

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

Əlyazması hüququnda

NEFTQAZÇIXARMA PROSESLƏRİNDƏ HETEROGEN MAYELƏRİNİN TƏTBİQİNİN REOKİNETİK ƏSASLARININ İŞLƏNMƏSİ

İxtisas: 2525.01 – Neft və qaz yataqlarının işlənməsi
və istismarı

Elm sahəsi: Texnika elmləri

İddiaçı: **Eldar Mehdi oğlu Abbasov**

Elmlər doktoru elmi dərəcəsi almaq üçün
təqdim edilmiş dissertasiyanın

AVTOREFERATI

Bakı - 2024

Dissertasiya işi Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi Riyaziyyat və Mexanika İnstitutunun "Maye və qaz mexanikası" şöbəsində yerinə yetirilmişdir.

Elmi məsləhətçi: AMEA-nın müxbir üzvü, texnika elmləri doktoru, professor
Qeyrani Minhac oğlu Pənahov

Rəsmi opponətlər: **Texnika elmləri doktoru, professor Mars Maqnaviyeviç Xasanov**
Texnika elmləri doktoru, professor
Rakiz Məmməd oğlu Səttarov
Texnika elmləri doktoru
Fəxrəddin Səttar oğlu İsmayilov
Texnika elmləri doktoru
Vüqar Məhərrəm oğlu Fətəliyev

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

Dissertasiya şurasının sədri: texnika elmləri doktoru, dosent
Arif Ələkbər oğlu Süleymanov

Dissertasiya şurasının elmi katibi: texnika üzrə fəlsəfə doktoru, dosent
Yelena Evgenyevna Şmonçeva

Elmi seminarın sədri: texnika elmləri doktoru, professor
Arif Mikayıl oğlu Məmməd-zadə

İmzaları təsdiq edirəm:
ADNSU-nun elmi katibi
texnika elmlər namizədi

f.ü.f.d., dosent **N.T. Əliyeva**



İŞİN ÜMUMİ SƏCİYYƏSİ

Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi. Heterogen mayelər, onların geniş yayılmasına, istifadəsinə, neft hasilatı proseslərində müstəsna roluna və spesifik fiziki-kimyəvi xassələrinə görə neft çıxarmada və karbohidrogenlərin nəqlində son dərəcə mühüm yer tutur.

Heterogen sistemlərə qeyri-homogen məsaməli mühitlər, neft və təbii bitum, sementlər və onların əsasında beton qarışıqları, gil məhlulları, həmçinin kimyəvi və faza tərkibinə, fiziki xassələrinə görə kəskin fərqlənən bütün çoxfazlı köpük və emulsiya növləri kimi sistemlər daxildir. Belə sistemlər üçün ümumi olan heterogenlik, yəni qeyri bircinslilik və disperslikdir. Bu amillərin sistemlərdə müxtəlif xassələrinin təzahüründə rolu və hər şeydən əvvəl disperslik artdıqca onların filtrasiyada qeyri-sabitliyinə və layların məsamə ölçüsünün müvafiq olaraq azalmasında təsiri daha əhəmiyyətli olur. Başqa bir amil, axında maye strukturunun dağılması və süzülmə zamanı isə qatılaşması məsaməli mühitdə axmağa qarşı müqavimətin anomal artması şəklində özünü göstərir (Marshall R.I., Metzner A.B., Abdo M.K.). Bu hadisələri məşhur alimlər (Andersen S.İ., Berland C.R., Dennis Siginer, Everett D.H., George B. Benedek, Israelchvili J., Speight J.G., Rehage H., Hoffmann H., Barenblatt G.I., Mirzəcanzadə A.X., I.A., Şvetsov İ.A. və s.) özlüelastiklik, relaksasiya, sistemlərdə xüsusilə intensiv şəkildə baş verən koaqulyasiya prosesi ilə izah olunmalarını qeyd etmişlər. Maye və ya qaz dispersiya mühitlərində dispers faza hissəciklərinin müəyyən kritik konsentrasiyasına çatdıqda, bu təsirlər həcmi mühitdə struktur tor şəbəkəsinin birdən-birə yaranma effektivinə səbəb olur. Belə bir struktur şəbəkənin komponentləri hissəciklərin özləri arasındakı təmaslar yaradır ki, onlar birlikdə bütün həcmdə əmələ gəlir. Bu zaman dağınıq sistem strukturlaşır, yəni tamamilə yeni vəziyyətə çevrilir.

Kollektorlarda maye axın proseslərində tərkibində neftlə yanaşı su, qaz, asfalten, qatran, parafin və mexaniki qarışıqlar və s. olan heterogen mürəkkəb çoxkomponentli qarışıqlar, mövcud hasilat və

boru kəməri ilə nəqliyyatının bəzi növlərinin şərtləri və xüsusiyyətləri ilə müəyyən edilir.

