

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

Əl yazması hüququnda

MAİLİ VƏ ÜFQİ QUYULARIN KÜT QAZILMASININ ELMİ VƏ TEXNOLOJİ ƏSASLARININ TƏKMİLLƏŞDİRİLMƏSİ

İxtisas: 2523.01 – «Quyuların qazılması texnologiyası»

Elm sahəsi: Texnika elmləri

İddiaçı: **Yelena Yevgenyevna Şmonçeva**

Elmlər doktoru elmi dərəcəsi almaq üçün
təqdim edilmiş dissertasiyanın

AVTOREFERATI

Bakı-2025

Dissertasiya işi Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetinin “Neft-qaz mühəndisliyi” kafedrasında yerinə yetirilmişdir.

Elmi məsləhətçi: Texnika elmləri doktoru, professor
Əlinazim Murad oğlu Məmmədağızadə

Rəsmi opponətlər: AMEA-nın müxbir üzvü, texnika elmləri doktoru, professor
Qalib Məmməd oğlu Əfəndiyev
Texnika elmləri doktoru, professor
Yusif Murad oğlu Quliyev
Texnika elmləri doktoru, professor
Ramiz Əlicavad oğlu Qasimov
Texnika elmləri doktoru, professor
İslam İsaqaliyevič Canzakov

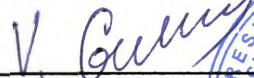
Azərbaycan Respublikası Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən BED 2.03/1 Dissertasiya şurası

Dissertasiya şurasının Texnika elmləri doktoru, dosent
sədri:



Arif Ələkbər oğlu Süleymanov

Dissertasiya şurasının elmi Texnika üzrə fəlsəfə doktoru, dosent
katibi:



Cabbarova Güllü Valeh qızı

Elmi seminarın sədri: Texnika elmləri doktoru, dosent



Eldar Məmməd oğlu Süleymanov

İmzaları təsdiq edirəm:
ADNSU-nun Elmi katibi,
texnika üzrə fəlsəfə doktoru, dosent



İqbal Namiq oğlu Əliyev

İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı və öyrənilmə dərəcəsi.

Küt quyusunun tikintisi yalnız qazmadan ibarət deyil, həm də quyuyu gövdəsinin bərkidilməsi, sementlənməsi və sonrakı laydan məhsulun intensivləşdirilməsini əhatə edən mürəkkəb bir sistemdir. Küt meydançalarının layihələndirilməsinə, trayektoriyaların seçilməsinə və qazma ardıcılığına sistemli yanaşmanın olmaması texniki-iqtisadi göstəricilərin optimal olmamasına gətirib çıxarır. Planlaşdırma və operativ idarəetmə məsələlərinin həlli üçün müasir rəqəmsal alətlərin, xüsusilə də maşın öyrənməsi üsullarının inteqrasiyası olduqca aktual istiqamətdir.

Əsas məsələlərdən biri küt meydançasında quyuların rəşional yerləşdirilməsidir. Bu, kapital və istismar xərclərini azaltmağa, ekoloji təsirləri minimuma endirməyə və çıxarıla bilən ehtiyatların həcmi artırmağa imkan verir. Ənənəvi layihələndirmə üsulları isə həmişə maksimum səmərəlilik təmin etmir, çünki onlar empirik yanaşmalara əsaslanır və qazma prosesinə təsir edən bütün amilləri nəzərə almır.

Maşın öyrənməsi və riyazi modelləşdirmə alqoritmlərindən istifadə layihələndirmənin dəqiqliyini artırmağa, qazma zamanı yarana biləcək fəsadları qabaqcadan proqnozlaşdırmağa və quyulararası qarşılıqlı təsiri minimuma endirməyə imkan verir. Bu, mürəkkəb geoloji-geotexniki şəraitlərdə və sıx küt yerləşməsi olan yataqlarda xüsusilə vacibdir. Qazma ardıcılığının, trayektoriyaların və küt meydançasının quruluşunun intellektual texnologiyalar vasitəsilə optimallaşdırılması avadanlığın daha səmərəli istifadəsini təmin edir, quyuyu tikinti vaxtını azaldır və qəza risklərini minimuma endirir.

Qazmada genişlənən boruların texnologiyasının inkişafı neft-qaz sənayesində mühüm istiqamətdir. Bu, quyuların tikintisi və istismarı zamanı xərclərin azaldılması və səmərəliliyin artırılması zərurəti ilə bağlıdır. Ənənəvi quyuyu bərkidilməsi üsulları daxili diametrin azalmasına gətirib çıxarır ki, bu da daha dərin quyuların qazılmasını məhdudlaşdırır və xərcləri artırır. Müasir dərin dəniz qazmalarında, böyük meyilli quyularda və korroziyaya uğramış köhnə quyularda genişlənən borulara tələbat artır. Onlar teleskopik effekti

minimuma endirir, quyunun diametrini qoruyur, materiala və vaxta qənaət edir, dövrən şərtlərini yaxşılaşdırır və köhnə quyuların diametrini az itkilə təmir etməyə imkan verir. Daha dərin yataqların işlənməsi və mürəkkəb rejimlərə keçid şəraitində genişlənən borular dayanıqlı və iqtisadi cəhətdən səmərəli qazma üçün kritik alətə çevrilir.

Müasir quyu tikintisi və istismarı metodları həmçinin quyu gövdəsində etibarlı izolyasiya və hermetikləşmə həlləri tələb edir. Elastomer materiallardan hazırlanmış şişən pakerlər ətraf mühitin mayələrinin təsiri ilə ölçülərini dəyişə bilər və bu, onları maye və qaz sızmalarının qarşısını almaq üçün effektiv vasitəyə çevirir. Onların tətbiqi xüsusilə suyun quyulara axınının məhdudlaşdırılması, qaz miqrasiyasının qarşısının alınması, sementlənmənin keyfiyyətinin artırılması üçün kəmərlər dabanı zonalarının hermetikləşdirilməsi, həmçinin çoxmərhələli hidravlik çatlatma zamanı intervalların etibarlı ayrılması və təsirin səmərəliliyinin artırılması baxımından əhəmiyyətlidir. Bu pakerlər yüksək minerallaşmış lay suları olan quyular da daxil olmaqla müxtəlif geoloji şəraitlərə uyğunlaşa bilər. Azərbaycan yataqlarında, xüsusən də yüksək su kəsri ilə xarakterizə olunan yetkin quyularda, müxtəlif minerallaşma dərəcəsinə malik məhlullarla təmasda şişən pakerlərin davranışının öyrənilməsi xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Bu, onların tətbiqini optimallaşdırmağa və istismar problemlərini minimuma endirməyə imkan verir.

Karbonat süxurlarının kimyəvi reagentlərin təsiri altında mexaniki xüsusiyyətlərinin dəyişmə mexanizmlərinin öyrənilməsi də xüsusi əhəmiyyət daşıyır. Mineralogiyanın dəyişməsi hesabına süxurların konsolidasiyası quyu gövdəsinin sabitliyinə, keçiriciliyin azalmasına, dövrən itkilərinin minimuma endirilməsinə və quyu divarlarının möhkəmliyinə töhfə verir.

Preventor sahəsində mövcud tədqiqatlar əsasən idarəetmə sistemlərinin, monitorinqin və sıxıcı materialların təkmilləşdirilməsinə yönəlmişdir. Lakin elmi ədəbiyyatda aşınmaya qarşı aktiv mühafizə funksiyalı universal preventorun yaradılmasından bəhs edilmir. Bu da təqdim olunan dissertasiyanın yeniliyini vurğulayır.

Göstərilən tədqiqat istiqamətləri müxtəlif formada M.P. Qulizadə, O.K. Məmmədbəyova, A.M. Məmmədağızadə, Q.M. Əfəndiyev, A.X. Mirzəcənzadə, E.A. Kəzimov, L.Ya. Kaufman, L.Ya. Suşon, Ş.P. Kazımov kimi yerli alimlərin, eləcə də A.Q. Kalinin, V.Q. Qriquletski, Q.S. Əbdurəhmanov, A.Z. Qəlyamov, T. Nicholson, H. Wang, J. Jeong, R. Barati, A. Aljawad, S.M. Shukla, C.M. Green, R.A. Hardman, J. Zhang, K.E. Gray, S. Elkatatny və digər xarici tədqiqatçıların əsərlərində öz əksini tapmışdır ki, bu da onların aktuallığını və inkişaf zəruriliyini təsdiq edir.

Beləliklə, mürəkkəb quyuların qazılması üzrə ayrı-ayrı aspektlərə dair çoxsaylı işlərin mövcud olmasına baxmayaraq, intellektual planlaşdırmanı, qabaqcıl bərkidilmə texnologiyalarını və süxur xüsusiyyətlərinin idarə olunmasının innovativ üsullarını birləşdirən kompleks yanaşma yoxdur. Bu dissertasiya həmin boşluğu doldurmaq məqsədilə küt tipli maili və üfiqi quyuların tikintisinin səmərəliliyini və etibarlılığını artırmaq üçün vahid texnoloji platformanın işlənilib hazırlanmasına və elmi əsaslandırılmasına həsr olunmuşdur.

Tədqiqatın obyektı və predmeti.

Tədqiqatın obyektı mürəkkəb geoloji şəraitlərdə küt tipli maili və üfiqi quyuların tikintisinin layihələndirmə, qazma, bərkitmə, sementləmə və istismar mərhələlərini əhatə edən kompleks texnoloji prosesdir. Tədqiqat bütün əməliyyatları — intellektual trayektoriya planlaşdırılmasından və küt meydançalarının quruluşunun layihələndirilməsindən başlayaraq, innovativ materialların və texniki qurğuların tətbiqi və onların səmərəliliyinin qiymətləndirilməsində — əhatə edir. Bu, quyuların etibarlılığını və qəzasız istismarını artırmağa yönəlmişdir və Azərbaycan şəraitində də xüsusi əhəmiyyət daşıyır.

Tədqiqatın predmeti mürəkkəb profilli quyuların tikinti prosesinin səmərəliliyini və təhlükəsizliyini müəyyən edən fiziki-kimyəvi, geomexaniki və texnoloji qanuna uyğunluqlardır.

Xüsusilə, ətraflı öyrənmənin predmeti aşağıdakılardır:

Küt meydançalarının quruluşunun planlaşdırılması, quyuların qruplaşdırılması və optimal trayektoriyaların qurulması üçün maşın

öyrənməsi alqoritmlərinə əsaslanan layihə həllərinin intellektual optimallaşdırma prinsipləri və metodları.

“Süxur – qazma məhlulu” sistemində qarşılıqlı təsirlərə nəzarət etməklə quyu gövdəsinin dayanıqlığının təmin olunması qanunauyğunluqları, o cümlədən karbonat süxurlarının kimyəvi möhkəmləndirilməsi və gilli çöküntülərin inhibə olunması mexanizmləri.

Quyu gövdəsinin maili və üfiqi sahələrində şlamın çıxarılmasının hidrodinamik və reoloji prosesləri və onlara polimer əlavələrinin, xüsusilə hidrosietilsellülozanın təsiri.

İnnovativ texnologiyalardan istifadə etməklə quyu məkanının deformasiyası və hermetikləşdirilməsi mexanizmləri, o cümlədən genişlənən borular texnologiyası və müxtəlif minerallaşma dərəcəsinə malik mühitlərdə şişən elastomer pakərlərin davranışı.

İstismar etibarlılığının artırılmasına yönəlmiş preventor avadanlıqlarının təkmilləşdirilməsi prinsipləri, o cümlədən sıxıcı elementlərin aşınmasının aktiv şəkildə azaldılması funksiyasına malik universal preventorun işlənməsi.

Dissertasiya işinin məqsədi küt tipli maili və üfiqi quyuların tikintisinin səmərəliliyinin, etibarlılığının və təhlükəsizliyinin artırılması üçün kompleks elmi və texnoloji əsasların işlənilib hazırlanması və elmi cəhətdən əsaslandırılmasıdır.

Tədqiqatın əsas məsələləri.

Qoyulmuş məqsədə nail olmaq üçün aşağıdakı əsas elmi-texniki məsələlər tyin edilmiş və həll edilmişdir.

1. Küt meydançaların strukturunun kompleks optimallaşdırılması, quyuların qruplaşdırılması və texniki-iqtisadi xərclərin və lülələrin kəsişməsi risklərinin minimallaşdırılması məqsədilə onların trayektoriyalarının layihələndirilməsi üçün maşın öyrənməsinə əsasən intellektual metodları və alqoritmləri işləmək və sınaqdan keçirmək.

2. Quyu lüləsinin dayanıqlığının və onun şlamdan təmizlənməsinin effektivliyinin artırılması üçün qazıma məhlullarının və ixtisaslaşdırılmış kimyəvi reagentlərin təkmilləşdirilmiş tərkiblərini eksperimental olaraq tədqiq etmək və tətbiqini əsaslandırmaq.

3. Monodiametr texnologiyanın reallaşdırılması üçün ikiqat təsirli genişləndiricinin yeni konstruksiyasının işlənməsi daxil olmaqla quyuların möhkəmləndirilməsi və layların izolyasiyası üçün innovativ texnologiyaların tətbiqini elmi və eksperimental olaraq əsaslandırmaq və müxtəlif minerallaşma dərəcəsi olan lay sularında şişəm elastomer pakerlərin davranışının qanunauyğunluqlarını tədqiqi.

4. Sıxlaşdırıcı elementlərin yeyilməsinin aktiv azalmasının inteqrasiya olunmuş sistemi ilə universal preventorun yeni konstruksiyasını işləmək və laboratoriya sınaqlarına əsasən onun yüksək artmış istismar etibarlılığını və ənənəvi analoqlarla müqayisədə iqtisadi effektivliyini sübut etmək.

Qoyulmuş məsələlərin həll metodları.

Dissertasiyada qoyulmuş vəzifələrin həlli metodları nəzəri, hesablama və eksperimental tədqiqatların kompleks istifadəsinə əsaslanmışdır ki, bu da elmi nəticələrin tamlığını və etibarlılığını təmin etmişdir.

Nəzəri blok yerli və xarici elmi-texniki ədəbiyyatın məlumatlarının dərinlən təhlili və sistemləşdirilməsini əhatə etmiş, bu isə tədqiqatın metodoloji əsasını formalaşdırmağa və qazma ilə quyu tamamlanması texnologiyalarının təkmilləşdirilməsi üzrə əsas istiqamətləri müəyyən etməyə imkan vermişdir.

Küt meydançalarının yerləşdirilməsi və quyuların qruplaşdırılması proseslərinin modelləşdirilməsi quyu trayektoriyasının optimallaşdırılması məsələləri üçün möhkəmləndirmə ilə öyrənmə üsullarını da əhatə edən maşın öyrənməsi alqoritmlərindən istifadə etməklə aparılmışdır. Elastomer sıxıcıların gərginlik-deformasiya vəziyyətini qiymətləndirmək üçün ABAQUS proqram paketində sonlu elementlər metodu tətbiq olunmuş, böyük deformasiyalar zamanı sıxıcı elementlərin davranışını adekvat təsvir edən Ogden-2 hiperelastik modeli istifadə edilmişdir.

Eksperimental tədqiqatlar üfqi quyu gövdələrinin təmizlənməsi, şlamın çıxarılması və qazma məhlullarının süxurlarla qarşılıqlı təsiri proseslərinin fiziki modelləşdirilməsini əhatə etmişdir. Bundan əlavə, karbonat kollektorlarının mexaniki və filtrasiya-tutum xüsusiyyətlərinə kimyəvi reagentlərin təsirini öyrənmək üçün sınaqlar,

həmçinin müxtəlif minerallaşma dərəcəsinə malik mühitlərdə elastomer materiallarının şişmə kinetikasının qiymətləndirilməsi üzrə eksperimentlər aparılmışdır.

Alınmış nəticələrin etibarlılığı ciddi statistik məlumat işlənməsi ilə təmin olunmuş, onların praktik səmərəliliyi isə hazırlanmış texnologiyaların istehsalat təcrübəsinə tətbiqinin məqsədəuyğunluğunu göstərən texniki-iqtisadi təhlillə təsdiq edilmişdir.

Müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar:

1. Küt meydançalarının optimallaşdırılması üçün intellektual metodologiya. İterativ təhlil alqoritmlərinə və maşın öyrənməsi üsullarına əsaslanan işlənmiş metodologiya stasionar platformaların optimal sayını, yerləşməsinə və quyuların qruplaşdırılmasını müəyyən etməyə imkan verir. Mövcud yanaşmalardan fərqli olaraq, bu metodologiya texnoloji məhdudiyyətləri nəzərə almaqla kapital və istismar xərclərinin kompleks şəkildə minimuma endirilməsini təmin edir ki, bu da layihələndirmə mərhələsində xərclərin azalmasına səbəb olur.

2. Möhkəmləndirmə ilə öyrənmə əsasında quyu trayektoriyasının operativ idarə olunması metodu. Möhkəmləndirmə ilə öyrənmə alqoritmlərindən istifadə edən quyu gövdəsinin ayrılığının dinamik idarə olunması üçün yeni metod təklif edilmişdir. Statik layihə profilinə qayıtmağa əsaslanan ənənəvi yanaşmadan fərqli olaraq, işlənmiş metod kursun real vaxt rejimində korrektə olunmasını təmin edir, kompleks funksionalı (xərclər, vaxt, ayrılık intensivliyi) minimuma endirir və quyu gövdəsinə birbaşa hədəf zonanın tolerantlıq sahəsinə yönəldir ki, bu da qazmanın dəqiqliyini və iqtisadi səmərəliliyini artırır.

3. Quyu gövdəsinin geomexanik dayanıqlığını artırmaq üçün kimyəvi reagentlərlə modifikasiya olunmuş yeni qazma məhlulu tərkibləri. Geomexanik dayanıqlığa aktiv nəzarət məqsədilə kimyəvi reagentlərlə (xüsusilə sink sulfatı ilə) modifikasiya olunmuş qazma məhlullarının tətbiqi əsaslandırılmışdır. Eksperimental olaraq sübut edilmişdir ki, təklif olunan tərkiblər karbonat süxurda faza çevrilmələrini başladır, bu isə onun möhkəmlilik xüsusiyyətlərinin əhəmiyyətli dərəcədə (19%-ə qədər) artmasına və keçiriciliyinin

azalmasına gətirib çıxarır.

4. Mühitin minerallaşmasının təsirini nəzərə alan şişən pakerlərin eksperimental əsaslandırılmış kinetik modeli. Şişmə sürəti və quyu divarı ilə kontaktın baş verməsi üçün tələb olunan vaxt üzrə kəmiyyət asılılıqları əldə olunmuşdur ki, bu da pakerlərin mürəkkəb zonaların izolyasiyasında və sementlənmənin keyfiyyətinin artırılmasında rəşional tətbiqi üçün tövsiyələrin işlənməsinə imkan vermişdir.

5. Monodiametr texnologiyasının tətbiqi üçün ikiqat təsirli genişləndirici konstruksiyası. Bir spuskda iki müxtəlif diametr üzrə mərhələli ardıcıl genişlənməni həyata keçirməyə imkan verən yeni genişləndirici konstruksiyası işlənməş və elmi cəhətdən əsaslandırılmışdır. Bu konstruktiv həll monodiametr texnologiyası üzrə quyu tikintisinin praktik tətbiqi üçün açar elementdir, teleskopik effekti aradan qaldırır və material sərfini azaldır.

6. Aşınmanın aktiv azaldılması sistemi ilə universal preventor konstruksiyası. Hidravlik turbin və üyüdücü mexanizmlə təchiz olunmuş yeni universal preventor konstruksiyası təklif edilmiş və eksperimental olaraq sınaqdan keçirilmişdir. Bu, yüksək etibarlı qarşısialınmaz avadanlıqların layihələndirilməsində yeni istiqamət yaradır.

