-neft dağılmalarının araşdırılması // - Bakı: Azərbaycan Neft Təsərrüfatı, - 2024. №11, - s. 22-26.

6. Nağızadə A.R. Sualtı dəniz boru kəmərlərinin möhkəmlik və dayanıqlıq hesablamalarının təhlili // - Bakı: PANTEI Azərbaycan Ali Texniki Məktəblərinin Xəbərləri, - 2024. Cild 45, №15, - s. 6-14.

7. Nağızadə A.R., Şahlarlı M.E. Sualtı boru kəməri texnologiyası ilə bağlı problemlər və onların optimallaşdırılması // Doktorantların və Gənc tədqiqatçıların XXVII Respublika elmi konfransının materialları I hissə, – Bakı: - 10-11 dekabr, -2024. s. 266-271.

8. İsmayılov G.G., Şahlarlı M.E., Nağızadə A.R. Subsea pipeline lateral buckling analysis // International Conference energy and Environmental Technologies in Engineering and Architectura, - Bakı: - 2024. - s. 222-226.

9. İsmayilov Q.Q., İsmayilova F.B., Nağızadə A.R. Diagnostika məlumatlarına əsasən boru kəmərinin qalıq resursunun qiymətləndirilməsi // - Bakı: Elmi xəbərlər, - 2025. №2, 25, - s. 57-62.

10. İsmayilov G.G., İsmayilova F.B., Nagizadeh A.R. Advanced resource operation of main natural gas pipeline using CFD modeling methods // - Bakı: ETARS (SCOPUS-Q4), - 2025. UDC 621.681, DOI: 10.33070 №2, s.168-174.

11. İsmayilov G.G., İsmayilova F.B., Nagizadeh A.R. Analysis of Structural Reliability of Main Gas Pipelines // - Latvia: Latvian Journal of Physics and Technical Sciences, - 2025. DOI: 10.2478/lpts-2025-0029, №4, - p. 57-64.

12. Iskandarov, E.Kh. The Effect of Filling the Gas Pipeline with Condensate on Transport Pressure / M. Shukurlu, F.B. İsmayilova, A.R. Nagizadeh // Geology-Petroleum Engineering Bulletin, - Serbia: - 2025. №3, - p. 17-24.

Dərc olunmuş əsərlərdə iddiaçının şəxsi töhfəsi:

[1], [3], [4], [6], [12] - müstəqil yerinə yetirilmişdir.

[2], [5], [7-11] – həmmüəlliflərin iştirak etmə payı bərabərdir.



Dissertasiyanın müdafiəsi 14 sentyabr 2026-cı il tarixində saat 11:00-da Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən FD 2.01 sayılı Dissertasiya Şurasının iclasında keçiriləcək.

Ünvan: AZ 1010, Bakı şəhəri, Azadlıq prospekti, 34

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 "03" avqust 2026-cı il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: 10.07.2026

Kağızın formatı: A5

Həcm: 36681

Tiraj: 100