Bununla belə heterogen qarışıqların axınlarını bir sıra mürəkkəbləşdirici amillərlə müşayiət olunurlar: axının komponentləri arasında dalğaların yaranması, süzülmədə komponentlər arasında kütlə mübadilə prosesləri, axında təzyiç rəqslərinin artması, məsamələrdə axının bloklanması. və s., bunlar da bütövlükdə sistemdə qeyri tarazlığın artmasına səbəb olur. Ametov I.M., Barenblatt G.I., Boçarova O.B., Yentov V.I., Jeltov Yu.V., Kosterin A.V., Kuznetsov V.V., Qurbanov A.K., Medvedkov V.İ., Mirzəcənzadə A.X., Niqmatulin R.İ., Nikolaevski V.N., Şahverdiyev A.X., Pənahov Q.M., Süleymanov B.A. və s. bir sıra işləri müxtəlif qoyuluşlarda heterogen flüidlərin qeyri-tarazlıqlı süzülmə məsələlərinə həsr edilmişdir. Bu cür problemləri həll etmək üçün bu günə qədər çoxlu sayda nizamlayıcı alqoritmlər hazırlanmışdır (Tixonov A.N., İvanov V.K., Lavrentyev M.M. və s.). Bunlar neft və qaz hasilatı proseslərinin monitorinqində və idarə olunmasında geniş istifadə olunurlar (Seright R.S., McCool. C.S., Green D.W., Skauge A., Ametov I.M., Basovich I.V., Baxtizin R.N., Məmməd-zadə A.M., Mirzəcənzadə A.X., Pirməmmədov V.G., Səttarov R.M., Pənahov Q.M., Şahverdiyev A.X., Hasanov M.M. və s.). Onların hamısı aprior məlumatların nəzərə alınmasının bu və ya digər üsuluna əsaslanaraq, tərs məsələnin həllinin axtarıldığı sahəni daraltmağa imkan verilməsinə əsaslanır. Çoxkomponentli qarışıqların ayrı davranışının öyrənilməsinə deterministik yanaşmanın istifadəsi hesablama modellərinə daxil edilən parametrlərin sayının artmasına və müvafiq olaraq ilkin məlumatların azlığı səbəbindən hesablama xətasının artmasına səbəb olur (Berland C.R., Everett D.H., Tager A.A., George B. Benedek, Israelachvili J., Andersen S.I., Speight J.G., Rehage H., Hoffmann H., Jalalov Q.İ, Xujayorov B.X.).

Göstərilən tədqiqatın aktuallığını şərtləndirən əsas amillərə hasil edilən karbohidrogenlərin ümumi həcmində çətin çıxarılan neft ehtiyatlarının xüsusi çəkisinin çox olması, texnoloji innovasiyaların zəif tətbiqi, ekoloji cəhətdən həssas neft regionlarında işlənmə

şərtlərin çətin olması və nəhayət, ənənəvi üsullarla yataqların işlənməsində neft veriminin azalması aid edilir.

Mövcud vəziyyətin vacibliyini nəzərə alaraq və həmçinin karbohidrogen yataqlarının işlənməsində heterogen sistemlərin istifadəsinə dair biliklərin mövcud vəziyyətinin əhəmiyyətinin dərəcəsinə görə dissertasiya işində aktual problem kimi çətin iş şəraitində heterogen mayelərdə reokinetik effektlərin öyrənilməsi və neftvermənin artırılması üsulları kimi laydaxili qaz yaratma texnologiyaların işlənilib hazırlanması məsələləri qoyulmuşdur.

Tədqiqatın obyektı və predmeti. Tədqiqatın əsas obyektı heterogen mayelərdə reokinetik təsirlər və bunun əsasında laydaxili karbon qazının generasiyası ilə neftlə doymuş lay təbəqələrinə təsir etmək üçün innovativ sənaye texnologiyalarının yaradılmasıdır. Tədqiqatın predmeti, heterogen məsaməli mühitlərdə laydaxili karbon qazının generasiyasından yaranan qeyri tarazlıqlı anomallıqların neftvermənin artırılması metodu kimi istifadəsi və qeyri biricins neftli laylarda sıxışdırmada hidrodinamik tənzimləmənin təmin edilməsidir

Tədqiqatın məqsədi və vəzifələri. Neft qaz hasilatı proseslərində heterogen mayelərdən istifadənin reokinetik prinsiplərinin işlənilib hazırlanması, onların mürəkkəbləşdirici amillər nəzərə alınmaqla tənzimlənməsi, termodinamik şəraitdə maye karbohidrogen yataqlarında məsamələrin qazla doyma şərtlərinin müəyyən edilməsi və qaz yaradan sistemlərlə laya təsir etmək üçün texnoloji cəhətdən səmərəli sənaye texnologiyalarının yaradılması.