Tədqiqatın elmi yeniliyi aşağıdakılardan ibarətdir: platforma slotları üzrə quyuların paylanmasının çoxmeyarlı optimallaşdırılması üçün integrasiya olunmuş metodika işlənməşdir; mövcud yanaşmalardan fərqli olaraq, xərclərin və risklərin kompleks funksionalını minimuma endirərək quyunu əvvəlcədən müəyyən olunmuş layihə xəttinə deyil, birbaşa hədəfin tolerantlıq sahəsinə yönəldən, möhkəmləndirmə ilə öyrənməyə əsaslanan quyu gövdəsinin əyriliyinin operativ idarə olunması üçün yeni metod təklif edilmişdir; qazma məhlulunun modifikasiyası yolu ilə karbonat süxurların məqsədyönlü möhkəmləndirilməsinin mümkünlüyü eksperimental olaraq sübut edilmiş və kəmiyyətcə qiymətləndirilmişdir; yüksək minerallaşmış mühitlərdə elastomer pakerlərin şişmə kinetikasının qanunauyğunluqları müəyyən edilmiş və xarakterizə olunmuş, proses iki fazalı model ilə təsvir edilmişdir; şişmə sürətinin duz konsentrasiyasından qeyri-xətti asılılığı aşkar edilmişdir ki, bu da

material seçiminin elmi əsaslandırılmasına və Azərbaycanın yataqlarının spesifik şəraitində quyu gövdəsinin hermetikləşdirilməsi vaxtının proqnozlaşdırılmasına imkan verir; mövcud analoqlardan fərqli olaraq, bir spuskda kolonun iki fərqli diametrə mərhələli genişlənməsini həyata keçirməyə imkan verən yeni ikiqat təsirli genişləndirici konstruksiyası işlənmişdir. Bu, monodiametr texnologiyası ilə quyu tikintisinin praktiki tətbiqi üçün əsas texnoloji həll hesab olunur; elmi ədəbiyyatda analoqu olmayan, sıxıcı elementlərin aşınmasının aktiv azaldılması mexanizmi ilə təchiz olunmuş universal preventorun yeni konstruksiyası təklif edilmişdir. Yenilik hidravlik turbinin və üyüdücü blokun inteqrasiyasında ifadə olunur ki, bu da mövcud yanaşmalardan fərqli olaraq, aşınmanın nəticələri ilə mübarizə aparmaq əvəzinə, onun başlanğıc mərhələsində qarşısını almağa imkan verir.

Tədqiqat nəticələrinin nəzəri və praktik əhəmiyyəti.

Dissertasiya işinin nəzəri dəyəri quyu gövdəsinin dayanıqlığının təmin olunması qanunauyğunluqları və qazma prosesindəki fəsadların idarə olunması üzrə elmi təsəvvürlərin inkişaf etdirilməsindədir. Bu yanaşma geomekanik təhlilin, qazma məhlullarının fiziki-kimyəvi xüsusiyyətlərinin və maşın öyrənməsi üsullarının inteqrasiyasına əsaslanır. Süxurların gərginlik-deformasiya vəziyyətinin proqnozlaşdırılması, elastomer materiallarının şişmə proseslərinin diaqnostikası və modelləşdirilməsi, həmçinin sıxıcıların davamlılığını proqnozlaşdırmaq və yeni paker konstruksiyalarını işləmək üçün sayısal hesablarda hiperelastik modellərin istifadəsi ilə kompleks yanaşmanın rolu əsaslandırılmışdır. Nəzəri əhəmiyyət həmçinin genişlənmə boruların və ikiqat genişlənmənin tətbiqi ilə kəmərlərin layihələndirilməsi üzrə yeni prinsiplərin işlənməsində özünü göstərir ki, bu da monodiametr texnologiyasının imkanlarını genişləndirir. Bundan əlavə, qazma parametrlərinin proqnozlaşdırılması və optimallaşdırılması sistemlərinə maşın öyrənməsinin inteqrasiyası üzrə elmi əsaslar inkişaf etdirilmişdir.

Dissertasiya nəticələrinin praktik əhəmiyyəti quyuların tikintisinin texniki-iqtisadi göstəricilərini və təhlükəsizliyini artırmağa yönəlmiş tətbiqə hazır mühəndislik həllərinin, texnologiyaların və metodikaların işlənməsindədir: layihələndirmə mərhələsində

dənizdəki stasionar platformaların sayını minimuma endirməklə kapital xərclərin azaldılmasına imkan verən küt meydançalarının yerləşdirilməsinin və quyuların qruplaşdırılmasının avtomatlaşdırılmış optimallaşdırılması üçün alqoritm və proqram təminatı yaradılmışdır; duzlu çöküntülərdə və qeyri-sabit karbonat süxurlarda qazma üçün qazma məhlulunun tərkibi üzrə praktik tövsiyələr işlənmişdir, burada reagentlərin kimyəvi tərkibinin və məhlul parametrlərinin duzların eroziyasına temperatur dəyişikliyinə daha çox təsir göstərdiyi müəyyən edilmişdir ki, bu da kaverna əmələ gəlməsini minimuma endirmək üçün reseptlərin optimallaşdırılmasına imkan verir; yeni ikiqat təsirli genişləndirici konstruksiyası işlənmişdir ki, bu da bir spuskda kolonun iki diametr üzrə mərhələli genişlənməsini təmin edir və monodiametr texnologiyası üzrə resursqoruyucu quyu tikintisinin praktiki tətbiqi üçün əsas həll hesab olunur; Azərbaycanın yataqlarında lay sularının minerallaşma dərəcəsinə uyğun olaraq şişən pakerlər üçün elastomer materialların seçilməsinə dair konkret mühəndis tövsiyələri əldə olunmuşdur ki, bu da layların izolyasiyasının etibarlılığını artırır; laboratoriya sınaqları əsasında sıxıcı elementlərin xidmət müddətini 35% artıran, nasazlıqlararası orta vaxtı (MTBF) 15% artıran və ümumi istismar xərclərini təqribən 18% azaldan universal preventorun yeni konstruksiyası təklif edilmişdir ki, bu da qazma işlərinin təhlükəsizliyini və iqtisadi səmərəliliyini birbaşa artırır.

Dissertasiya çərçivəsində işlənmiş əsas texniki həllərin praktik əhəmiyyəti və yeniliyi əldə olunmuş patentlərlə təsdiq edilmişdir, o cümlədən borular üçün genişləndiriciyə dair patent (Patent CN 205605117 U, Çin), universal preventor (Avrasiya patenti № 045267B1) və Azərbaycan Respublikası patenti (№ 20160085).

Müəllifin şəxsi töhfəsi. Tədqiqatın aparılmasında iddiaçının şəxsi töhfəsi tədqiqatın məqsəd və vəzifələrinin müəyyən edilməsində, nəzəri və metodoloji əsasların işlənməsində, birbaşa əsas eksperimentlərin aparılmasında və əldə olunmuş nəticələrin təhlilində ifadə olunur. Müdafiəyə çıxarılan bütün əsas elmi müddəalar müəllif tərəfindən şəxsən formalaşdırılmış və əsaslandırılmışdır. Xüsusilə, iddiaçının şəxsi töhfəsi küt meydançalarının optimallaşdırılması və quyu trayektoriyasının operativ idarə olunması üçün intellektual

metodların və alqoritmlərin işlənməsi, proqram təminatının yaradılması, karbonat süxurlarının mexaniki xüsusiyyətlərinə kimyəvi reagentlərin təsirinin və üfiqi quyu gövdəsinin təmizlənməsinin hidrodinamikasının öyrənilməsi üzrə bütün eksperimental tədqiqat kompleksinin aparılması ilə bağlıdır. Elastomer pakerlərin şişmə kinetikasının müəyyən olunması və sonradan ABAQUS proqramında modelləşdirilməsi üzrə laboratoriya sınaqları da iddiaçı tərəfindən yerinə yetirilmişdir. İddiaçının birbaşa iştirakı və həmmüəllifliyi ilə ikiqat təsirli genişləndirici və universal preventorun yeni patentləşdirilmiş konstruksiyaları işlənməmişdir. Şəxsi töhfə həmçinin əldə olunmuş nəticələrin sistemləşdirilməsini, nəticələrin və praktik tövsiyələrin formalaşdırılmasını, həmçinin dissertasiya mövzusu üzrə əsas elmi işlərin yazılmasını və dərc edilməsini əhatə edir.

Nəticələrin aprobasiyası və tətbiqi.

Dissertasiya işinin əsas elmi nəticələri müddəaları profilli elmi bölmələrin iclaslarında ardıcıl olaraq məruzə edilmiş və müzakirə edilmişdir, həmçinin milli və beynəlxalq konfranslarda, simpoziumlarda və seminarlarda geniş işıqlandırılmışdır. Onların arasında:

- Akademik A.X. Mirzəcanzadənin 85 illiyinə həsr olunmuş “Neynyuton sistemləri neft-qaz sənayesində” beynəlxalq elmi konfransı (Bakı, 2013);

- X Yubiley Beynəlxalq Elmi-Praktiki Konfransı “Aşirov oxuları” (Samara, 2013);

- XƏZƏRNEFTQAZYATAQ-2014 (Bakı, 2013);

- XI Beynəlxalq Elmi-Praktiki Konfrans “Aşirov oxuları” (Samara, 2014);

- XII Beynəlxalq Elmi-Praktiki Konfrans “Aşirov oxuları” (Samara, 2015);

- XƏZƏRNEFTQAZYATAQ-2016 (Bakı, 2016);

- I Beynəlxalq Elmi-Praktiki Konfrans “Bulatov oxuları” (Krasnodar, 2017);

- V Beynəlxalq Elmi-Praktiki Konfrans “Bulatov oxuları” (Krasnodar, 2021);

- “Neft-qaz işində müasir texnologiyalar” beynəlxalq elmi-texniki konfransı, UDNTU-nun 75 illiyinə həsr olunmuş (Ufa, 2023);

- VII Beynəlxalq Elmi-Praktiki Konfrans “Bulatov oxuları” (Krasnodar, 2023);

- “Heydər Əliyev və Azərbaycanın neft strategiyası: neft-qaz geologiyası və geotexnologiyalarında nailiyyətlər” elmi-praktiki konfransı (Bakı, 2023);

- Akademik A.X. Mirzəcanzadənin xatirəsinə həsr olunmuş “Yataqların işlənməsi texnologiyaları və neft-qaz hasilatında proseslərin modelləşdirilməsi” beynəlxalq konfransı (Ufa, 2023);

- SPE Xəzər Texniki Konfransı və Sərgisi (Bakı, Azərbaycan, 2023).

Nəşr fəaliyyəti ilə yanaşı, tədqiqatın əsas nəticələri patent işləmələrində də öz əksini tapmışdır ki, bu da onların neft-qaz sənayesində tətbiqi əhəmiyyətini və tələbata uyğunluğunu təsdiq edir. Bunlara daxildir: 油气井用可膨胀套管扩眼工具 (Qaz və neft quyusu üçün genişlənen kəmərlər genişləndirici alət), Patent CN 205605117 U (Çin); Patent № 20160085, 11.05.2019 tarixli (Azərbaycan); Avrasiya patenti № 045267B1, EAİO-nun rəsmi bülletenində dərc olunmuş (E21B033/06).

Alınmış nəticələrin etibarlılığı.

Alınmış nəticələrin etibarlılığı müasir riyazi modelləşdirmə və maşın öyrənməsi metodlarının istifadəsi, ilkin fərziyyələrin düzgünlüyü və maili quyuların trayektoriyasının idarə olunması məsələlərinin adekvat qoyuluşu ilə təsdiqlənir. Nəticələrin etibarlılığı modelləşdirmə nəticələrinin faktiki sənaye məlumatları ilə müqayisəsi, möhkəmləndirmə ilə öyrənmə alqoritmlərinin real qazma məlumatlarında sınaqdan keçirilməsi, həmçinin müxtəlif minerallaşmaya malik mühitlərdə pakerlərin şişmə kinetikasına dair eksperimental tədqiqatların təkrar olunması ilə təmin olunmuşdur. Əlavə təsdiq kimi əldə olunmuş kəmiyyət asılılıqlarının elmi ədəbiyyatda və sənaye təcrübəsində təqdim olunan məlumatlarla uyğunluğu göstərilmişdir ki, bu da birlikdə müdafiəyə çıxarılan elmi müddəaların etibarlılığını təmin edir.

Dissertasiyanın əsas müddəaları ölkə və xarici elmi jurnallarda dərc olunmuş 20 məqalədə, o cümlədən həm Scopus, həm də Web of Science bazalarında indeksləşdirilən 10 jurnalda öz əksini tapmışdır. Bundan əlavə, mövzu üzrə 12 tezis dərc olunmuşdur ki,

onlardan 8-i xarici beynəlxalq konfrans materiallarında təqdim olunmuşdur, həmçinin 1 monoqrafiya və 3 patent əldə olunmuşdur.

Dissertasiya tədqiqatının təşkili.

Dissertasiya tədqiqatı Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetinin “Neft-qaz mühəndisliyi” kafedrasında “Neftin, qazın geotexnoloji problemləri və Kimya” ETİ-nin problem laboratoriyasının dəstəyi ilə aparılmışdır.

İşin həcmi və quruluşu.

Dissertasiya girişdən, 5 fəsildən, nəticə və tövsiyələrdən, ədəbiyyat siyahısından və əlavələrdən ibarətdir. Dissertasiyanın ümumi həcmi 343142 işarə təşkil edir.

Minnətdarlıq.

Müəllif məsləhəti və hərtərəfli dəstəyi ilə bu tədqiqatın əsasını qoymuş elmi məsləhətçi, texnika elmləri doktoru, professor **A.M.Məmmədtağızadəyə** dərin minnətdarlıq və xoş xatirələrini ifadə edir.

Müəllif həmçinin texnika elmlər doktoru, professor O.K.Məmmədbəyova ideyalara, dəyərli tövsiyələrə, məhsuldar elmi müzakirələrə və göstərilmiş yardıma görə xüsusi minnətdarlığını ifadə edir ki, bunlar dissertasiyanın əsas müddələrinin formalaşmasına və müvəffəqiyyətlə başa çatdırılmasına kömək etmişdir.

İŞİN MƏZMUNU

Girişdə dissertasiya işinin aktuallığı həm elmi, həm də praktiki baxımdan əsaslandırılmışdır. Qazmanın mürəkkəb geoloji-texniki şəraiti — süxurların yüksək anizotropiyası, dar dayanıqlı təzyiç pəncərələri, dövrən itkilərinə meyllilik və böyük zenit bucaqlarında quyu gövdəsinin qeyri-sabitliyi — quyuların tikintisinin etibarlılığını və təhlükəsizliyini təmin etməyə yönəlmiş yeni həllərin axtarışını zəruri edir. Qeyd olunmuşdur ki, mövcud layihələndirmə və qazmaya müşayiət texnologiyaları geomekanik, hidravlik və texnoloji amillərin kompleks qarşılıqlı təsirini tam nəzərə almır ki, bu da fəsadlara, qəzalar və qeyri-istehsalat xərclərin artmasına gətirib çıxarır. Bu baxımdan qazma proseslərinin səmərəliliyinin artırılması üçün müasir hesablama metodlarının, o cümlədən maşın öyrənməsinin və sayısal modelləşdirmənin eksperimental tədqiqatlarla inteqrasiyasının elmi əsaslarının işlənməsi aktual hesab olunur.

Göstərilmişdir ki, adaptiv qazma məhlullarının işlənməsi, fəsadların proqnozlaşdırılması və qazmaya müşayiətdə rəqəmsal texnologiyaların tətbiqi sahəsində əhəmiyyətli irəliləyiş əldə olunmuşdur. Bununla belə, quyu gövdəsinin dayanıqlığının kompleks modelləşdirilməsi, trayektoriyanın ayrılığının effektiv idarə olunması, kəmərarası məkanın etibarlı hermetikləşdirilməsi və preventor avadanlıqlarının xidmət müddətinin uzadılması məsələləri hələ də tam həllini tapmamışdır. Süxurların geomekanikasını nəzərə alan qazma məhlullarının seçilməsi üzrə vahid yanaşmanın olmaması, elastomerlərin şişmə proseslərinin kifayət qədər öyrənilməməsi və mövcud preventor konstruksiyalarının məhdudluğu dissertasiyada qoyulmuş tədqiqat vəzifələrinin zəruriliyini təsdiq edir.

Tədqiqatın məqsədi, mürəkkəb şəraitdə quyuların tikintisinin səmərəliliyini və etibarlılığını artırmağa yönəlmiş, həmçinin əsas vəzifələr formalaşdırılmışdır. Bunlara daxildir: quyu gövdəsinin dayanıqlığının proqnozlaşdırılması və trayektoriyanın optimallaşdırılması metodlarının işlənməsi; geomekanik dayanıqlığa aktiv nəzarət üçün qazma məhlullarının tərkibinin öyrənilməsi; elastomer sıxıcıların davranışının eksperimental və sayısal modelləşdirilməsi; ikiqat təsirli genişləndirici və aktiv aşınma

azaldılması funksiyalı universal preventorun konstruktiv həllərinin əsaslandırılması.

Tədqiqatın elmi yeniliyi təqdim olunmuşdur ki, bu da quyu gövdəsinin idarə olunması, qazma məhlullarının tərkibinin təkmilləşdirilməsi və innovativ texniki vasitələrin yaradılması üzrə yeni metodik və texniki həllərin işlənməsində ifadə olunur. Nəticələrin praktik əhəmiyyəti onların mürəkkəb şəraitdə, o cümlədən yüksək minerallaşmış lay sularında məili və üfiqi quyuların qazılmasında tətbiq oluna bilməsi ilə müəyyən olunur ki, bu da fəsad risklərinin azalmasına, avadanlıqların xidmət müddətinin artırılmasına və quyuların tikintisinin iqtisadi səmərəliliyinin yüksəldilməsinə imkan verir.

Müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar, beynəlxalq konfranslarda təqdimatlar və aparıcı yerli və xarici jurnallarda nəşrləri əhatə edən aprobeasiyanın nəticələri, həmçinin aparılmış tədqiqatın tətbiqi xarakterini təsdiq edən patent işləmələri göstərilmişdir.

Birinci fəsildə quyu gövdəsinin dayanıqlığının təmin olunması və küt quyuların tikintisinin optimallaşdırılması üzrə müasir yanaşmaların kompleks icmalı təqdim olunmuşdur, burada üfiqi və böyük meyilli quyulara xüsusi diqqət yetirilmişdir. Göstərilmişdir ki, yüksək zenit bucaqlarında və mürəkkəb anizotrop geomekanikada quyu gövdəsinin dayanıqlığı işlərin texnoloji etibarlılığını və iqtisadi səmərəliliyini müəyyən edir. Əsas dayanıqlıq itirmə mexanizmləri (mexaniki və kimyəvi-mineraloji), onların təzyiq pəncərələri, fırlanma momenti və müqavimət dinamikası, eləcə də dövrən rejimləri ilə əlaqəsi ümumiləşdirilmişdir.

Bərkidici vasitə kimi qazma məhlullarının rolu ətraflı açılmışdır. Təzyiq və filtrasiyaya nəzarət, gil inhibisiyası, mikroçatların hermetikləşdirilməsi və sürtünməyə nəzarət funksiyaları nəzərdən keçirilmişdir. Sulu və qeyri-sulu əsaslı həllər, o cümlədən KCl-polimer sistemləri, invert-emulsiya tərkibləri və hibrid resepturalar sistemləşdirilmişdir. Göstərilmişdir ki, sıxlığın, reoloji parametrlərin və əlavələr paketinin adaptiv tənzimlənməsi həm çökmə riskini azaltmağa, həm də uzun üfiqi sahələrdə şlamın effektiv çıxarılmasını təmin etməyə imkan verir.

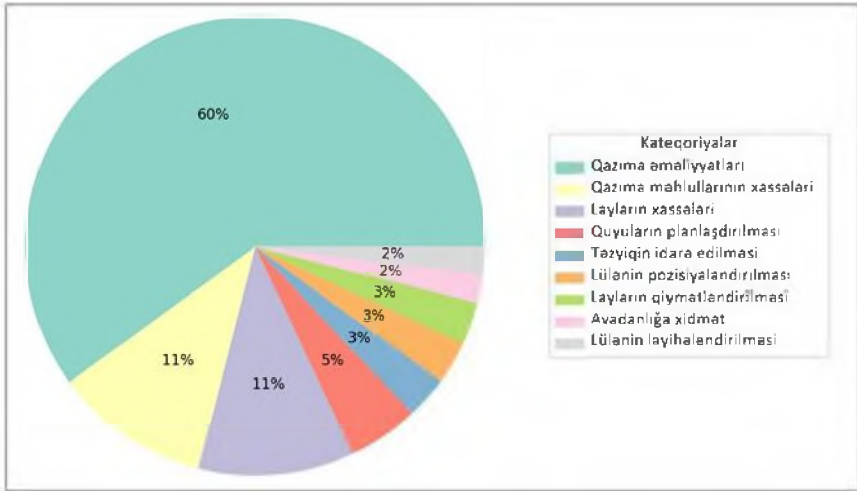
Böyük meyilli quyuların qazılması zamanı fəsadlarla bağlı bölmədə ağırlaşdırılmış və yüksək sıxlıqlı sistemlərin, sürtkü əlavələrinin və quyu təmizləmə proqramlarının tətbiqi üzrə beynəlxalq təcrübə ümumiləşdirilmişdir. Ən tipik çətinliklər 80–90° zenit bucaqlarında gövdə qeyri-sabitliyi, uzun yan budaqlarda şlam çıxarılmasında çətinliklər, fırlanma momentinin artması və diferensial ilişmələr olaraq qalır. Uğurlu təcrübələr ekvivalent dövrən sıxlığının idarə olunması, təmizləmə keyfiyyəti (o cümlədən lifli LCM yuyulmaları), litologiya üzrə bölüşdürmə və operativ geomekanik kalibrəmə ilə bağlıdır. Azərbaycan şelfi üçün əlavə risk amilləri kimi dar təzyiq pəncərələri və qaz-neft-su çıxışlarının ehtimalı göstərilmişdir; perspektivli istiqamətlər inteqrasiya olunmuş hidravlik-geomekanik modellər və yüksək sürətli telemetriya hesab olunur.

Fəsilə mühüm yer maşın öyrənməsi metodlarının neft-qaz sənayesində tətbiqinə ayrılmışdır. Göstərilmişdir ki, mexaniki qazma sürətinin proqnozlaşdırılması üçün neyron şəbəkələr və ansambl metodları ən yaxşı nəticələri verir, hibrid modellər isə şərh edilə bilənliyi və proqnozların dayanıqlığını artırır. Qazma kəmərinin vibrasiyasının diaqnostikası və proqnozu üçün ansamblar və dərin öyrənmə arxitekturaları (CNN/LSTM) xüsusilə zaman dinamikası və kombinə edilmiş sensorlar nəzərə alındıqda effektivdir. Qazma rejimlərinin kompleks optimallaşdırılması məsələlərində çoxmeyarlı formulyarların (qazma sürəti, spesifik mexaniki enerji, vibrasiyalar, fırlanma momenti) əsaslandırılması və ML-surroqatları üzərində işləyən təkamül optimizatorlarının qapalı dövrdə tətbiqi məqsədəuyğun hesab olunmuşdur.

Dövrən itkiləri üçün prediktiv həllər ayrıca nəzərdən keçirilmişdir: qazmayaqədər risk skriningi (geomekanika və litologiya üzrə), WITSML kanalları üzrə “itki/giriş/norma” onlayn deteksiyası və LCM taktikasının seçilməsi üçün itkilərin intensivliyinin təsnifatı. Dar təzyiq pəncərələrində sinif balansının saxlanması, səs-küyün filtrasiyasının və maddi balansın nəzərə alınmasının əhəmiyyəti göstərilmişdir. Qazma məhlullarının reologiyasının proqnozlaşdırılması və idarə olunması üçün yanaşmalar təqdim olunmuşdur: “rəqəmsal reometr” və GPR/ANN modellərindən tutmuş

ML-korrektorlu hibrid hidravlik hesablamalara, eləcə də verilmiş parametrlərə uyğun resept seçilməsi üzrə əks məsələlərə qədər.

Nəşrlərin təhlili (şəkil 1-ə bax) göstərmişdir ki, müasir qazma texnologiyalarının inkişafı əsasən rejimlərin optimallaşdırılması məsələlərinə (təxminən 60%) və qazma məhlullarının və süxurların xüsusiyyətlərinə nəzarətə (22%) yönəlmişdir ki, bu da həmin istiqamətlərin yüksək praktiki əhəmiyyətini əks etdirir.



Şəkil 1. Nəşrlərin tədqiqat mövzuları üzrə paylanması

Eyni zamanda, trayektoriyanın dayanıqlığını, qazma prosesinin idarə olunmasını və məhsuldar intervalların uğurla açılmasını müəyyən edən quyu gövdəsinin layihələndirilməsi və mövqeləndirilməsi problemləri daha az öyrənilmişdir (cəmi 10%-dən az). Bu disbalans maşın öyrənməsi metodlarının və geomekanik modelləşdirmənin quyu tikintisinin planlaşdırılması və müşayiəti proseslərinə inteqrasiyası sahəsində tədqiqatların aktiv inkişaf etdirilməsinin zəruriliyini göstərir. Bu məsələnin həlli mürəkkəb geoloji-texniki şəraitlərdə qazmanın etibarlılığını və səmərəliliyini artırmağa, həmçinin mühəndis qərarlarının dəstəklənməsi üçün kompleks rəqəmsal alətlərin formalaşdırılmasını təmin etməyə imkan verəcəkdir.

Dissertasiyanın ikinci fəslində küt meydançalarının və quyu trayektoriyalarının optimallaşdırılması üzrə intellektual metodlar ətraflı şəkildə nəzərdən keçirilmişdir ki, bunlar müasir rəqəmsal layihələndirmə və qazma konsepsiyasının mərkəzi elementlərindən biridir. Tədqiqatın bu mərhələsinin əsas məqsədi riyazi metodlara, optimallaşdırma alqoritmlərinə və maşın öyrənməsi texnologiyalarına əsaslanaraq stasionar platformaların sayının seçilməsinə, quyuların rəşional qruplaşdırılmasına və onların trayektoriyalarının idarə olunmasına elmi cəhətdən əsaslandırılmış yanaşmanın formalaşdırılması olmuşdur.

Fəsilin əvvəlində göstərilmişdir ki, küt meydançası məhdud zonada yerləşən bir neçə quyu ağız kompleksini ifadə edir ki, bu da kapital və istismar xərclərinin minimuma endirilməsinə və ətraf mühitə ekoloji təsirin azalmasına imkan verir¹. Küt meydançalarının strukturunun optimallaşdırılması birbaşa yatağın geoloji şəraiti, layların hidrodinamik xüsusiyyətləri, əvadanlıqların texniki imkanları və ekoloji tələblərlə bağlıdır. Layihə qərarlarının etibarlılığını artırmaq üçün geoloji-geofiziki modelləşdirmə, hidrodinamik hesablamalar, məkan məlumatlarının təhlili, həmçinin maşın öyrənməsi alqoritmlərindən istifadə olunur.

Xüsusi diqqət verilən məsələ quyular fondu üçün minimal sayda dəniz stasionar platformalarının müəyyən edilməsidir. 27 istismar quyusunu əhatə edən şərti yataq nümunəsi əsasında mərhələli tədqiqat aparılmışdır. Quyu dirlərinin koordinatları haqqında ilkin məlumatlar absis üzrə sıralanmış matris şəklində təqdim olunmuşdur ki, bu da məsələnin həndəsi örtük məsələsi kimi formalaşdırılmasına imkan vermişdir. Birinci mərhələdə bütün işlənmə sahəsi tərəfi $L\sqrt{2}$, olan kvadratlarla örtülmüşdür, burada L maksimal icazə verilən kənaraçıxmaya uyğundur (şəkil 2).

X və Y oxları üzrə kvadratların sayı aşağıdakı düsturlarla hesablanmışdır

$$\left\lfloor \frac{X_{max}}{L \cdot \sqrt{2}} \right\rfloor + 1 = S_x$$

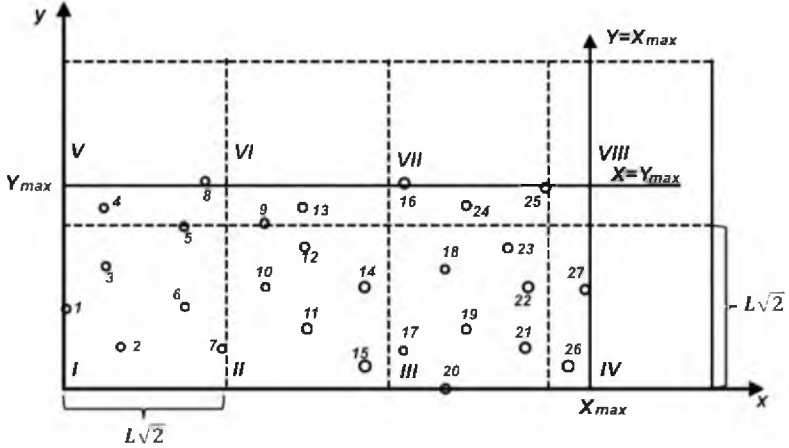
¹ Karsakov, V.A., Tretyakov, S.V., Devyatyarov, S.S., Pasyukov, A.G. Well Construction Capital Investment Optimization during Field Development Conceptual Engineering. Oil Industry Journal. 2013. – Issue 12. – pp. 33–35.

$$\left\lfloor \frac{Y_{max}}{L \cdot \sqrt{2}} \right\rfloor + 1 = S_y$$

harada

S_x – X oxu üzrə kvadratların sayı,

S_y – Y oxu üzrə kvadratların sayı.



Şəkil 2. Kvadratlarla örtülmüş yataq sxemi

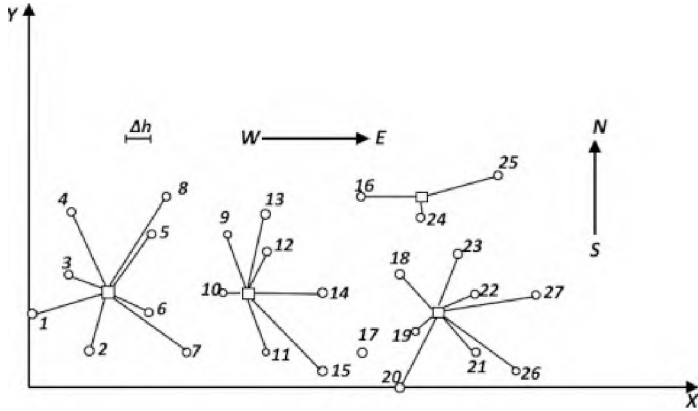
Bizim halımızda $S_x = 4$, $S_y = 2$, alınmışdır ki, bu da platformaların sayının ilkin yuxarı qiymətləndirilməsini vermişdir.

$$N = S_x \cdot S_y = 8$$

İkinci mərhələdə boş altmüxtəlifliklər, yəni heç bir quyu ehtiva etməyən kvadratlar istisna edilmişdir. Təhlildən sonra məlum oldu ki, bir kvadrat boşdur və platformaların sayı yeddiyə qədər azaldılmışdır. Daha sonra kvadratların Δh miqdarında (platforma əsasının ölçüsündən böyük) diskret yerdəyişməsi tətbiq edilməklə örtükləri birləşdirmək və daha iki kvadratı çıxarmaq mümkün olmuşdur ki, bu da platformaların sayını beşə qədər azaltmışdır. Ayrı-ayrı kvadratların yerdəyişməsi, xüsusilə III kvadratın Δh qədər sağa sürüşdürülməsi, 26 nömrəli quyunun örtülməsini təmin etmiş və nəticədə dörd kvadrat və örtülməmiş 27 nömrəli quyu qalmışdır.

Son optimallaşdırma üçün kvadratların mərkəzlərinin koordinatları hesablanmış, bundan sonra 27 nömrəli quyunun digər

quyularla birləşdirilmə imkanı yoxlanılmışdır. Nəticədə dörd platformalı sxem əldə olunmuşdur ki, bu da şəkil 3-də təqdim olunmuşdur. Bu nəticə ilkin qiymətləndirmə ilə müqayisədə platformaların sayının demək olar ki, iki dəfə azalmasını (8-dən 4-ə qədər) göstərir ki, bu da kapital xərclərin əhəmiyyətli dərəcədə azalması deməkdir.



Şəkil 3. Quyuların qruplaşdırılması məsələsinin həlli

Məsələnin riyazi qoyuluşu (1-ci düstur) vasitəsilə ifadə olunmuşdur ki, bu da quyuyu meyilliliyini nəzərə almaqla ayrı-ayrı quyuların qazma dəyərini və platformaların tikinti xərclərini özündə birləşdirir.

$$C = \sum_{r=1}^M \sum_{s=1}^N C_{rs} + \sum_{r=1}^M C_r \quad (1)$$

harada

C_{rs} – quyuların meyilliliyindən (kənaraxıxmasından) asılı olaraq qazma dəyəri;

M – dəniz stasionar platformalarının (DSP) sayı;

N - yatağıdakı quyuların ümumi sayı;

C_r – DSP-nin dəyəri, dənizin dərinliyindən və ona bağlı olan quyulardan asılı olaraq.

Həllərin dəqiqləşdirilməsi üçün МСП mərkəzlərinə bağlı olan qeyri-stasionar koordinat sistemi istifadə olunmuşdur, onların koordinatları isə onlara bağlanan quyuların koordinatlarının orta qiymətləri kimi hesablanmışdır (2-ci düstur).

$$x_r^\theta = \frac{\sum_{s=1}^{n_{ri}} X_s}{n_i} \quad u \quad y_r^\theta = \frac{\sum_{s=1}^{n_{ri}} Y_s}{n_i} \quad (2)$$

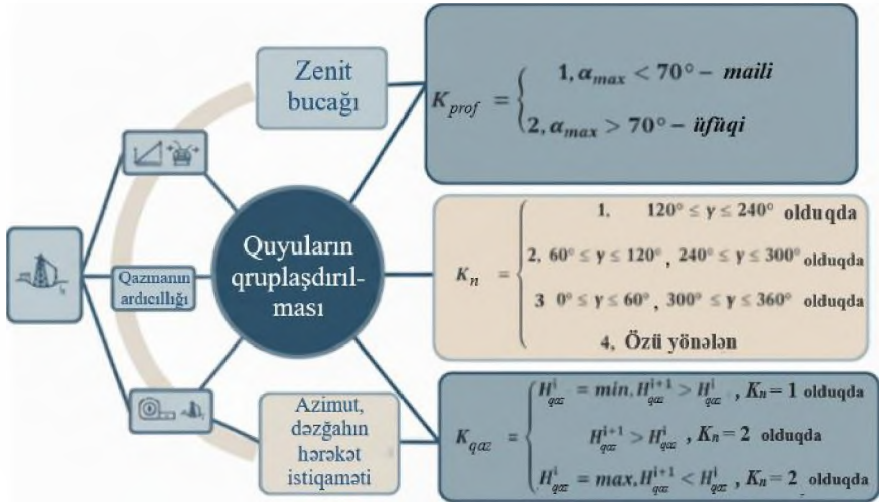
n_{ri} – hər bir platformaya bağlanan quyuların sayı

Həndəsi məhdudiyyətlərə bütün quyuların radiusu R olan çevrələrin daxilində yerləşməsi şərti, çevrələrin kəsişməsi və ya təması tələbi, quyuların eyni azimutta qazılmasının qadağan olunması, həmçinin fondun tam əhatə olunması daxil idi. Alqoritm platformaların addım-addım yerdəyişməsini və şərtlərin yerinə yetirilməsinin yoxlanmasını nəzərdə tuturdu. Əgər şərtlər ödənilirdisə, yeni həll qəbul olunurdu, əks halda yeni iterasiyalar aparılırdı. Beləliklə, 2.1-ci bənddə koordinatların matris analizi, həndəsi diskretləşdirmə və optimallaşdırma prosedurları əsasında platformaların sayının və onların yerləşməsinin optimallaşdırılması məsələsini həll etməyə imkan verən alqoritm ətraflı işlənmişdir.

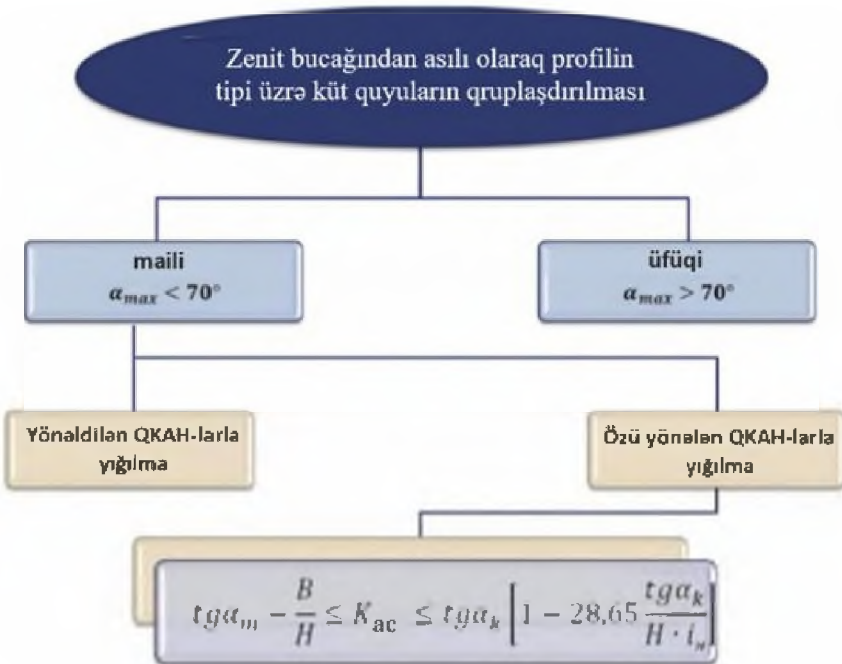
2.2-ci bənddə küt quyularının qruplaşdırılması meyarları sisteminin qısa xarakteristikası verilmişdir. Dörd meyar təqdim olunmuşdur: profil üzrə (zenit bucağından asılı olaraq maili və üfiqi quyular), zarızma texnologiyası üzrə (əyilmiş kəmərlərdən və ya istiqamətləndirilən KNBK-dan istifadə etməklə), qazma ardıcılığı üzrə (bucalı sektorlara bölüşdürmə) və zəburmanın dərinliyi üzrə. Bu meyarların işləməsini nümayiş etdirən sxemlər şəkil 4 və 5-də göstərilmişdir. Həmin meyarlar layihələndirmə prosesini unifikasiya etməyə və gövdələrin kəsişmə ehtimalını azaltmağa imkan verir².

2.3-cü bənddə işlənmiş alqoritmləri reallaşdıran proqram təminatının təsviri verilmişdir.

² Шмончева, Е. Е. Компьютерные программы для расчетов при бурении наклонных скважин. Германия: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2015. ISBN 978-3-659-77390-7.



Şəkil 4. Küt quyularının ümumi qruplaşdırma sxemi



Şəkil 5. Küt quyularının profil üzrə qruplaşdırma sxemi

Sistem avtomatik olaraq profillərin təsnifatını aparır, qazma ardıcılığını və zəburma dərinliyini hesablayır, hesabatlar və cədvəllər formalaşdırır. Bu, mühəndis layihələndirməsinin avtomatlaşdırılmasını və insan faktorunun minimuma endirilməsini təmin edir.

2.4-cü bənddə maili və üfiqi quyuların trayektoriyalarının optimallaşdırılması üçün maşın öyrənməsinin³ tətbiqi ətraflı şəkildə izah olunmuşdur. Bu məsələnin həlli üçün qazma prosesinin qeyri-müəyyənliyini və stoxastikasını nəzərə almağa imkan verən maşın öyrənməsindən istifadə təklif olunmuşdur.

Maili quyuların idarə olunması, adətən, layihə profili ilə müəyyən olunan trayektoriya üzrə həyata keçirilir. Maşın öyrənməsi modelləri üçün optimallaşdırma meyarları kimi qazma vaxtı və quyuyu gövdəsinin qazılması və sementlənməsi ilə bağlı xərclər götürülmüşdür.

Layihələndirmə prosesində istifadə olunan riyazi modellər ya verilmiş yataq üçün xarakterik olan profilin müxtəlif sahələrində quyuyu gövdəsinin əyrilik qanunauyğunluqları ilə (bu halda optimallaşdırma parametrləri modelin əmsalları olur), ya da quyunun əyrilik sahələrini təsvir edən funksiyalarla ifadə oluna bilər. Bu modellər qazma məlumatlarından istifadə etməklə maşın öyrənməsində tətbiq edilə bilər, quyunun optimal trayektoriyasını proqnozlaşdırmağa və istismar xərclərini və vaxtını minimuma endirməyə imkan verir.

Üç optimallaşdırma meyarı təqdim olunmuşdur. Birinci meyar Kr faktiki trayektoriyanın layihə trayektoriyasından kənaraçıxmasını minimuma endirir. Gövdənin verilmiş istiqamətdən yayınması halında, görünür ki, məntiqi olaraq ayrılığın idarə olunmasını quyunun layihə profili ilə müəyyən olunan trasına qaytarmaq kimi həyata keçirmək lazımdır. Çünki layihə profili hər hansı optimallaşdırma meyarına görə icazə verilən çoxluqdan seçildiyindən, açıq şəkildə optimal trası müəyyən etməlidir. Bu halda \bar{U} üçün Kr idarəetmə meyarı aşağıdakı kimi yazıla bilər:

³ Gola, G., Nybo, R., Sui, D. et al. 2012. Improving Management and Control of Drilling Operations with Artificial Intelligence. Paper presented at the SPE Intelligent Energy International, Utrecht, The Netherlands, 27-29 March. SPE-150201-MS. <https://doi.org/10.2118/150201-MS>.

$$Kr(\bar{U}) = \int_{x_0}^x |\bar{y}(x) - \bar{y}^*(\bar{U}, x)| dx \quad (3)$$

Bu düsturda:

x_0 – idarəetmənin başlanğıc nöqtəsinin koordinatı (dərinlik);

x – layihə dərinliyi;

$\bar{y}(x)$ – layihə profilinin tənliyi (\bar{y} – layihə profilinin x dərinliyindəki nöqtəsinin radius-vektoru);

$\bar{y}^*(\bar{U}, x)$ – quyunun faktiki trayektoriyasının tənliyi (\bar{y}^* - cari dərinlikdə trayektoriya nöqtəsinin radius-vektoru).