Tədqiqat metodları. Elmi iş nəzəri və tətbiqi xarakter daşıyır. Dissertasiya işində qarşıya qoyulan problemlər laboratoriya eksperimental tədqiqatların aparılması, nəticələrin riyazi emalı və proqram təminatı və ehtimal statistik metodlardan istifadə edilməklə əldə edilən məlumatların təhlili yolu ilə həll edilmişdir. Qaz yaradan heterogen sistemlərin vəziyyətinin diaqnostikasının işlənilib hazırlanmış üsulları model və praktiki nümunələrdən istifadə edilməklə sınaqdan keçirilmiş və sənaye səmərəliliyinin sübut olunması işlənməmiş innovativ texnologiyalarla təsdiq edilmişdir.

Müdafiyə çıxarılan əsas müddəalar:

1. Heterogen karbohidrogen sistemlərinin reoloji xüsusiyyətləri və onların tənzimlənməsi üsulları. Xarici şəraitlərə görə tərkibi dəyişən tiksotrop maye axınları, qaz yaranan tərkiblərlə prosesin qeyri-tarazlığının tənzimlənməsi üsulları.

2. Mürəkkəb karbohidrogen mayələrinin qeyri-tarazlıq xassələrinin tənzimlənməsi üsulları. Lay flüidlərində qaz qabarcıqlarının ayrılması və həlli intensivliyinin təsiri nəzərə alınaraq qaz əmələ gəlməsinin kinetikasının təsviri alqoritmləri.

3. Karbon qazının əmələ gəlməsi prosesində heterogen mayələrdə reokinetik effektlər. Heterogen neft və qaz laylarından qalıq karbohidrogen ehtiyatlarının çıxarılmasına yönəlmiş karbon qazının (CO_2) laydaxilində yaranmasının metodoloji əsasları.

4. Karbon qazının layda yaradılması ilə qalıq neft ehtiyatlarının çıxarılmasının texnoloji aspektləri. Məsələli mühitlərdə qazəmələgətirici proseslərdə yüksək keçiricilik zonaların izolə edilməsinin formalaşması zamanı qaz ayırıcı məhlullarda köpükləndirici reagentlərin və inhibitor əlavələrin konsentrasiyalarının optimallaşdırılması üsulları.

5. Çətin çıxarılan neft ehtiyatlarının çıxarılmasında sənaye səmərəliliyi sübut olunmuş neftvermənin artırılması və hasilatının intensivləşdirilməsi üçün reo-qazkimya texnologiyalarının həyata keçirilməsinin texniki və texnoloji əsasları.

6. Karbon qazının (CO_2 -nın) vurulması əsasında yaradılan üsulların texniki və texnoloji səmərəliliyinin qiymətləndirilməsinin metodoloji əsasları.

Tədqiqatın elmi yeniliyi.

1. Heterogen tərkibin tiksotrop strukturlaşması prosesində dinamik tarazlığın təzahürü kimi neftin özlülüyünün rəqsi dəyişməsi aşkar edilmişdir. Fazalararası qaz formalaşması ilə tədqiq olunan sistemlərin reoloji xüsusiyyətlərinin istiqamətləndirilmiş tənzimlənməsinin mümkünlüyü göstərilmişdir.

2. Heterogen lay strukturları ilə təmsil olunan neftlə doymuş layda hidrodinamik təsir metodu kimi ilk dəfə olaraq karbon qazının alınması üçün kompozisiyalar və reo-qazkimyəvi üsul işlənilib hazırlanmışdır.

3. Müxtəlif termodinamik şəraitdə heterogen məhlulların qaz əmələ gəlməsinin kinetikasi qiymətləndirilmiş və məsamədaxili “nəm” karbon qazının əmələ gəlməsi tədqiq edilmişdir.

4. Reoqazkimyəvi texnologiya işlənib hazırlanmış, tədqiq və tətbiq edilmişdir. Bu texnologiyada təsirə məruz qalan hasilat və, vurucu quyularda yüksəkkeçiricilik intervalların izole edilməsi üçün nəzərdə tutulmuşdur ki, növbəti mərhələdə sıxışdırmaq üçün vurulan su, neftlə doymuş immobil zonalarını işlənmə sisteminə qoşa bilsin

5. Sanki qaynayan qaz-maye tərkibli aralığın generasiyası əsasında neftverməni artırmaq üçün innovativ texnologiya yaradılmışdır. Eksperimental olaraq göstərilmişdir ki, lay şəraitində qaz əmələ gəlmə prosesi termokimyəvi reaksiya nəticəsində mühitdə təzyiq və temperaturun artması ilə müşayiət olunur.