Optimal idarəetmə \bar{U}_{opt} zamanı Kr idarəetmə meyarı minimal qiymət almalıdır:

$$\int_{x_0}^x |\bar{y}(x) - \bar{y}^*(\bar{U}_{opt}, x)| dx = \min Kr(\bar{U}) \quad (4)$$

İkinci meyar C qazma xərclərini və vaxtını nəzərə alır:

$$C(\bar{U}) = \int_{x_0}^x c[\bar{y}(\bar{U}, x), \bar{U}] \left| \frac{d}{dx} \cdot \bar{y}^*(\bar{U}, x) \right| dx \quad (5)$$

Bu düsturda:

$c[\bar{y}(\bar{U}, x), \bar{U}]$ – qazmanın səmərəliliyini qiymətləndirən və quyunun uzunluğunun vahidinə gətirilmiş göstərici (bir metr keçidin dəyəri, bir metrin qazılma vaxtı və s.).

Üçüncü meyar $Kr_{build\ up}$ zenit bucağının artırılması intervalı üçün təqdim edilmişdir və quyunun istiqamətini icazə verilən çevrə ilə müqayisədə nəzarətdə saxlayır.

Zenit bucağının artırılması intervalı üçün meyar aşağıdakı formaya malikdir:

$$Kr_{build\ up}(\bar{U}) = \begin{cases} |\Delta\varphi(\bar{U})|, \text{ if } |\Delta\varphi(\bar{U})| > \arctg\left(\frac{R}{H}\right) \\ 0, \text{ if } |\Delta\varphi(\bar{U})| \leq \arctg\left(\frac{R}{H}\right) \end{cases}$$

$\Delta\varphi(\bar{U})$ – quyu oxuna tangentin üfüqi proyeksiyası ilə korreksiya intervalının sonunda quyunun dibini layihə nöqtəsi ilə birləşdirən düz xətt arasındakı bucaq, R – icazə çevrəsinin radiusu, H – qalıq inhiraf.

İdarəetmə meyarın minimumunu təmin edən şəkildə axtarılır. Məhdudiyətlər müxtəlif formada qoyulduqda, müxtəlif idarəetmə variantları əldə oluna bilər. Süni intellekt korreksiyanın uzunluğunu onun başladığı nöqtədən qazmanın bitin dəyişdirilməsi zərurəti səbəbilə dayandırılmalı olduğu nöqtəyə qədər olan məsafəyə bərabər

götürən variantı seçə bilər. Bu halda idarəetmə parametrləri kimi əyici qurğunun quraşdırılma bucağı və onun oxlarının əyilmə bucağı qəbul olunur, onların qiymətləri isə meyarın minimallaşdırılması yolu ilə müəyyənləşdirilir.

Əgər əyici qurğunun quraşdırılma bucağı və oxlarının əyilmə bucağı əvvəlcədən seçilərsə, onda idarəetmə parametri kimi reysin uzunluğu götürüləcəkdir.

Korreksiya intervalında son zenit bucağı da seçilə bilər. Bu bucaq ya sabitləşmə intervalındakı zenit bucağına (dörd interval profillə qazmada), ya da az intensiv artım intervalının başlanğıc bucağına (beş interval profillə qazmada) bərabər qəbul edilə bilər. Bu bucağın təyini üçün başqa yanaşmalar da mümkündür. Bu halda idarəetmə parametrləri kimi əyici qurğunun oxlarının əyilmə bucağı və onun quraşdırılma bucağı qəbul olunur, korreksiya intervalının uzunluğu isə müəyyən edilir.

Sadalanan hər bir variantın öz üstünlükləri və çatışmazlıqları vardır. Birinci variantın üstünlüyü ondan ibarətdir ki, o, dolblamanın dayandırılmadan korreksiyaların aparılmasına yönəlib. İkinci variantın üstünlüyü ondan ibarətdir ki, korreksiya zamanı faktiki əyriliyin ümumi istiqamətinin proqnozlaşdırılan istiqamətlə üst-üstə düşmə ehtimalı yüksəkdir. İstiqamətin belə üst-üstə düşməsi quraşdırılma bucağının seçilmiş qiymətlərinin ümumi əyilmə istiqamətinin dəyişdiyi qiymətlərdən maksimal uzaqlaşdırılması ilə təmin olunur. Bundan başqa, ikinci variantda idarəetmənin daha yüksək dəqiqliyi, idarəetmə parametri olan reysin uzunluğunun fasiləsiz dəyişdirilə bilməsi ilə təmin edilir.

Üçüncü yanaşmanın ən mühüm üstünlüyü odur ki, idarəetmə orientasiya olunan KNBK ilə layihədə nəzərdə tutulmuş son nəticənin əldə olunmasına yönəlib və korreksiyanın başlanmasından etibarən zenit bucağının artırılması intervalının bütün trayektoriyası əyici qurğunun təsir müstəvisinin dəyişdirilmədən qazılmalıdır. Bu, bit dəyişdirildikdən və ya ölçmələr aparıldıqdan sonra onun quyunun dibinə quraşdırılmasını asanlaşdırır, həmçinin seçilmiş qazma trayektoriyasının dəqiqliklə saxlanması üçün etibarlılığını artırır.

Məsələnin qoyuluş variantını müəyyən edən yuxarıdakı məhdudiyyətlərdən əlavə, bütün hallarda qazma şəraitini, quyu

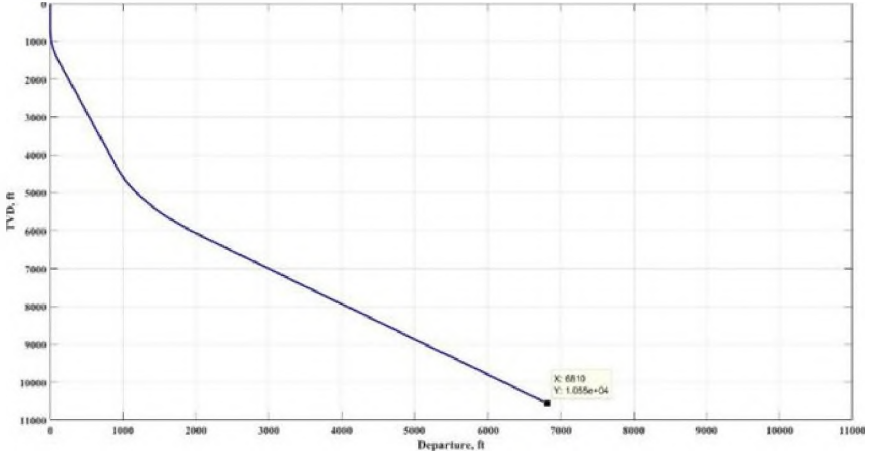
tikintisi texnologiyasının tələblərini və sonrakı istismar şərtlərini əks etdirən məhdudiyətlər də nəzərə alınır (məsələn, zenit bucağının artırılması intervalının təyin olunmuş kəmərlə kolonu altında və ya verilmiş dərinliyə qədər başa çatdırılması, zenit bucağının və ya onun dəyişmə intensivliyinin müəyyən edilmiş qiymətlərinin aşılmasının qadağan olunması və s.).

Maşın öyrənməsi yalnız zenit bucağının artırılması intervalında həyata keçirilir. Təklif olunan meyara əsaslanan idarəetmə ideyası quyunun elə əyrilməsi üzərində qurulub ki, korreksiyanın sonunda onun üfüqi proyeksiyası dövrüyyə çevrəsinə yönəlsin və zenit bucağı sabitləşmə intervalında layihə ilə nəzərdə tutulmuş zenit bucağına bərabər olsun. Bununla yanaşı, zenit bucağının sabitləşmə intervalında və ondan sonrakı azalma intervalında, korreksiyanın son nöqtəsindən başlayaraq, quyu trayektoriyası layihə dibini keçən üfüqi müstəvini layihə dibinə yaxın olmayan nöqtədə kəsməlidir. Əks halda, korreksiyanın sonunda zenit bucağı elə seçilir ki, ondan başlayan təbii azalma intervalından sonra trayektoriya dövrüyyə çevrəsinə düşsün. Əgər layihə profili az intensiv artım və zenit bucağının sabitləşmə intervallarında əlavə xərclərlə bağlıdırsa, meyar layihə profilini nəzərə almamalıdır. Təlim alqoritmində zenit bucağının korreksiyanın sonunda hər hansı əvvəlcədən təyin olunmuş qiymətinə çatması şərti qoyulmur (layihə profili nəzərə alınmaya bilər).

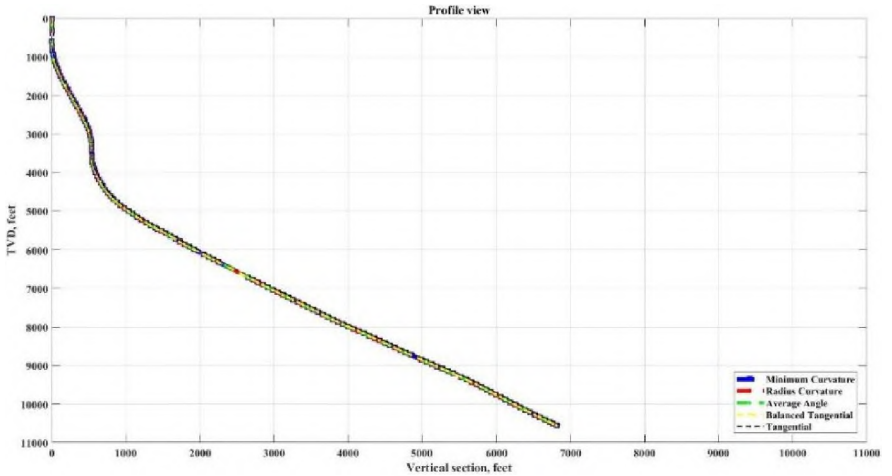
Yeganə tələb budur ki, korreksiya prosesində azimutun dəyişməsi onun sonunda quyunun dövrüyyə çevrəsi istiqamətinə çıxmasını təmin etsin və əldə olunmuş zenit bucağı orientasiya olunan əyici qurğu tətbiq edilmədən layihə dibinə düşməyə imkan versin. Qoyuluşun bütün variantlarında həmçinin qazma şəraitini, quyu aparılması texnologiyasının tələblərini və sonrakı istismar şərtlərini nəzərə alan məhdudiyətlər də daxil edilir.

Yanaşmanın yoxlanılması üçün proqram təminatı faktiki trayektoriya məlumatları əsasında öyrədilmiş və ənənəvi trayektoriya hesablama metodları ilə – tangensial, balanslaşdırılmış, orta bucaq metodu, əyrilik radiusu metodu və minimal əyrilik metodu ilə müqayisə edilmişdir.

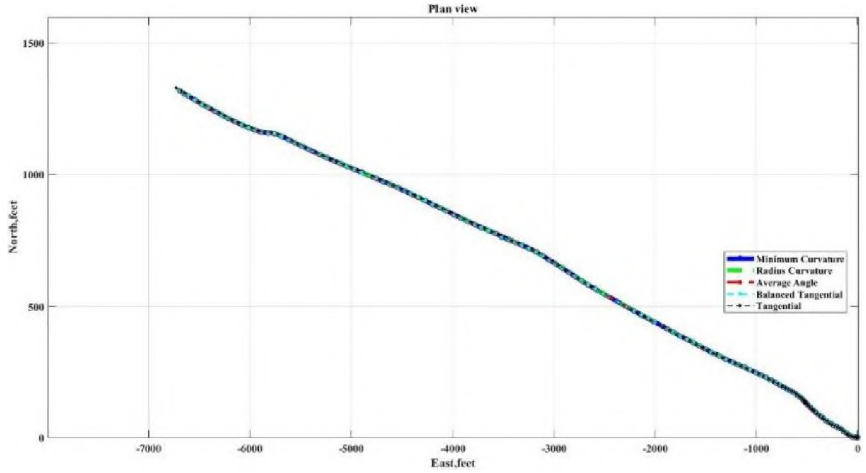
Şəkil 6-da ilkin şaquli proyeksiya, şəkil 7 və 8-də isə Maşın Öyrənməsinin nəticələri göstərilmişdir.



Şəkil 6. Quyunun faktiki trayektoriyası



Şəkil 7. Maşın öyrənməsindən istifadə etməklə beş metod üzrə hesablanmış quyunun şaquli proyeksiyaları



Şəkil 8. Maşın öyrənməsindən istifadə etməklə beş metod üzrə hesablanmış quyunun üfqi proyeksiyaları

Müqayisə göstərmişdir ki, proqnozlaşdırılan trayektoriya ilə faktiki trayektoriya arasında yüksək dərəcədə uyğunluq vardır. Bu, trayektoriyanın optimallaşdırılması məsələlərində maşın öyrənməsi alqoritmlərinin tətbiqinin səmərəliliyini təsdiq edir.

İkinci fəsilin ümumiləşdirilməsində vurğulanır ki, təklif olunan intellektual metodlar stasionar platformaların sayını əhəmiyyətli dərəcədə azaltmağa, quyuların qruplaşdırılması üçün meyarlar sistemini formalaşdırmağa, proqram təminatı vasitəsilə layihələndirmə prosesini avtomatlaşdırmağa və maşın öyrənməsindən istifadə etməklə quyuların trayektoriyalarını optimallaşdırmağa imkan verir. Fəsilin elmi dəyəri həndəsi diskretləşdirmə, optimallaşdırma funksiyaları və trayektoriya idarəetməsini birləşdirən formallaşdırılmış alqoritmlərin işlənməsində ifadə olunur. Metodoloji dəyər küt meydançalarının layihələndirilməsi və trayektoriyaların idarə olunması prosesini standartlaşdırmağa imkan verən vahid meyarlar sisteminin və proqram reallaşdırılmasının yaradılmasından ibarətdir. Praktiki dəyər isə platformaların sayının azaldılması hesabına kapital xərclərin ixtisarı, gövdələrin kəşimlərinin qarşısının alınması, qazma əməliyyatlarının təhlükəsizliyinin artırılması və

trayektoriya idarəetməsində maşın öyrənməsi texnologiyalarının real vaxt rejimində tətbiq imkanlarının yaradılması ilə ifadə olunur.

Dissertasiyanın üçüncü fəslində qazma məhlullarının və kimyəvi əlavələrin quyu gövdəsinin təmizlənməsi proseslərinə və süxurlarla qarşılıqlı təsirinə təsirinə kəmiyyətə qiymətləndirilməsinə yönəlmiş eksperimental tədqiqatların nəticələri ardıcıl şəkildə təqdim olunmuşdur. Fəsil dörd qarşılıqlı bağlı istiqaməti birləşdirir: (1) hidrosietilselülozanın (HES) üfqi sahələrdə şlam “yastığının” formalaşmasına və dayanıqlığına təsirinə öyrənilməsi; (2) HES məhlulunun reologiyasının məqsədyönlü modifikasiyası zamanı şlamın çıxarılma qanunauyğunluqlarının müəyyən edilməsi; (3) müxtəlif yuyucu sistemlərin, o cümlədən yüksəldilmiş temperaturda və duzla doymuş məhlullarda duzlu süxurların kavernoyaranması və yuyulmasının laborator qiymətləndirilməsi; (4) sink sulfatı və natrium florid məhlullarının təsiri altında karbonat süxurlarının mexaniki xüsusiyyətlərində dəyişikliklərin tədqiqi.

3.1-ci bənddə üfqi borularda meyli tənzimlənən şəraitdə şlam “yastığının” hündürlüyünə kəmiyyətə nəzarət metodikası işlənmiş və yoxlanılmışdır. Laborator qurğu yaradılmışdır ki, o, şəffaf işçi hissə (meyil bucağına görə tənzimlənən), ölçü xətti, kompüterə qeydiyyatlı sərfölçən, həmçinin məhlulun hazırlanması və reologiyanın idarə olunması bloklarını əhatə edir. Sınaq sahəsi 6 m uzunluğunda olub, 1,0 m uzunluğunda şəffaf PVC borudan, 1,75 m və 3,25 m polad əlavələrdən və çıxarıla bilən birləşmələrdən yığılmışdır ki, bu da həm vizuallaşdırmanı, həm də hidravlik şəraitin sabitliyini təmin etmişdir. Əsas vəzifə prosesin stasionar vəziyyətə çıxma vaxtını qeyd etmək və verilmiş axın parametrlərində şlam qatının sabit hündürlüyünü ölçmək olmuşdur.

Məhlul HES-in 0; 0,5; 1,0; 2,0 q/l konsentrasiyaları ilə hazırlanmışdır. Nasosun fırlanma tezliyi 5-dən 30 Hz-ə qədər (diskret: 5; 10; 15; 20; 25; 30 Hz) dəyişdirilmişdir ki, bu da sərfin geniş diapazonuna uyğun gəlirdi. Əlavə olaraq, meyil 80' (dəqiqə) qəbul edilmiş, hissəciklərin orta yığıma sıxlığı $2,4 \text{ q/sm}^3$, orta ölçüsü isə 2 mm olmuşdur. Hər bir HES konsentrasiyası üçün nasosun həcmi üzrə kalibrlənməsi məcburi qaydada aparılmışdır. Cədvəl 1-də bütün konsentrasiyalar üçün “tezlik–sərf” üzrə eksperimental asılılıqlar

təqdim olunmuşdur; onlar HES konsentrasiyasının artması ilə sərfin ardıcıl azalmasını nümayiş etdirir ki, bu da effektiv viskozitenin və axına müqavimətin artması ilə bağlıdır.

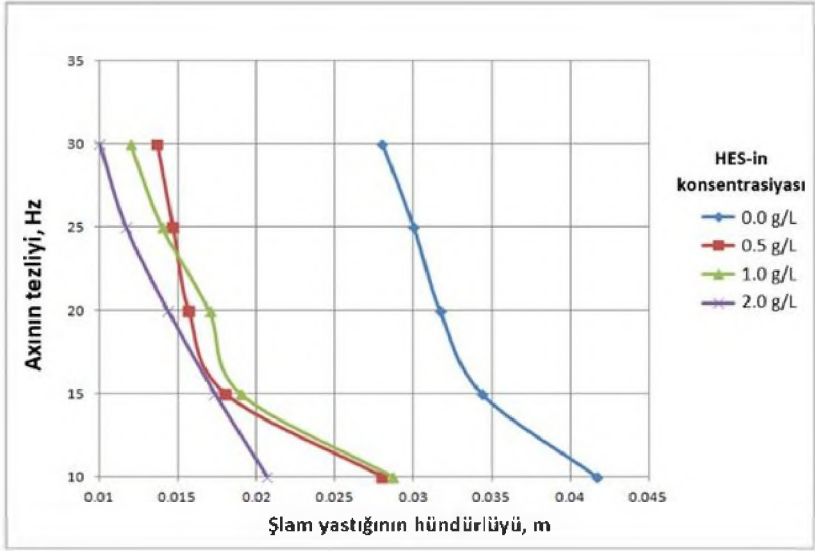
Cədvəl 1

Nasosun kalibrənməsi nəticələri

| Axın tezliyi (Hz) | HES konsentrasiyası (q/L) | | | |
|----------------------|---------------------------|------|------|------|
| | 0,0 | 0,5 | 1,0 | 2,0 |
| | Axın sürəti (L/dəq) | | | |
| 5 | 28,6 | 26,0 | 23,5 | 13,0 |
| 10 | 33,3 | 29,6 | 26,3 | 15,0 |
| 15 | 38,9 | 34,5 | 35,9 | 20,1 |
| 20 | 44,8 | 41,6 | 37,5 | 35,2 |
| 25 | 49,0 | 42,9 | 38,7 | 35,3 |
| 30 | 51,3 | 50,0 | 41,7 | 37,7 |

Kalibrənmədən sonra verilmiş bərk faza payı ilə məhlul üfiqi hissəyə daxil edilmiş, nasosun tezliyi dəyişdirilmiş və borunun aşağı generatriyası boyunca şlam “yastığının” formalaşması müşahidə olunmuşdur. Qatın stasionar hündürlüyünə çatma vaxtı və həmin hündürlük ölçülmüşdür. Verifikasiya üçün eksperimental qiymətlər kanalda bərk fazanın daşınmasının qəbul edilmiş nəzəri sxemi üzrə əldə olunmuş hesablama qiymətləri ilə müqayisə edilmişdir.

Bütün HES konsentrasiyaları üzrə müqayisə seriyaları sərf diapazonu boyunca nəzəriyyə ilə təcrübənin qənaətbəxş uyğunluğunu göstərmişdir. Ümumi müqayisəli diaqram (şəkil 9) iki sabit effekti əks etdirir: (1) HES konsentrasiyasının artması ilə digər şərtlər dəyişməz qaldıqda şlam “yastığının” hündürlüyü azalır, bu isə məhlulundaşıma qabiliyyətinin artması və təmas zonasındakı sürüşmə gərginliklərinin inkişafı ilə izah olunur; (2) sərfin yetərsiz olduğu hallarda “yastığın” hündürlüyü yüksək, artırılmış sərlərdə isə aşağı olur; “yastığın” minimuma endirilməsi üçün optimal sərf diapazonu sabit olaraq 30–40 l/dəq intervalında yerləşir, lakin HES-in sıfır konsentrasiyası (0,0 q/l) halında “yastığın” dağıdılması üçün bir qədər daha yüksək sərf tələb olunur.



Şəkil 9. Müxtəlif HES konsentrasiyaları üçün müqayisəli diaqram

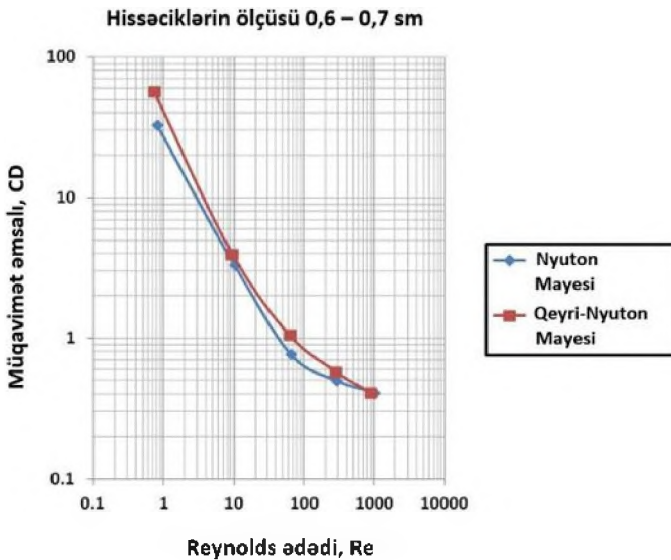
3.1-ci bəndin praktiki nəticəsi təmizləmə rejimlərinin parametrləşdirilməsidir: HES konsentrasiyasının artması ilə sərfi azaltmaq, şlamın çıxarılma səmərəliliyini pisləşdirmədən mümkündür; lakin hər bir “konsentrasiya – şlamın dispersliyi – meyil” kombinasiyası üçün sərfin aşağı sərhədi mövcuddur ki, bu həddən aşağıda “yastıq” sabitləşir və böyüyür.

3.2-ci bənddə şlamın çıxarılması üzrə genişləndirilmiş eksperimental tədqiqat aparılmışdır, burada hissəciklərin hərəkətinə müqavimət əmsalının Reynolds ədəmindən asılılığı Nyuton mayesi (su) və müxtəlif kütlə paylarında HES əlavə olunmuş qüvvə qanunlu (stepen tipli) məhlullar üçün təhlil edilmişdir. Dörd hissəcik fraksiyası (ələk analizinə görə) öyrənilmişdir: 0,6–0,7; 0,4–0,5; 0,2–0,3; 0,05–0,06 sm. Qüvvə qanunlu məhlulların reologiyası Fann viskozimetrində müəyyən edilmişdir ki, bu da hər bir kompozisiya üçün axın qanununun parametrlərini bərpa etməyə və hissəciklərin orta Reynolds ədədlərinə keçməyə imkan vermişdir. Sabit şaquli kanalda (1 m ölçülü şkalı şüşə boru) aparılmış eksperiment təkrarən çökmə sürətinin (bir

metr məsafəni keçmə vaxtı üzrə) ölçülməsinə, sonra isə müqavimət əmsalının və Reynolds ədədinin hesablanmasına əsaslanmışdır.

Uyğun nəticə əldə olunmuşdur: bütün fraksiyalar üçün Reynolds ədədinin artması ilə müqavimət əmsalı azalır; qüvvə qanunlu məhlullarda isə eyni hissəcik ölçülərində Reynolds ədədləri daha aşağı, müqavimət əmsalları isə sudan daha yüksəkdir ki, bu da viskozitenin artmasına və nəticədə hissəciklərin daha güclü ləngiməsinə uyğun gəlir. Şəkil 10-da iri fraksiya (0,6–0,7 sm) üçün birbaşa müqayisəli asılılıq verilmişdir: Nyuton və qeyri-Nyuton mühitləri üçün əyrilər arasındakı fərq artıq laminar sahədə özünü göstərir.

Nəticədə HES məhlulunun reologiyasını tənzimləməklə bərk fazanın daşınmasını məqsədyönlü idarə etməyin mümkünlüyü təsdiqlənmişdir; HES-in optimal konsentrasiyasının və sərfin seçilməsi hissəciklərin asılı vəziyyətdə saxlanmasına və uzun üfiqi intervalların çəkilməsi zamanı belə dayanıqlı şlam “yastığının” formalaşma ehtimalının azaldılmasına imkan verir.



Şəkil 10. Nyuton və qeyri-Nyuton mayələrində 0,6–0,7 sm hissəciklər üçün müqavimət əmsalının Reynolds ədədindən asılılığı

3.3-cü bənddə yuyucu məhlulların duzlu süxurlarla qarşılıqlı təsiri üzrə laboratoriya tədqiqatı aparılmış və kavernoyaranmaya meyillik tərkibdən, nasosun məhsuldarlığından və temperaturdan asılı olaraq qiymətləndirilmişdir. İlk həllolma sınaqları müxtəlif reagentlərlə işlənmiş qazma sistemlərinin filtrlərində aparılmışdır: xromtərkibli liqnin-sulfit kompozisiyaları, nitroliqnin, karboksimetilsellüloza, sulfit-spirt bardası, oksil, həmçinin 40%-li duz tərkibli oksil və yağ komponentləri. Nümunənin zamanla kütlə itkisi ölçülmüşdür. Həllolmanın başlanmasından əvvəl hopma prosesinin (2–3 dəqiqə) induksiya dövrü və həllolma sürətinin mayenin kimyəvi tərkibindən ciddi asılılığı aşkar edilmişdir.

Daha sonra dörd tip yuyucu məhlul nümunələri üzərindən vurma ilə kavernoyaranmanın model sxemi reallaşdırılmışdır (cədvəl 2): gil əsaslı su məhlulu; karboksimetilsellüloza, bentonit və nişasta əlavələri ilə “bazis” məhlul; okzil, alüminium nanopudrası və yağ komponenti ilə nişasta məhlulu; sulfit-spirt bardası, xromtərkibli reagent, kömür-qələvi reagent, nişasta və bentonitlə “bazis” məhlul.

Duzsuz sistemlərdə nasos məhsuldarlığı 5 və 15 l/dəq olduqda daxili yuyulma həcminin zamandan asılılığı müəyyən edilmişdir. Gözlənilmədiyi kimi, məhsuldarlığın artması yuyulma sürətini artırır (məsələn, su–gil məhlulu üçün 15 l/dəq sürətdə 12 dəqiqə ərzində həcm dəyişməsi $\sim 35 \text{ m}^3$ olmuşdur). Yüksək temperaturda ($60 \text{ }^\circ\text{C}$, məhsuldarlıq 15 l/dəq) aparılmış ölçmələr otaq temperaturu ilə müqayisədə yuyulmada orta artım göstərmişdir (müxtəlif məhlullar üçün multiplikativ faktor $\sim 1,02\text{--}1,04$), bu isə istiliyin təsirinin kimyəvi tərkib və hidrodinamik parametrlərlə müqayisədə ikinci dərəcəli olduğunu göstərir.

Məhlullar duzla doyurulduqda (60–100%) yuyulma dəyərləri gözlənilmədiyi kimi azalır; bundan əlavə, №3 tərkibli məhlullar (oksil və alüminium nanopudrası ilə) həm doymamış, həm də doymuş vəziyyətlərdə daha az kavernoyaranmaya meyillik göstərmişdir. Vizual müşahidələr göstərmişdir ki, duzla doymuş sistemlərdə kavernaların kəskin boyu daha bərabər paylanması təmin olunur — bu isə lülənin geometriyası və divarların dayanıqlığı baxımından mühüm xüsusiyyətdir.

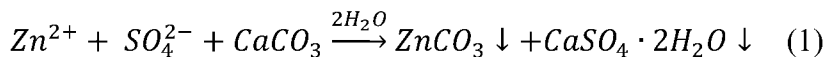
Məhlul növləri

| Məhlulun adı | Əlavələrin miqdarı |
|-----------------------|--------------------|
| Məhlul №1 | |
| Su–gil məhlulu | - |
| Məhlul №2 | |
| Bazis məhlul | 100 |
| KMS | 8 |
| Bentonit gili | 2 |
| Nişasta reagent | 2 |
| Məhlul №3 | |
| Nişastalı məhlul | 100 |
| Okzil | 5 |
| Alüminium nanopudrası | 0.6 |
| Neft | 2 |
| Məhlul № 4 | |
| Bazis məhlul | 100 |
| KSSB | 6 |
| Xrompik | 2 |
| Kömür–qələvi reagent | 2 |
| Nişasta reagent | 1.5 |
| Bentonit gili | 2 |

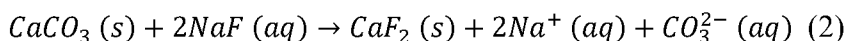
3.3-cü bəndin yekun nəticəsi: geniş duz qalınlıqlarının qazılmasında əsas amil yuyulma temperaturunun artırılması deyil, kimyəvi tərkibin optimallaşdırılması və nasos məhsuldarlığının lokal yuyulmanı istisna edən səviyyədə saxlanmasıdır; duzla doymuş mayələrin tətbiqi kavernoyaranmanı əhəmiyyətli dərəcədə azaldır, funksional əlavələr (oksil, alüminium nanodoldurucular) isə quyu divarlarını əlavə olaraq sabitləşdirir.

3.4-cü bənddə karbonat süxurlarının (əhəngdaşı, təbaşir) sink və flüor ionları olan həll olunan duzlarla təmasda olduqda mexaniki xüsusiyyətlərinin dəyişməsi nəzərdən keçirilmişdir. Məqsəd – matrisa minerallarının istiqamətlənmiş kimyəvi çevrilmələri hesabına möhkəmliyi artırmaq və keçiriciliyi azaltmaqdır. Möhkəmləndirmə mexanizmi kimi məsamələrdə və dənəciklərin təmaslarında çöküntü

əmələgətirmə reaksiyalarından istifadə olunmuşdur. “Sink sulfatı – kalsium karbonat” sistemi üçün smitsonit və gips əmələgətməklə çevrilmə reallaşdırılmışdır:



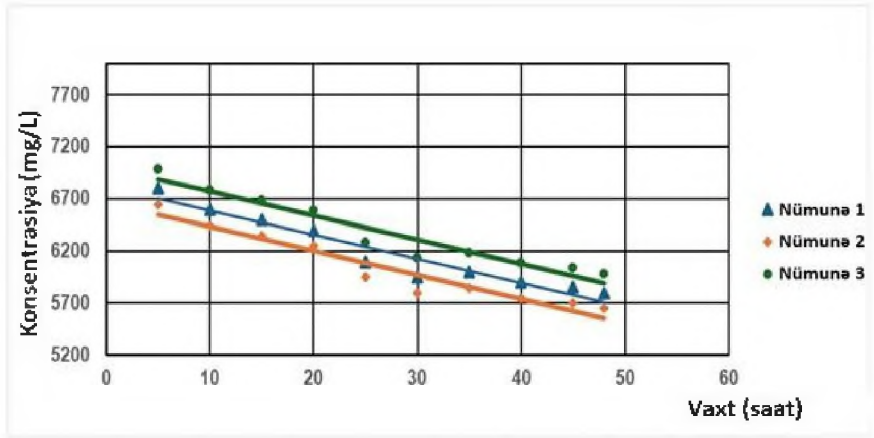
“Natrium florid – kalsium karbonat” sistemi üçün — kalsium floridinin əmələ gəlməsi:



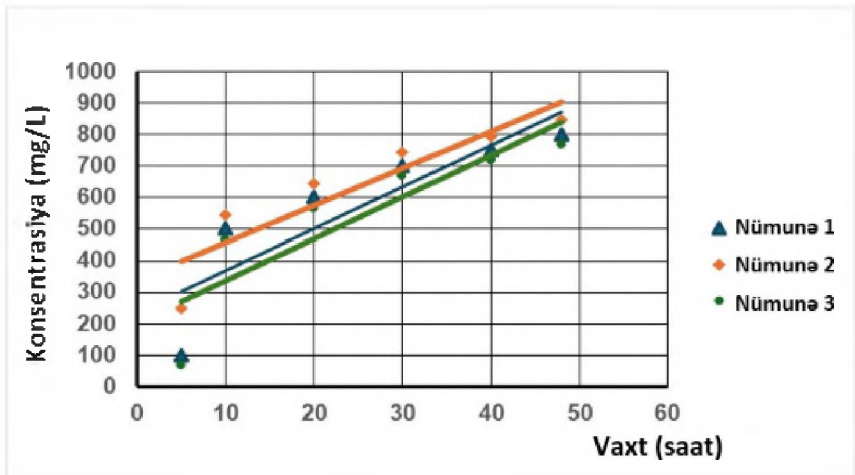
Möhkəmlilik Brinell üsulu ilə qiymətləndirilmişdir (top diametri: 5 mm; yüklənmə: təbaşir üçün 600 N, əhəngdaşı üçün 1200 N; saxlanma müddəti: 10 s). Məsəməliliyin qiymətləndirilməsi üçün süxurların sıxlıq və məsəməlilik analizatoru AP-2 tətbiq olunmuşdur ki, o, açıq məsəməliliyin, həcmi və mineral sıxlığının, nəmliliyin, nümunələrin kütləsinin və həcmnin təyin olunmasına xidmət edir. Nümunələr otaq temperaturunda məhlullarda saxlanılmışdır: ZnSO_4 0,1 M — 48 saat; NaF 0,1 M — 120 saat; bundan sonra onlar yuyulmuş və normativ rejimlərdə qurudulmuşdur. Məhlullarda ion konsentrasiyalarının zamandan asılı olaraq nəzarət ölçmələri göstərmişdir ki, əhəngdaşının ZnSO_4 məhlulu ilə intensiv qarşılıqlı təsiri baş verir: Zn^{2+} konsentrasiyası təqribən 1000 mq/l azalmışdır (şəkil 11), Ca^{2+} konsentrasiyası isə artmışdır (şəkil 12).

Nəticə — əhəngdaşının möhkəmliyində 19% artım və keçiriciliyində 76% azalma müşahidə olunmuşdur ki, bu da məsəmələrdə və təmas nöqtələrində sıx mineral fazanın effektiv formalaşmasına dəlalət edir.

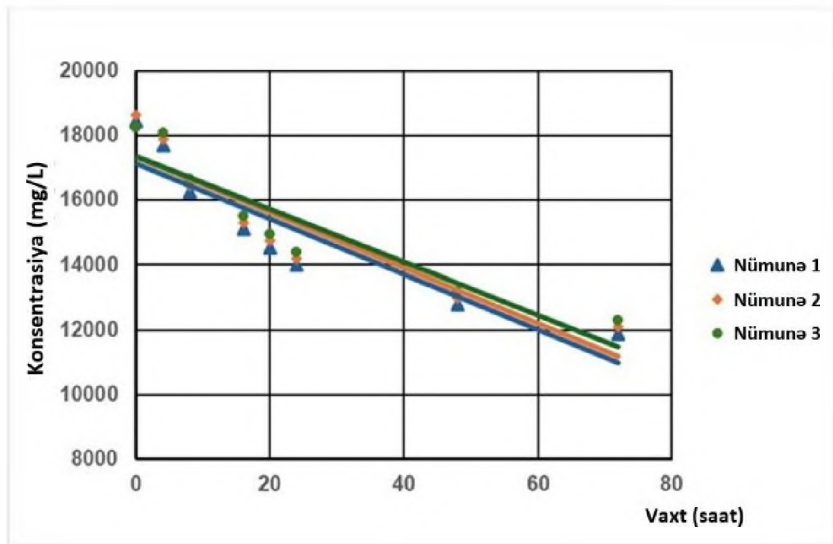
0,1M NaF məhlulunun təsiri zamanı möhkəmliyin nəzərəcarpacaq artımı qeydə alınmamış, keçiriciliyin azalması isə təxminən ~12% təşkil etmişdir. NaF konsentrasiyasının 0,9 M-ə qədər artırılması yalnız orta səviyyədə möhkəmlilik artımına (~3,8%) səbəb olmuş, bu zaman flüorid ionlarının əhəmiyyətli dərəcədə sərfi müşahidə olunmuşdur (təqribən 18 000-dən 11 000 mq/l-ə qədər; şəkil 13).



Şəkil 11. Vaxtdan asılı olaraq, Zn²⁺ ionlarının konsentrasiyasının dəyişməsi



Şəkil 12. Vaxtdan asılı olaraq, Ca²⁺ ionlarının konsentrasiyasının dəyişməsi



Şəkil 13. Vaxtdan asılı olaraq, F⁻ ionlarının konsentrasiyasının dəyişilməsi (NaF 0,9M)

Nəticələrin müqayisəsi göstərir ki, sinktərkibli sistem əhəngdaşının möhkəmləndirilməsində müqayisəolunmaz dərəcədə daha səmərəlidir. Bununla yanaşı, tərkibində sink və flüorid ionları olan məhlullardan istifadə zamanı ciddi ekoloji qoruma tədbirlərinə ehtiyac vardır: quyu kəmərlərinin hermetikliyi, keyfiyyətli sementləmə, məhlulların nəzarətli utilizasiyası və yeraltı və yerüstü suların keyfiyyətinə monitoring tələb olunur. Bu qeydin səbəbi həmin komponentlərin yüksək həllolma qabiliyyəti və icazəsiz olaraq su laylarına düşdükdə toksiklidir.

Beləliklə, 3-cü fəsil “tərkib – rejim – effekt” ardıcılığını əks etdirən əlaqəli mənzərə təqdim edir. 3.1–3.2 bəndlərinin nəticələrinə görə, HES əlavəsi bərk fazanın daşınmasının hidrodinamikasını məqsədyönlü şəkildə dəyişir: 0,5–2,0 q/l konsentrasiyalarda hissəcikləri asılı vəziyyətdə saxlamaq bazis hal ilə müqayisədə daha aşağı sərfərdə mümkün olur, şlam “yastığının” dayanıqlığı isə azalır; bununla belə, hər bir konsentrasiya üçün sərfin aşağı həddi mövcuddur

ki, bu həddən aşağıda “yastıq” sabitləşir və təmizlənmə pisləşir. 3.2-ci bənddə Reynolds ədədinin artması ilə müqavimət əmsalının azalması qanunauyğunluğu kəmiyyətə təsdiqlənmişdir ki, bu da reologiyayı nəzərə almaqla “məhlul–şlam” qarışıqları üçün kritik qaldırma sürətlərinin praktik hesablamalarına keçməyə imkan verir. 3.3-cü bənddə müəyyən edilmişdir ki, duz qatlarının qazılmasında kavernoaranmaya ən güclü təsir göstərən amillər məhlulun kimyəvi tərkibi və onun duzla doymasıdır; temperaturun 60 °C-ə qədər artırılması kimyəvi tərkib dəyişmədən orta təsir göstərir, halbuki duzla doymuş məhlullar və funksional əlavələr yuyulma profilini əhəmiyyətli dərəcədə bərabərləşdirir. 3.4-cü bənddə laborator şəraitdə otaq temperaturunda sink sulfatı məhlulu ilə əhəngdaşının işlənməsinin məsamə sahəsində azhəllolma çöküntülərinin formalaşmasına, möhkəmliyin artmasına və keçiriciliyin kəskin azalmasına gətirib çıxardığı eksperimental olaraq göstərilmişdir; natrium florid isə tədqiq edilmiş konsentrasiyalarda məhdud möhkəmləndirici effekt verir ki, bu da karbonatların divarlarının möhkəmləndirilməsi üçün məhlul tərkiblərinin layihələndirilməsində nəzərə alınmalıdır.

Üçüncü fəsilin yekun nəticələri aşağıdakı kimi formalaşdırıla bilər. Birincisi, üfiqi sahələrdə şlam “yastığının” hündürlüyünün və bərk faza daşınması parametrlərinin birbaşa ölçülməsi üçün laborator metodika işlənmiş və sınaqdan keçirilmişdir; göstərilmişdir ki, 0,5–2,0 q/l diapazonunda HES istifadəsi düzgün seçilmiş sərflərdə (öyrənilmiş şəraitdə istinad koridoru 30–40 l/dəq) şlam qatının hündürlüyünü əhəmiyyətli dərəcədə azaldır və quyru gövdəsinin təmizlənməsinin etibarlılığını artırır. İkincisi, Nyuton və qüvvə qanunlu mühitlər üçün “müqavimət əmsalı – Reynolds ədədi” eksperimental asılılıqları qurulmuş, bu da reologiyayı nəzərə almaqla kritik qaldırma sürətlərinin və dövriyyə rejimlərinin mühəndis hesablamaları üçün aproksimasiya təklif etməyə imkan vermişdir. Üçüncüsü, duz qalınlıqlarının qazılmasında kavernoaranma sürətinə və xarakterinə ən böyük təsiri məhz yuyucu məhlulun kimyəvi tərkibi və onun duzla doyması göstərir; temperatur amili isə 60 °C-ə qədər olan intervalda ikinci dərəcəli rol oynayır. Dördüncüsü, qazma məhluluna məsamələrdə azhəllolma çöküntüləri əmələ gətirən komponentlərin

əlavə olunması hesabına karbonat süxurlarının möhkəmləndirilməsinin prinsipial mümkünlüyü sübut edilmişdir: sink sulfatı məhlulu üçün əhəngdaşının möhkəmliyində 19% artım və keçiriciliyində 76% azalma qeydə alınmışdır, natrium florid məhlulları isə 0,1–0,9 M konsentrasiyalarda məhdud effekt göstərmişdir.

Praktiki nəticə – karbonat süxurlarının divarlarının sabitləşdirilməsi üçün ekoloji tələblərə ciddi əməl etməklə sinktərkibli kompozisiyaların tətbiqi daha perspektivlidir; üfiqi sahələrin təmizlənməsi üçün isə HES-lə modifikasiya olunmuş məhlulların “yastığın” dağıdılmasını təmin edən sərfərdə saxlanması məqsədəuyğundur. Toplanmış məlumatlar mürəkkəb geoloji-texniki şəraitdə qazma məhlullarının tərkiblərinin və tətbiq rejimlərinin seçilməsi üzrə normativlərin hazırlanması, həmçinin bərk fazanın daşınması və quyu divarlarının dayanıqlığı modellərinin kalibrənməsi üçün eksperimental əsas rolunu oynayır.

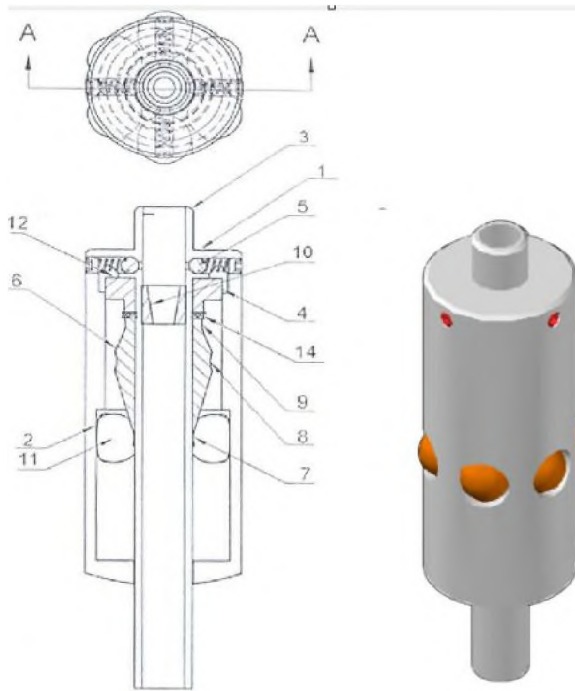
Dissertasiyanın dördüncü fəslində quyuların kəmərlənməsi və sementlənməsinin təkmilləşdirilməsinin texnoloji və eksperimental əsasları nəzərdən keçirilir ki, bu da məhsuldar və su laylarının etibarlı izolyasiyasının artırılması, eləcə də quyuların istismar müddətinin uzadılması baxımından prinsipial əhəmiyyət kəsb edir. 4.1-ci bənddə genişlənən boru⁴ texnologiyasının inkişafı təhlil edilir və mürəkkəb geoloji-texniki şəraitdə monodiametrlı quyuların tikintisi üçün iki-təsirli genişləndiricidən istifadə zərurəti əsaslandırılır. Göstərilir ki, qazma zamanı fəsadların lokallaşdırılmasının ənənəvi üsulları—dövriyyə itkiləri, lülənin qeyri-sabitliyi, diferensial ilişmələr və layın həddindən artıq zədələnməsi—ardıcıl kəmərlənməsinin artırılmasına və labüd olaraq diametrin teleskopik şəkildə kiçilməsinə gətirib çıxarır ki, bu da dərin sularda və güclü maili quyularda kritikdir. Bütöv genişlənən boruların texnologiyası istismar kəmərinin layihə diametrini itirmədən problemlə intervalların izolyasiyasına imkan verir və bununla da teleskopik effekti neytrallaşdırır; onun

⁴ Stringer, J. A., and D. B. Farley. "The Evolution of Expandables: A New Era of Monobore Expandable Well-Construction Systems." Paper presented at the SPE Middle East Oil and Gas Show and Conference, Manama, Bahrain, March 2013. doi: <https://doi.org/10.2118/164171-MS>

sənayedə inkişafı Chevron-un Meksika körfəzində ilk tətbiqindən (1999) başlayaraq quruda və dənizdə geniş tətbiqinə qədər bu həllərin yetkinliyini və tətbiq sahələrinin çoxçeşidliyini təsdiqləyir: perforasiya və sugəlişi intervallarının lokal izolyasiyası, korroziyaya uğramış hissələrin təmiri, genişlənən quyruqların və asqıların quraşdırılması, qum nəzarəti və s. Eyni zamanda sənaye sistemlərində genişlənmənin əsas mexanikası (Halliburton, Schlumberger, Enventure, Weatherford, Baker Oil Tools, READ Well Services) borunun geri qayıtmaz plastik deformasiyasına əsaslanır; burada genişləndirici hidravlik təzyiqlə fərqləndirilməsinin və daxili kolonun dartılmasının təsiri altında aşağıdan yuxarı hərəkət edir. Daimi keçid diametrli (monodiametrli) quyu konsepsiyasını reallaşdırmaq üçün göstərilir ki, borunun aşağı ucunda raştruplaşma formalaşdırıla bilən və daha sonra kolonu daha kiçik diametrə qədər ikinci dəfə genişləndirən, həm aşağıdan yuxarıya, həm də yuxarıdan aşağıya hərəkətdə genişlənmə rejimləri arasında texnoloji keçidi təmin edən genişləndiricilər tələb olunur ki, bu da klassik birtərəfli (birpilləli) genişlənməyə nisbətən prinsipial olaraq daha mürəkkəbdir. Profil örtücülər və genişləndiricilər (şaroşlı/rolikli)⁵, eləcə də çoxsaylı şar və yivlərə malik deformasiyaya uğramış boruların düzəldilməsi qurğuları ilə yerli kəmərləmə vasitələrinin təhlili onların əsas məhdudiyyətlərini üzə çıxarmışdır: genişlənmə bilən materialdan hazırlanmış dairəvi polad kolonların iki hədəf diametrə effektiv genişləndirilməsinin mümkünsüzlüyü və bunun nəticəsi olaraq monodiametrli quyunun tam funksional şəkildə tikintisinin həyata keçirilməməsi. Göstərilən məhdudiyyətləri aradan qaldırmaq üçün dairəvi kəmərlər boruları üçün iki-təsirli yeni genişləndirici kompozisiyası təklif və konstruksiya edilmişdir: orta hissəsində dairəvi pəncərələri olan silindrik korpus, boş ştanq vasitəsilə qazma kolonuna birləşdirilir; korpusun yuxarı hissəsində porşen və geri dönməyən klapınlar vasitəsilə ştanqla əlaqələndirilmiş hidravlik kamera yerləşdirilir; porşenin alt səthində podşipniklər üzərində oxu ətrafında fırlana bilən, dəyişən diametrli formalaşdırılmış konus üç eninə yivlə bərkidilir; korpus pəncərələrində yerləşən polad şarlar konusun yivləri ilə dayaq alır və

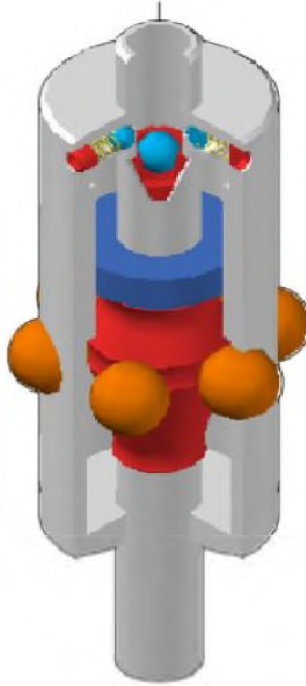
⁵ Abdrakhmanov G.S. Well Casing with Expandable Tubulars. 2nd edition. — M.: VNIIOENG, 2015. — 236 p. — ISBN: 978-5-905999-69-7

qabaqcadan müəyyən olunmuş miqdarda korpustan kənara çıxarılır (şəkil 14).



Şəkil 14. Boru genişləndiricisi ilkin vəziyyətdə

İş prinsipi: ilkin vəziyyətdə şarlar konusun ən kiçik diametrinə uyğun mövqedədir; ştanq yuvasına şarın buraxılmasından və hidravlik təzyiq yaradılmasından sonra porşen konusu aşağı hərəkət etdirir, şarları maksimal diametrlə yivə keçirir və onlar kənara çıxır — bu, korpusun fırlanması və alətin yuxarı qaldırılması ilə eyni vaxtda bir boru intervalı boyu ilkin genişlənməni təmin edir (birinci mərhələ). Məhlulun növbəti verilməsi konusu yenidən yerdəyişdirir, şarları daha kiçik diametrlə yivə keçirir və ikinci çıxıntı qiymətini təyin edir — “fırlanma + qaldırma” kinematikasının təkrarı kolonun qalan hesablanmış uzunluğu üzrə radiusu daha kiçik ikinci genişlənməni formalaşdırır (ikinci mərhələ) (şəkil 15).



Şəkil 15. Boru genişləndiricisi iş vəziyyətində

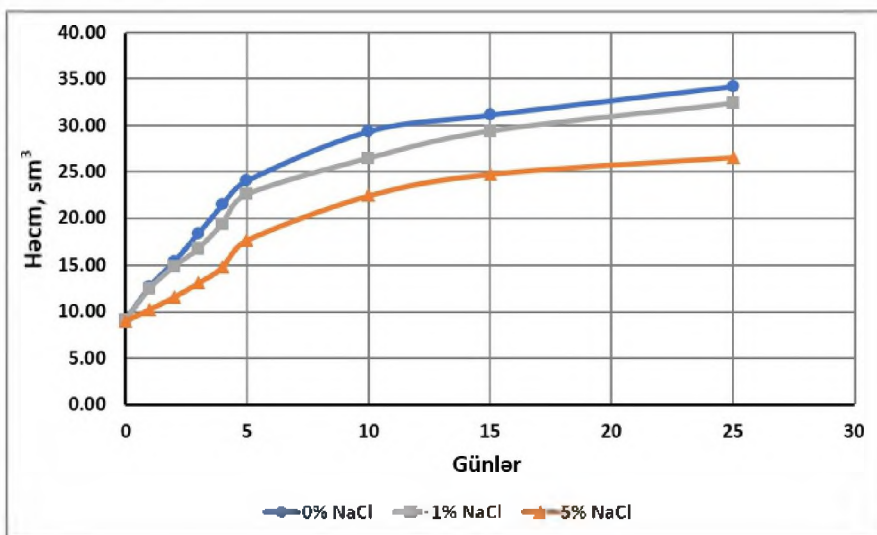
Belə bir kinematika aşağı ucdə raştruplaşmanın formalaşmasını və daha sonra kolonun hədəf “daha kiçik” diametrə qədər gətirilməsini təmin edir ki, bu da mərhələlər dəyişdirilərkən keçid kəsiyinin itirilmədən monodiametrin ardıcıl yığılması üçün tələb olunur. Texnoloji dövr standart tikinti sxeminə inteqrasiya olunur: quyruq üçün sahənin hazırlanması və genişləndirilməsi, genişlənən kolonun alətlə birlikdə endirilməsi, sementləmə, quyruq gövdəsinin ilkin və ikinci genişləndirilməsi, asqının quraşdırılması və elastomer element hesabına sıxlaşdırma, başmağın qazılıb çıxarılması. İki-təsirli genişləndirici ilə monodiametr texnologiyasının tətbiqinin iqtisadi effekti zaman və qazma dəyəri üzrə 30–50% qiymətləndirilir; bu, sement, metal və qazma məhlulu həcmələrinin azalması, şlam çıxarılmasının azalması, eyni məhsuldarlıqda daha az gücə malik avadanlığın tətbiqi, eləcə də kəmərlərinin sayının və enerji sərfiyyatının ixtisarı hesabınadır.

Təklif olunan konstruksiya dairəvi polad kəmərlər kolonlarının ikiqat genişləndirilməsi üçün tələb olunan funksionallığı təmin edir, genişlənən boruların tətbiq sahəsini dərin-sulu layihələrdə daimi diametrlili quyuların tikintisi, habelə problemlili intervalların təmiri və izolyasiyası məsələlərinə qədər genişləndirir.

Beləliklə, proqnozlaşdırılan hidrodinamika, sadələşdirilmiş sualtı və səth bağlanmaları, həmçinin ekoloji və enerji səmərəliliyinin yaxşılaşdırılması ilə monodiametrlili quyuların seriyalı layihələndirilməsi və sənaye reallaşdırılması üçün texnoloji baza formalaşır.

4.2-ci bənddə müxtəlif minerallaşma dərəcələrinə malik qazma məhlullarında pakerlərin şişmə kinetikasının laborator tədqiqatının nəticələri və quyunun divarı ilə təmasın əldə olunma vaxtının qiymətləndirilməsi təqdim olunur. Tədqiqat elastomerin xüsusiyyətlərini real lay və texnoloji şəraitlə uzlaşdırmaq praktiki zərurəti ilə motivasiya olunmuşdur; çünki şişmə sürəti və yekun şişmə dərəcəsi zonaların izolyasiyasının effektivliyini, peretokların məhdudlaşdırılmasını və çoxmərhələli əməliyyat ssenarilərini müəyyənləşdirir. Eksperiment 28 °C temperaturda silindrik elastomer nümunələri üzərində üç mühitdə aparılmışdır: şirin su (0% NaCl), 1% NaCl və 5% NaCl məhlulları. Həndəsi parametrlər (orta diametr və hündürlük) səth mikro-kələ-kötürlüyünün təsirini minimuma endirmək üçün xətlə ölçən alətlə altı təkrar ölçmə ilə müəyyən edilmiş, həcm silindr həcmindən hesablanmış, həcm dəyişikliyini isə ilkin qiymətə nisbətən faizlə ifadə olunmuşdur. İlk beş sutka ərzində fasiləsiz ölçmə seriyası aparılmış, sonra nümunələr 10-cu, 15-ci və 20–25-ci sutkalarda nəzarət nöqtələri ilə sakit vəziyyətdə saxlanılmışdır. Hər rejim üçün “həcm–zaman” və “ ΔV , %-zaman” ayrılıqları qurulmuşdur.

Şirin suda nəticələr sürətli ilkin həcm artımını göstərir: 5-ci sutkada ~163%, 10-cu sutkada ~221%, 25-ci sutkada isə ~274% (Şəkil 16). 1% NaCl məhlulunda ayrının xarakteri oxşardır, lakin böyüklük baxımından yerdəyişmişdir: 5-ci sutkada ~150%, 10-cu sutkada ~193% və 25-ci sutkada ~258% (Şəkil 16). Ən duzlu mühitdə (5% NaCl) isə şişmənin ifadəli ləngiməsi müşahidə olunur: 5-ci sutkada ~95%, 10-cu sutkada ~149% və 20-ci sutkada ~195% (Şəkil 16).



Şəkil 16. Şişmə zamanı silindrik nümunənin həcmində dəyişməsinin vaxtdan asılılığı

Beləliklə, təcrübə anionlu duz məhlulları üçün seçiyəvi olan, osmotik mənşəli şişmənin boğulması effektini təsdiq edir: məhlulun mineralaşması nə qədər yüksəkdirsə, şişmə sürəti və dərəcəsi bir o qədər aşağı olur. Eyni zamanda, hər üç mühit üçün ilk 3–5 sutkada “sürətli” faza və sonrakı ləngimə müşahidə olunur ki, bu da diffuziya-kinetik rejimdən kvazistasionar doymanmaya keçidi göstərir. Eksperimental tədqiqatlar kiçik ölçülü silindrik nümunə üzərində aparılmışdır. Şişmədən sonra real pakerin quyu divarı ilə təmas vaxtını hesablaması üçün xüsusi hesablamalar tələb olunur.

Əvvəlcə pakerin şişmədən əvvəlki həcmi hesablanır. Sonra şişmə zamanı pakerin həcmi hesablanır. Bunun üçün pakerin ilkin həcmi, təcrübədən alınmış nümunənin faizlə həcm dəyişməsi və xüsusi düzəliş əmsalından istifadə edilir. Pakərin həcmi zaman funksiyası kimi alındıqdan sonra pakerin diametri (OD_p) hesablanır (Cədvəl 3).

Diametr tapıldıqdan sonra qrafik qurulur. Şəkil 17-də düz xətt quyu gövdəsinin daxili diametrini ifadə edir. Digər xətlərin bu xətlə kəsişmə nöqtələri şişən pakerin quyu divarı ilə təmas anlarını göstərir.

Cədvəl 3

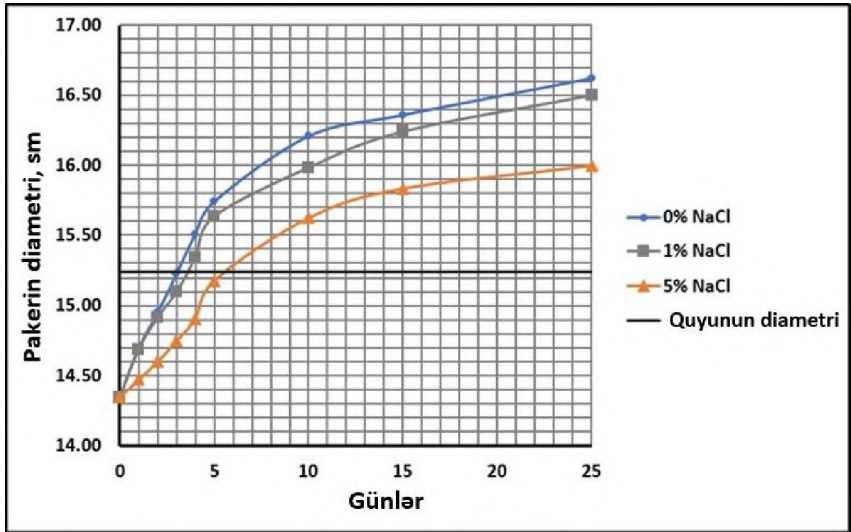
**Real pakerin şişmə zamanı həcmnin və xarici diametrinin
hesablanması natiçələri**

| Günlər | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 10 | 15 | 25 |
|-----------------------------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Quyunun diametri, sm | 15.24 | 15.24 | 15.24 | 15.24 | 15.24 | 15.24 | 15.24 | 15.24 | 15.24 |
| Sulu məhlul (0% NaCl) | | | | | | | | | |
| Həcm dəyişikliyi, % | 0 | 39.43 | 68.68 | 100.83 | 134.79 | 163.14 | 221.40 | 240.60 | 274.30 |
| OD_P, sm | 14.35 | 14.70 | 14.95 | 15.23 | 15.51 | 15.74 | 16.21 | 16.36 | 16.62 |
| 1% NaCl | | | | | | | | | |
| Həcm dəyişikliyi, % | 0 | 38.67 | 64.90 | 85.94 | 114.92 | 150.18 | 193.13 | 225.39 | 258.49 |
| OD_P, sm | 14.35 | 14.69 | 14.92 | 15.10 | 15.34 | 15.64 | 15.99 | 16.24 | 16.50 |
| 5% NaCl | | | | | | | | | |
| Həcm dəyişikliyi, % | 0 | 13.75 | 28.46 | 45.21 | 63.90 | 95.52 | 148.89 | 174.55 | 194.74 |
| OD_P, sm | 14.35 | 14.47 | 14.60 | 14.75 | 14.91 | 15.18 | 15.63 | 15.84 | 16.00 |

Qrafikdən (şəkil 17) görüldüyü kimi, şirin suda hazırlanmış qazma məhluluna yerləşdirilən paker şişdikdən sonra 3 sutkadan sonra quyu divarına toxunacaq. Kütləcə 1% NaCl minerallaşmasına malik lay suyunda olan paker real şəraitdə təxminən 3,5 sutkada divara toxunacaq. Qazma məhlulunda və ya lay suyunda duz konsentrasiyası artdıqca pakerin şişib quyu divarına toxunması üçün tələb olunan müddət 3 sutkadan təxminən 5,5–6 sutkayadək artır.

Əldə olunan nəticələr izolyasiya işlərinin planlaşdırılması üçün birbaşa tətbiqi əhəmiyyətə malikdir: (1) aparılan tədqiqatlar qazma/lay məhlulunun real duzluluğunu nəzərə alaraq açma və sınaq üçün vaxt pəncərəsini təyin etməyə imkan verir; (2) hesablamalar hermetik təmasın əldə olunma vaxtına qiymət verir; (3) “elastomer–məhlul”

uyğunluğunun əvvəlcədən sınaqdan keçirilməsinin kritik əhəmiyyəti təsdiqlənir.



Şəkil 17. Quyunun divarı ilə şişən pakerin təmas müddəti

Tədqiqatın məhdudiyyətləri nümunələrin laborator miqyası və 28 °C izotermik şərtlərlə bağlıdır; təzyiq altında, dövri yükləmələrlə, real temperatur və ion tərkibi qradientlərində (osmotik balans və diffuziyaya təsir edən iki valentli kation və anionlar daxil olmaqla) əlavə sınaqlar tələb olunur. Ümumilikdə, 4.2-ci bəndin məlumatları müxtəlif mineralaşma diapazonunda şişən pakerlərin işləkliyini eksperimental olaraq təsdiqləyir və duzluluğun artmasının həm şişmə sürətini, həm də dərəcəsini ləngitdiyini kəmiyyətcə göstərir; deməli, operativ işə salma tələb olunan qəza ssenarilərində şirin su mühitləri və ya az duzluluqlu duzlu məhlullar üstünlük təşkil etməlidir, yüksək duzluluqda isə artırılmış gözləmə müddətləri nəzərdə tutulmalı və/və ya daha güclü osmotik aktivliyə malik elastomerlər seçilməlidir.

4.3-cü bənddə böyük deformasiyalar və demək olar ki, sıxılmayan material cavabı şəraitində şişən pakerlərin sıxlaşdırıcı elementlərinin və onlarla əlaqəli kontakt qarşılıqlı təsirin hesablamaya təsviri üçün hiperelastik modelin seçilməsi əsaslandırılır.

Eksperimental məlumatların (dartılma/sıxılma, sürüşmə, sərtlik, həcm şişməsi və sıxlığın dəyişməsi qanunauyğunluqları) təhlili və müqayisəli modelləşdirmə əsasında göstərilir ki, Hook qanununa uyğun xətti elastiklik yalnız kiçik deformasiyalar üçün keçərlidir və elastomerlər üçün xarakterik olan böyük uzanmalarda “sərtliyin” qeyri-xətti artımını köklü şəkildə əks etdirmir.

Az parametrlı klassik hiperelastik modellər (Neo-Hookean) dar deformasiya intervalında düzgün təsvir verir; çoxparametrlı Mooney–Rivlin və Yeoh dartılma/sürüşmə diaqramlarının aproksimasiyasını yaxşılaşdırır, lakin kalibrəlmə pəncərəsindən kənara ekstrapolyasiya zamanı həssaslıq göstərir və pakerlər üçün səciyyəvi olan çoxoxlu yükləmə şəraitində yetərincə çeviklik nümayiş etdirmir. Məhdud zəncir-uzanması modelləri (Gent, Arruda–Boyce) fiziki şərhə malikdir, lakin həddi parametrlərin etibarlı identifikasiyası üçün xüsusi sınaqlar tələb etdiyindən mühəndis praktikası üçün rutin tətbiqi çətinləşdirir⁶.

Hook qanunu yalnız kiçik deformasiyalarda tətbiq olunur və real sıxlaşdırıcı elastomerlərin davranışını təsvir edə bilmir. Ogden-1 modeli yaxınlaşdırılmış həll versə də, böyük deformasiyalarda gərginliyin artımını olduğundan az qiymətləndirir. Ogden-2 modeli eksperimental məlumatların daha etibarlı bərpasını təmin etdiyindən, xətti elastikliyin hədlərini xeyli aşan işçi deformasiyalar mövcud olan şişən pakerin modelləşdirilməsi üçün optimal sayılır.

Bu məhdudiyyətlər nəzərə alınaraq, bu işdə Ogden sinifindən modellər seçilmişdir; burada deformasiya enerjisinin sıxlığı əsas uzanmalar λ_i və (μ_i, α_i) parametr cütləri vasitəsilə verilir: Ogden modeli deformasiya enerjisinin sıxlığı funksiyasına əsaslanır:

$$W = \sum_{i=1}^N \frac{\mu_i}{\alpha_i} (\lambda_1^{\alpha_i} + \lambda_2^{\alpha_i} + \lambda_3^{\alpha_i} - 3)$$

⁶ Арсентьев М. Ю., Сысоев Е. И., Балабанов С. В. Исследование механических свойств материалов с топологией ТППМЭ методом компьютерного моделирования // Физика и химия стекла. – 2021. – Т. 47, № 5. – С. 582–589. – DOI: 10.31857/S0132665121050048.

burada W – deformasiya enerjisinin sıxlığıdır,
 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ – əsas uzanma əmsallarıdır,
 μ_i и α_i – eksperimental məlumatlar əsasında müəyyən olunan material parametrləridir.

Modelçəkmə üçün ən çox ABAQUS sonlu elementlər proqram kompleksi istifadə olunur. Sistem geometriyası oxsimmetrik olaraq verilir: elastomer sızdırmazlıq elementi daxili polad boru üzərində vulkanizasiya edilir və ya xarici kəmərlər kolonu, ya da süxur divarları ilə təmasda olur. Bütün komponentlər deformasiyalanan kimi götürülür, kontakt qarşılıqlı təsirlər Coulomb sürtünmə modeli ilə təsvir edilir. Daha kobud süxur səthi üçün sürtünmə əmsalı təxminən 0,4, hamar kəmərlər səthi üçün isə təxminən 0,1 qəbul edilir.

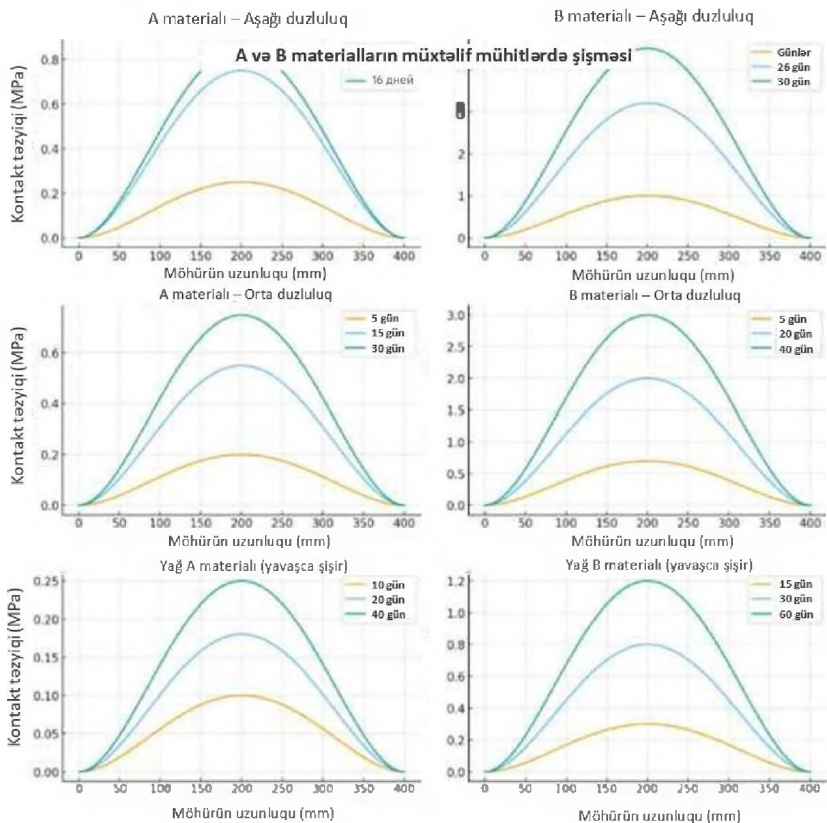
ABAQUS təhlili göstərir ki, kontakt təzyiqli sızdırmazlıq elementi boyunca qeyri-bərabər paylanır.

O, elementin uclarında minimum olur və mərkəzi zonada maksimuma çatır ki, bu da eksperimental müşahidələrlə uyğun gəlir. Sızdırmazlığın qalınlığının və uzunluğunun, eləcə də süxurun mexaniki xüsusiyyətlərinin dəyişdirilməsi pakerin hermetiklik qabiliyyətini proqnozlaşdırmağa və optimal konstruktiv parametrləri seçməyə imkan verir.

Beləliklə, şişən pakərlərin sızdırmazlıq elementlərinin modelləşdirilməsi üçün Ogden-2 hiperelastik modelinin oxsimmetrik hibrid elementlərlə (CAX4RH) birləşməsi əsaslandırılır. Eksperimental məlumatlarla verifikasiya edilmiş alınmış hesablama aləti daha sonra real termobarik və reoloji şəraitdə sızdırmazlığın geometriyasının, sürtünmə əmsalının və şişmə şərtlərinin pakərlərin hermetiklik qabiliyyətinə təsirinin parametrik tədqiqatı üçün istifadə olunur.

4.4-cü bənddə şişən elastomer sızdırmazlıq elementinin müxtəlif mühitlərdə (aşağı və orta duzluluqlu duzlu məhlullar, neft) və müxtəlif quyu şəraitlərində (açıq lülə və kəmərlənmiş lülə) davranışının modelləşdirilməsinin nəticələri təqdim olunur.

Bütün hallarda sızdırmazlıq boyu təzyiqli paylanması uclarda sıfıra enən və mərkəzdə maksimuma çatan səciyyəvi “zəngşəkilli” profilə malikdir (Şəkil 18).



Şəkil 18. Müxtəlif duzluluqu olan mühitlərdə və yağda A və B materiallarının şişməsi zamanı təmas təzyiqinin vaxtla dəyişməsi

Göstərilir ki, B materialı A materialı ilə müqayisədə əhəmiyyətli dərəcədə daha yüksək kontakt təzyiqi yaradır—mühitdən asılı olaraq 2–5 dəfə. Aşağı duzluluqlu suda şişmə prosesi ən sürətli gedir və maksimal təzyiqlər formalaşır, neftdə isə kinetika ləngiyir və son dəyərlər minimal olur. Açıq lülədə təzyiq kəmərləndirilmiş lülə ilə müqayisədə 20–40% yüksəkdir ki, bu da “elastomer–süxur” kontaktında sürtünmə əmsalının daha böyük olması ilə bağlıdır.

Materialların müqayisəsi göstərdi ki, B materialı daha yaxşı hermetiklik qabiliyyətinə malikdir və iş rejiminə daha tez çıxır (t_{50} və t_{90} vaxtları). A materialı daha “yumşaq” işləyir və daha aşağı təzyiqlər

formalaşdırır ki, bu da onu yüksək differensial təzyiqlər zamanı tətbiqini məhdudlaşdırır.

Praktik baxımdan bu o deməkdir ki, aqressiv şərait və yüksək hermetiklik tələbləri üçün material B üstünlük təşkil edir—xüsusilə az duzluluqlu mühitlərdə və açıq lülədə. Neft intervallarında etibarlılığı təmin etmək üçün sızdırmazlıq uzunluğunu artırmaq, ilkin sıxmanı (pre-kompressiyanı) yüksəltmək və ya əvvəlcədən şişirmə texnologiyasından istifadə etmək zəruridir.

Bəşinci fəsil idarə olunan təzyiqlə qazma (Managed Pressure Drilling, MPD) texnologiyasının tətbiqinin aktual məsələlərinə və bu prosesin etibarlılıq və təhlükəsizliyində preventor (BOP) avadanlığının roluna həsr olunmuşdur.

Müasir şəraitdə MPD mürəkkəb və tükənmiş yataqların işlənməsində risklərin minimuma endirilməsi zərurəti ilə xüsusi aktuallıq qazanır. Bu texnologiya dövriyyə təzyiqinə dəqiq nəzarəti təmin edir, quyu daxilində təzyiq qradientini səmərəli idarə etməyə, qazma məhlulu itkilərinin qarşısını almağa və neft-qaz təzahürləri ehtimalını azaltmağa imkan verir.

MPD-nin etibarlılığının əsas elementi layihə parametrlərinə və beynəlxalq standartlara (API Spec 16A, API Spec 53, ISO 13533) ciddi uyğunluqla işləməli olan preventor avadanlığıdır. Preventorun istənilən nasazlığı və ya qəza dayandırılması nəzarətsiz fəvvarə, avadanlıq zədələnməsi və personal üçün təhlükə kimi ciddi nəticələrə səbəb ola bilər.

Sənaye təhlükəsizliyindən əlavə, ekoloji amil də son dərəcə önəmlidir. Qəza xarakterli çıxışlar ətraf mühitin neft və qazla çirklənməsi riski yaradır, bu isə dəniz və quru ekosistemlərinə böyük ziyan, eləcə də sosial-iqtisadi itkilər doğura bilər. Bu baxımdan, preventor qurğularının konstruksiyalarının və iş alqoritmlərinin təkmilləşdirilməsi, həmçinin intellektual monitorinq və diaqnostika sistemlərinin tətbiqi qazma əməliyyatlarının həm texnoloji, həm də ekoloji dayanıqlığının artırılması üçün mühüm vəzifədir.

Böyük dərinliklərdə istifadə olunan sualtı preventorlar hələ də ciddi etibarlılıq problemləri ilə üzləşir ki, bu da avadanlıq nasazlıqlarının sayını və qeyri-istehsal vaxtı ilə bağlı xərcləri əhəmiyyətli dərəcədə artırır.

Beləliklə, preventor avadanlığının inkişafı və fasiləsiz istismarı MPD-nin uğurlu tətbiqinin, sənaye təhlükəsizliyinin yüksəldilməsinin və karbohidrogen ehtiyatlarının mənimsənilməsi zamanı ekoloji risklərin minimuma endirilməsinin zəruri şərtidir.

Bu fəsildə preventor avadanlığının etibarlılıq, adaptivlik və qazma proseslərinin rəqəmsal idarəetmə sistemlərinə inteqrasiya səviyyəsini artırmağa yönəlmiş innovativ konstruktiv həllərə xüsusi diqqət ayrılır.

Praktik hesabatlarda və elmi ədəbiyyatda elastomer sızdırmazlıqlarının aşınmasını azaltmaq məqsədilə qazma borularının səthini cilalaya bilən hidravlik turbinli sistemə malik universal preventorun yaradılması barədə heç bir qeyd yoxdur. Nəzərdən keçirilən işlərin heç biri bu funksiyaya malik qurğunu təsvir etmir və ya qiymətləndirmir. Mövcud tədqiqatlar əsasən idarəetmə sistemlərinin yaxşılaşdırılması, monitoring texnologiyaları, sızdırmazlıq materialları və ya xarici konfigurasiya üzərində cəmlənir, lakin sızdırmazlıqların xidmət müddətini aktiv şəkildə uzada bilən daxili aşındırıcı mexanizmlərə toxunmur. Bu boşluq təqdim olunan araşdırmanın yeniliyini və orijinallığını vurğulayır.

Fırlanan preventorların istismarında qarşılaşılan əsas problemlərdən biri rezin sızdırmazlıqların aşınmasıdır. Bu elementlər sıradan çıxdıqda, onların əvəzlənməsi tələb olunur. Lakin əvəzləmə preventorun və ya fırlanan başlığın sökülməsini tələb edir ki, bu da xeyli vaxt aparır və məhsuldarlığı azaldır. Bu problem xüsusilə yarım dalma qurğuları və qazma gəmiləri kimi ofşor platformalarda kəskinləşir: avadanlığa çıxış çətindir və dayanma çox yüksək xərcə səbəb olur.

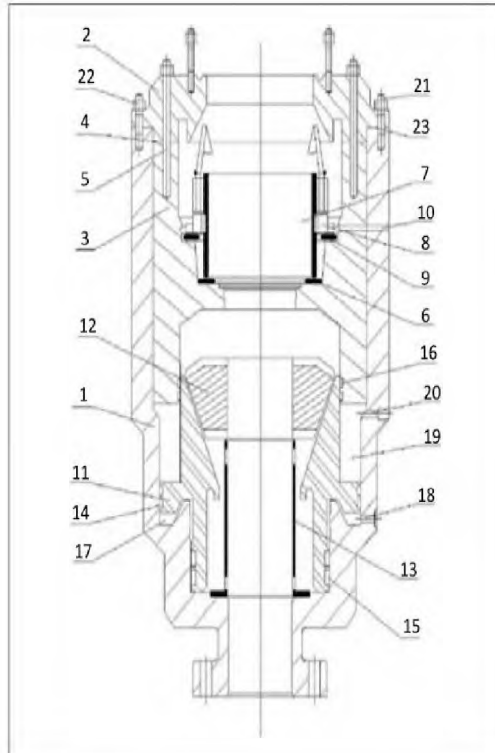
Rezin komponentlərin aşınmasının əsas mənbəyi qazma zamanı fırlanan preventordan keçən qazma borularıdır. Vəziyyət, boruların dəfələrlə birləşdirilib-sökülməsindən sonra səthdə qalan açar izləri ilə daha da ağırlaşır. Bu cür zədələnmələr intensiv istifadə olunan köhnə qazma kolonlarında xüsusilə tez-tez rast gəlinir.

Universal preventorların layihələndirilməsində yeni bir istiqamət təqdim olunur: hidravlik turbinlə cilalama mexanizminin konstruksiyaya inteqrasiyası hesabına sızdırmazlıqların davamlılığının artırılması və qeyri-istehsal vaxtının azaldılması.

İxtiranın əsas məqsədi quyu ağzının hermetikləşdirilməsi üçün nəzərdə tutulmuş təkmilləşdirilmiş universal preventor konstruksiyasının yaradılmasıdır. Bu konsepsiyanın reallaşdırılması preventorun etibarlılığını əhəmiyyətli dərəcədə artıracaq, təmirlərarası müddəti uzadacaq, uzunömürlüüyü yüksəldəcək və servis prosesini sadələşdirəcək.

Konstruksiya universal preventorun hidravlik sistemində əsaslanır.

Təklif olunan universal preventor (Şəkil 19) bir neçə əsas elementdən ibarətdir.



Şəkil 19. Cilalama elementləri olan universal preventorun sxemi

Konstruksiyaya mərkəzi dəlikləri olan yuxarı (2) və aşağı boş hissədən (3) ibarət qapaq və boş gövdə (1) daxildir. Montaj zamanı sızdırmazlığı təmin edən bir contaq (4) bu detallar arasında yerləşir. Hissələr şiftli birləşmə (5) ilə qoşulur.

Qapağın aşağı hissəsinin (3) boşluğunda ayaqlı cilalama elementi (7) podşipniklər (6) üzərində quraşdırılmış və turbinin (8) yivlərinə keçirilib; turbin (8) də podşipniklər (9) üzərində montaj olunmuşdur. Turbin (8) aşağı qapaq hissəsindən (3) və gövdədən (1) keçən kanal (10) ilə hidravlik təzyiq mənbəyinə qoşulur.

Korpusun (1) daxilində, qapağın (3) əsasına təmasda, daxili konusvari səthə malik plunjer (11) yerləşir. Plunjerin (11) içində xarici konusvari səthə malik, metal əlavələrlə möhkəmləndirilmiş və mərkəzi daxili dəliyi olan sızdırmazlıq elementi (12) yerləşdirilmişdir.

Daxili qovşaqların zədələnmədən qorunması üçün preventor gilizə (13) ilə təchiz olunmuşdur. Korpus (1), qapağın aşağı hissəsi (3) və plunjer (11) sızdırmazlıq manjetləri (14, 15, 16) vasitəsilə preventorda iki hidravlik kamera yaradır: işçi kamera (17) korpusdakı (1) kanal (18) vasitəsilə təzyiq mənbəyinə, geri dönüş kamerası (19) isə korpusdakı (1) kanal (20) vasitəsilə təzyiq mənbəyinə qoşulur.

Qapağın yuxarı hissəsi (2) korpusa (1) şpilka (21) və qoz (22) ilə bərkidilir, araya sızdırmazlığı təmin etmək üçün contaq (23) qoyulur.

Boru kolonu ilə qaldırma əməliyyatları aparılarkən işçi maye preventorun idarəetmə stansiyasından korpusun (1) kanalına (18) verilir və işçi kameraya (17) daxil olaraq hidravlik təzyiq yaradır. Bu təzyiqin təsiri ilə plunjer (11) yuxarı qalxır və sızdırmazlıq elementini (12) onun xarici konusvari səthi üzrə sıxır. Nəticədə sızdırmazlıq elementi (12) boru kolonunu bərk qucaqlayır və ya qəza hallarında mərkəzi dəliyi tam bağlayaraq quyu ağzını hermetikləşdirir.

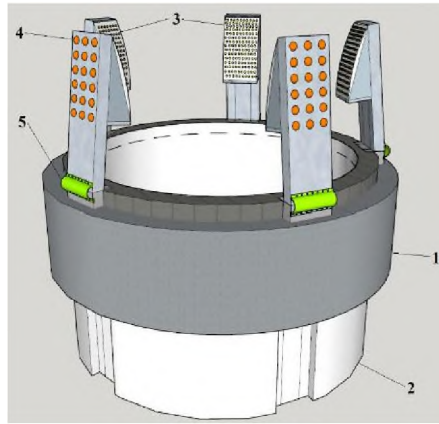
Boru kəmərləri qapalı sızdırmazlıq elementindən (12) keçərkən aşınma ilk növbədə elastomer materialın daxili yuxarı kənarı yaxınlığındakı dar kənar daş verir. Aşınma artdıqca bu zonanın eni tədricən böyüyür və sıxılmış sızdırmazlıq elementinin bütün hündürlüyünü əhatə edənədek genişlənir.

Sızdırmazlıq elementinin (12) aşınmasını azaltmaq üçün nasosdan gələn təzyiq, korpusdan (1) və qapağın aşağı hissəsindən (3)

keçən hidravlik kanal (10) ilə turbinə (8) düzbucaqlı istiqamətdə yönəldilir. Bu, turbinin fırlanmasını təmin edir və fırlanma momentini cilalama elementinə (7) ötürür; nəticədə element fırlanmağa başlayır və boru səthini cilalayır.

Quyu ağzının razı bağını açmaq üçün işçi mayenin təzyiqi geri dönüş kamerasına (19) aparən kana-la (20) verilir. Bu, plunjerin (11) aşağı hərəkətinə və sızdırmazlıq elementinin (12) boşalmasına səbəb olur. Materialın elastikliyi sayəsində sızdırmazlıq elementi (12) ilkin vəziyyətinə qaydır və mərkəzi dəliyi başlanğıc ölçüyə qədər açılır.

Cilalama elementi və onun tərkib hissələri Şəkil 20-də göstərilmişdir.



Şəkil 20. Cilalama elementi

Alətin əsas hissələri: xarici gilizə (1); daxili gilizə (2); sürtünməni azaltmaq üçün arxa tərəfində şarları olan cilalama səthli ləpirlər (3); borunun diametrindən asılı olaraq sıxılıb-genişlənməni təmin edən və cilalama ləpirlərinin iki hissəsini birləşdirən yay mexanizmi (5).

Real qazma əməliyyatlarını imitasiya edən standartlaşdırılmış sınaqlar şəraitində təklif olunan universal preventorun effektivliyi diqqətlə qiymətləndirilmişdir. Metodologiya preventorun sızdırmazlıq elementindən qazma borularının təkrarən keçməsinə real istismar ssenarilərinə maksimal yaxınlıqla təkrarlayan kompleks laborator sınaqları əhatə etmişdir.

Sınaqlar aşağıdakı ardıcılıqla aparılmışdır:

1. Nəticələrin müqayisəliliyini təmin etmək üçün ənənəvi preventorlarda və cilalama mexanizminə malik təklif olunan konstruksiyada istifadə olunanlarla eyni standart elastomer sızdırmazlıq elementləri hazırlanmışdır.

2. Sızdırmazlıq elementləri kritik aşınma həddinə çatana (əvəzləmə tələb olunana) qədər qazma borularının çoxsaylı keçid dövrləri icra edilmişdir. Sınaqlar ayrı-ayrılıqda həm ənənəvi modellər, həm də cilalama mexanizmi olan yeni konstruksiya üçün aparılmışdır.

3. Sınaq stendi yüksək dəqiqlikli yük və fırlanma momenti sensorları ilə təchiz edilmiş, bu da ox qüvvələrinin və fırlanma müqavimətinin obyektiv ölçülməsinə, sızdırmazlıqların deqradasiya prosesinin qeydinə imkan vermişdir.

4. Sınaqlar zamanı nasazlıqlar arasındakı vaxt (MTBF) və texniki xidmət intervalları (sızdırmazlıq elementlərinin əvəzlənməsi) sistemli şəkildə qeydə alınmış, etibarlılığın yaxşılaşması qiymətləndirilmişdir.

Qazma proseslərinin standartlaşdırılmış laborator imitasiya şəraitində təklif olunan universal preventor konstruksiyası ənənəvi modellərlə müqayisədə qiymətləndirilən bütün meyarlarda əhəmiyyətli dərəcədə yüksək göstəricilər nümayiş etdirmişdir. Cədvəl 4-də göstəriləni kimi, cilalama mexanizmi ilə təchiz olunmuş yeni preventor elastomer sızdırmazlıq elementinin kritik aşınma həddinə qədər boruların tam keçid dövrlərinin sayını 35% artırmışdır—standart modeldə 1 000 dövrədən modernləşdirilmiş variantda 1 350 dövrəyə qədər.

Beləliklə, ilk dəfə olaraq, sızdırmazlıq elementlərinə abraziv təsiri aktiv şəkildə azaltmaq funksiyasına malik universal preventorun—daxili hidravlik turbin və cilalayıcı blok tətbiqi hesabına—konstruktiv həlli təklif olunur. Mövcud yanaşmalardan fərqli olaraq, hansılar ki əsasən idarəetmə sistemlərinin təkmilləşdirilməsinə, monitoring texnologiyalarına və ya yeni sızdırmazlıq materiallarının istifadəsinə yönəlmişdir, təklif edilən konsepsiya aşınmanın ən erkən mərhələsində onun qarşısını almağı hədəfləyir. Bu, avadanlığın funksional imkanlarını genişləndirir və preventor qurğularının layihələndirilməsində yeni bir istiqamət açır.

Cədvəl 4**Ənənəvi preventor ilə cilalama elementli təklif olunan konstruksiyanın istismar xüsusiyyətlərinin müqayisəli təhlili**

| Effektivlik göstəricisi | Ənənəvi preventor | Cilalama elementli təklif olunan preventor | Yaxşılaşma (%) |
|---|--------------------------|---|-----------------------|
| Sızdırmazlıq aşınması (kritik aşınmayadək dövrlərin sayı) | 1 000 | 1 350 | +35% |
| Nasazlıqlar arasındakı orta vaxt (saat) | 80 | 92 | +15% |
| Sızdırmazlıqların əvəzlənmə intervalı (gün) | 50 | 61 | +22% |

NƏTİCƏLƏR VƏ TÖVSIYƏLƏR

1. Küt meydançalarının yerləşdirilməsinin və quyuların trayektoriyalarının optimallaşdırılması üçün intellektual metodlar işlənmişdir; bu, məhsuldarlıq itkisi olmadan dəniz platformalarının sayının azaldılmasını mümkün edir [35].

2. Quyuların profil fərqlərini, KNK (BHA) tipini və ilkin qazma ardıcılığını nəzərə alan qruplaşdırma və ayırma metodikası təklif edilmişdir ki, bu da qazmanın təhlükəsiz və rəşional aparılmasını təmin edir [3].

3. Maşın öyrənməsi alqoritmlərinin tətbiqi ənənəvi həndəsi yanaşmalarla müqayisədə optimal trayektoriyaların daha dəqiq proqnozlaşdırılmasını təmin etdiyini göstərilmişdir [1, 34].

4. Eksperimental tədqiqatlarla sübut olunmuşdur ki, hidroksietilsellüloza (HES) ilə modifikasiya olunmuş qazma məhlulları şlam daşınmasını yaxşılaşdırmaqla lülənin təmizlənmə səmərəliliyini artırır; həmçinin yuyucu sistemlərin tərkibinin və minerallaşmasının duzdaşıyan süxurlarda kaverna əmələgəlməsinə həlledici təsiri müəyyən edilmişdir ki, bu da optimal cirkulyasiya sistemlərinin seçilməsi və qazma fəsadlarının qarşısının alınması üçün prinsiplədir [17, 28].

5. Hədəfli kimyəvi emal sayəsində karbonat süxurlar möhkəmləndirilmiş, onların sərtliyi artırılmış və keçiriciliyi azaldılmışdır; bu isə mürəkkəb geotexniki şəraitdə lülə sabitliyinin yüksəldilməsi üçün əsas yaradır.

6. İki-təsirli genişləndiricidən istifadə olunmaqla daimi diametrlə quyuların tikintisi texnologiyası əsaslandırılmış, qazma vaxtı və dəyərində əhəmiyyətli azalma təmin edilmişdir [12, 18, 33].

7. Müxtəlif duzluluğa malik mühitlərdə şişən pakerlərin işləkliyi eksperimental olaraq təsdiqlənmiş, duzluluğun şişmə sürətinə və dərəcəsinə təsir qanunauyğunluqları müəyyən edilmişdir [26, 32].

8. Pakkərlərin sızdırmazlıq elementlərinin hesablanmasında Ogden-2 hiperelastik modelinin seçimi əsaslandırılmış və onların hermetiklik qabiliyyətinin etibarlı proqnozunu təmin edir.

9. Modelləşdirmə və təhlil materialdan və istismar şəraitindən asılı olaraq kontakt təzyiqlərində fərqləri təsdiq etmiş, bu da

konstruksiyanın rasional seçilməsinə imkan vermişdir [32].

10. Hidroturbinli cilalama qovşağına malik universal preventorun yeni konstruksiyası işlənmiş, sızdırmazlıqların davamlılığı artırılmış və qeyri-istehsal dayanma vaxtı azaldılmışdır [31, 36].

Ümumilikdə, əldə olunan nəticələr küt (cluster) maili və horizontal quyuların qazılması və istismarı zamanı səmərəliliyin, etibarlılığın və ekoloji təhlükəsizliyin artırılmasına yönəlmiş elmi cəhətdən əsaslandırılmış həllər sistemini formalaşdırır.

Disertasiya üzrə aşağıdakı işlər çap edilmişdir:

1. Мамедтагизаде, А.М., Шмончева, Е.Е. Самедов, В.Н., Джаббарова, Г.В., Усовершенствование математической модели для управления проводкой горизонтальной скважины. SOCAR Proceedings, Баку, 2011, № 4, с. 32–35. DOI: 10.5510/OGP20110400090.

2. Мамедтагизаде, А.М., Шмончева, Е.Е. Самедов, В.Н., Джаббарова, Г.В. Перспективы разработки современных методико-математических основ управления искривлением. «Neftin, qazın geotexnoloji problemləri və kimya» ETİ, Elmi əsərlər, Bakı, 2011, XII cild, səh. 39–44.

3. Джаббарова, Г.В., Шмончева, Е.Е. Комплексное программное обеспечение для построения куста скважин. Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море, ВНИИОЭНГ, Москва, 2013, № 6, с. 4–6.

4. Мамедтагизаде, А.М., Шмончева, Е.Е. Бабаев, Э.Ф., Джаббарова, Г.В. Анализ перспективных разработок для бурения наклонных и горизонтальных скважин для месторождений Азербайджана. Ашировские чтения, Самара, 2013, Том II, с. 98–103.

5. Мамедтагизаде, А.М., Шмончева, Е.Е. Бабаев, Э.Ф. Двойное расширение обсадных колонн по технологии монодиаметра. Azərbaycan Neft Təsərrüfatı, Bakı, 2013, № 10, səh. 17–20.

6. Мамедтагизаде А.М., Шмончева, Е.Е. Бабаев, Э.Ф., Джаббарова, Г.В. Инновационная техника для бурения и цементирования наклонных и горизонтальных скважин. Материалы Международной Научной Конференции «Неньютоновские системы в нефтегазовой отрасли», Баку, 21–22 ноября 2013, с. 163–165.

7. Мамедтагизаде, А.М., Шмончева, Е.Е. Бабаев, Э.Ф., Джаббарова, Г.В. Практическое применение технологии монодиаметра. ХƏЗƏRNEFTQAZYATAQ-2014 (материалы конф.), Баку, 24–25 декабря 2013, с. 104–110.

8. Шмончева, Е.Е. Технические устройства для безориентированного бурения наклонных скважин. Ашировские

чтения, Самара, 2014, Том I, с. 103–112.

9. Шмончева, Е.Е. Компьютерные программы для расчетов при бурении наклонных скважин. LAP LAMBERT Academic Publishing, Germany, 2015. 172 с. ISBN-13: 978-3-659-77390-7.

10. Шмончева, Е.Е., Донг, Хи Канг. Устройство для двойного расширения обсадных колонн. Ашировские чтения, Самара, 2015, Том I, с. 40–43.

11. Шмончева, Е.Е., Джаббарова, Г.В., Донг, Хиканг, Самаркин, Е.Ю. Техника для строительства наклонных и горизонтальных скважин одного проходного диаметра. ХƏZƏRNEFTQAZYATAQ-2016 (материалы конф.), Bakı, 2016, səh. 98–103.

12. Patent (CN 205605117 U). 油气井用可膨胀套管扩眼工具 (Oil and gas well casing with the expandable reaming tool) / Донг, Хи Канг, Шмончева, Е.Е., Джаббарова, Г.В., 2016.

13. Шмончева, Е.Е., Джаббарова Г.В., Тагиев А.Б. Интеллектуальная система управления траекторией горизонтальной скважины. Булатовские чтения, Краснодар, 2017, Том 3, с. 289–292.

14. Бабаев, Э.Ф., Мамедтагизаде, А.М., Шмончева, Е.Е., Джаббарова Г.В. Исследование технических устройств для крепления обсадных колонн по технологии монодиаметра. Azərbaycan Neft Təsərrüfatı, 2018, № 1, Bakı, səh. 12–17.

15. Мамедтагизаде А.М., Шмончева, Е.Е., Джаббарова Г.В., Абишев А.Г. Расчет расширителя при комплексном способе строительства многоствольных скважин. Известия вузов. Горный журнал, Екатеринбург, 2019, № 1, с. 60–66.

16. Tağıyev, A.B., Şmonçeva, Y.Y. Maili və üfqü quyuların tikintisi üçün intellektual hibrid sisteminin məlumatlar bazası. Azərbaycan Neft Təsərrüfatı, 2019, № 8, Bakı, səh. 15–18.

17. Shmoncheva, Y.Y., Ismaylov, F.N., Dzhabbarova G.V., Bakhshaliyeva Sh.O., Novruzova S.G. Investigation of the Influence of Hydroxyethylcellulose Additive on Drilling Mud for Purification of Horizontal Wellbore. Processes of Petrochemistry and Oil Refining, Azerbaijan, 2019, Vol. 20, № 4, pp. 440–448.

18. Patent (AZ 20160085). Borular üçün genişləndirici /

Salavatov, T.Ş., Şmonçeva, Y.Y., Cabbarova, G.V., Donq, Hi Kang, 11.05.2019.

19. Шмончева, Е.Е., Джаббарова, Г.В. Разработка технических устройств для установки обсадных колонн по технологии монодиаметра. Научные исследования: итоги и перспективы, 2021, Том 2, № 2, с. 14–19. doi: 10.21822/2713-220X-2021-2-2-14-19.

20. Новрузова, С.Г., Алиев, М.Х., Шмончева, Е.Е. Обзор набухающих пакеров. Булатовские чтения, Краснодар, 2021, Том 1, с. 413–415.

21. Abdulmutalibov, T. E., Shmoncheva, Y.Y., Jabbarova, G. V. Advancements in Applications of Machine Learning for Formation Damage Predictions. The SPE Caspian Technical Conference and Exhibition, Baku, 21–23 Nov 2023. DOI: 10.2118/217610-MS.

22. Шмончева, Е.Е., Абдулмуталибов, Т.Э. Экспериментальное исследование эрозии образцов соленосных пород. Современные технологии в нефтегазовом деле – 2023, Уфа, 2023, с. 542–545.

23. Курбанов, Ш.М., Шмончева, Е.Е., Сабитов, Т.Ш. Проблемы при бурении скважин на месторождении Азери-Чираг-Гюнешли. Булатовские чтения, Краснодар, 2023, Том 1, с. 316–318.

24. Шмончева, Е.Е., Абдулмуталибов, Т.Э., Джаббарова, Г.В. Возможность использования больших данных и машинного обучения для повышения эффективности бурения. «Heydər Əliyev və Azərbaycanın Neft Strategiyası» konfransı, Bakı, 23–26 may 2023, s. 1002–1007.

25. Курбанов, Ш.М., Шмончева, Е.Е., Сабитов, Т.Ш. Применение пневматических насосов при испытаниях на целостность пласта. Технологии разработки месторождений и моделирование процессов в нефтегазодобыче. (УГНТУ), Уфа, 2023, с. 206–208.

26. Исмаилов, Ш.З., Шмончева, Е.Е., Джаббарова, Г.В. Экспериментальное исследование поведения набухающих пакеров в буровых растворах с различной концентрацией солей. SOCAR Proceedings, 2023, № 4, с. 142–148.

27. Shmoncheva, Y. Y., Abdulmutalibov, T. E., Jabbarova, G. V. Drilling fluids in complicated conditions: a review. *Nafta-Gaz, Poland*, 2023, № 10, pp. 660–669.
28. Shmoncheva, Y. Y., Novruzova S.G., Jabbarova G.V. Study of The Effect of Drilling Fluids on Samples of Salt-Bearing Rocks. *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences*, 2023, Vol. 4, No. 460, pp. 249–258.
29. Suleymanov, E.M., Novruzova, S.H., Aliyev, I.N., Shmoncheva, Y. Y. Enhancing of spacer fluids compositions for well cementing. *SOCAR Proceedings, Special Issue 2023*, pp. 001–006. <http://dx.doi.org/10.5510/OGP2023SI100860>.
30. Shmoncheva, Y. Y., Shukurlu A. Underbalanced Drilling Technology: Benefits, Limitations, and Case Studies. *Proceedings of Azerbaijan High Technical Educational Institutions (PAHTEI)*, Baku, 2023, Volume 28 Issue 05, pp. 177–185.
31. Евразийский патент №045267B1. Превентор универсальный. Салаев, М.Т., Абдулмуталибов, Т.Э., Шмончева, Е.Е., Джаббарова, Г.В. 2023.
32. Shmoncheva, Y. Y., Jabbarova, G., Mahmudov, G., Hudulov, H. Application of liner systems wellable elastomeric packers for well construction. *PAHTEI*, 2024, Vol. 36 (05) Issue 01, pp. 4–13.
33. Ismayilov Sh. Z., Shmoncheva, Y. Y., Jabbarova G. V. Development of expandable pipe technology: double-acting expander. *Scientific Petroleum, Baku*, 2024, № 1, pp. 44–49.
34. Ismayilov Sh. Z., Jabbarova G. V. Application of machine learning algorithms for optimizing the trajectory of inclined wells. *SOCAR Proceedings, Special Issue 2024*, pp. 89–94. WoS, Scopus. <https://proceedings.socar.az/az/journal/103>
35. Ismayilov Sh. Z., Shmoncheva, Y. Y., Jabbarova G. V. Machine learning optimization of cluster Pad structure and well design. *SOCAR Proceedings*, 2025, № 1, pp. 41–45.
36. Shmoncheva Y. Y., Abdulmutalibov T. E., Jabbarova G. V. Universal BOP with Built-In Grinding Tool // *Nafta-Gaz*. – 2025. – № 7. – С. 474–481. – DOI: 10.18668/NG.2025.07.06.

İddiəçının dərc olunmuş əsərlərində və dissertasiya işində şəxsi payı:

[8, 9] işləri — müstəqil şəkildə (həmmüəllif olmadan) yerinə yetirilmişdir;

[21, 22, 24, 27, 31, 36] — müəlliflərin iştirakı bərabərdir;

[1–7, 10–20, 23, 25, 26, 28–30, 32–36] — məsələnin qoyuluşu, tədqiqatların aparılmasında iştirak, alınmış nəticələrin ümumiləşdirilməsi və təhlili.



Dissertasiyanın müdafiəsi 21 oktyabr 2025-ci il tarixində saat 11:00-də Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən BED 2.03/1 sayılı Dissertasiya Şurasının iclasında keçiriləcək.

Ünvan: AZ 1010. Bakı şəhəri, D. Əliyeva küç., 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 “19” sentyabr 2025-ci il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: 17.09.2025
Kağız formatı: A5
Həcmi: 80145
Tiraj: 30