6. İlk dəfə olaraq, müəyyən termobarik şəraitdə yaranan superkritik halda lay şəraitində əmələ gələn karbon qazı CO₂-dən istifadə etməklə məsaməli mühitin suffoziyalı təmizlənməsi üsulu işlənib hazırlanmışdır.

Tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti.

1. Dissertasiya işində əldə edilmiş nəticələr neftqaz hasilatı və nəqli üçün tətbiqini tapmış texnoloji proseslərin həyata keçirilməsində mürəkkəbləşdirici amillər nəzərə alınmaqla, heterogen qaz-maye tərkiblərin qeyri-tarazlıqlı xassələrinin tənzimlənməsi üsullarını işləyib hazırlamağa imkan vermişdir.

2. Laydaxili qaz əmələ gəlmə və reaksiya girən tərkiblərin konsentrasiyası və suda məhlulların duzluluğundan asılı olaraq qaz əmələ gəlməsinin kinetikasının qiymətləndirilməsi metodu işlənib hazırlanmışdır.

3. Neftvermənin artırılması və neft hasilatının intensivləşdirilməsi proseslərində karbon qazının laydaxili generasiyasından istifadə etməyə yönəlmiş Azərbaycan Respublikasının, Rusiya Federasiyasının və ABŞ-ın İxtira Patentlərlə qorunan texnoloji üsullar və texnologiyalar kompleksi hazırlanmışdır.

4. Nəzəri və eksperimental tədqiqatların nəticələri əsasında işlənmiş sənaye texnologiyaları Azərbaycan, Rusiya Federasiyası,

ABŞ, Çin Xalq Respublikası və Vyetnamın yataqlarında tətbiq olunmuşdur.

Alman nəticələrin həyata keçirilməsi.

1. Aparılmış bir sıra kompleks nəzəri və laboratoriya tədqiqatları əsasında hazırlanmış texnologiyalar 2002-2023-cü illərdə Azərbaycan, Rusiya Federasiyası, ABŞ və Çinin bir sıra sahələrdə həm kontinental və həm də dənizdə neft hasilatı şəraitində tətbiqini tapmışdır.

2. İnnovasiya və investisiya layihələri çərçivəsində Rusiya Federasiyasında Samotlor yatağının AB1-3, AB4-5 və BV8 lay sahələrində, Novo-Pokurskoye yatağında YU-(1) və YU-(2) laylarında. və həmçinin Zhongyuan Oil field Company, Sinopec (ÇXR), Petrochina, CNOOC yataqlarında. Azərbaycan Respublikası Dövlət Neft Şirkətinin (ARDNŞ) neft yatağında təklif olunan yeni üsulların tətbiqləri həyata keçirilmişdir.

Bohai Bay (ÇXR) yatağının pilot sahəsində (bir vurucu quyu) əməliyyatından sonrakı dövr üçün ümumi əlavə neft hasilatı 7000 ton təşkil etmişdir.

3. Vatyeqan yatağının pilot sahəsində layihənin həyata keçirilməsində texnoloji səmərəlilik təsdiqlənmiş və metodun geniş tətbiqinin məqsədəuyğunluğu göstərilmişdir. Bütövlükdə sahə üzrə təsir altında olan 21 hasilat quyusundan əlavə neft hasilatı 5759 ton (cari neft hasilatında 12,8% artım) qeydə alınmışdır.

4. Muskogee yatağının üç vurucu quyusunda - TR-2-15, 3TW-25, TR2 W-11 (Oklahoma, ABŞ) sınaq işləri aparılmış və nəticədə ətrafdakı hasilat quyularında neft hasilatının artırılmasında müsbət nəticələr əldə edilmişdir.

5. “Binəqədi Oil”, “Abşeron Oil”, “Karasu Oil” neft şirkətlərinin mədənlərində hasilat quyularının suffoziyalı təmizlənməsi nəticəsində orta sutkalıq artım 20-30% olmuşdur.

Aprobasiyası və tətbiqi. İşin əsas müddəaları təqdim olunmuşdur: “Faktor-4” elmi-praktik konfrans, Bakı, 2001; Beynəlxalq elmi konfrans “Neftçixarmanın müasir problemləri (“Neftçixarma-2003”), 19-23 may 2003-cü il; “İstehsalatda və materialların emalında nəqliyyat hadisələri” Konfransı, Hyuston, TX, 19-23 iyun (2005), (ABŞ); ASME Birgə ABŞ-Avropa Maye

Mühəndisliyi Yay Görüşü, Mayami, FL, 17-20 iyul 2006-cı il; “Materialların Emalı Elmində Advances” mövzusunda Simpozium, ASME Beynəlxalq Maşınqayırma Konqresi və Sərgisi, Çikaqo, IL, 5-10 noyabr 2006; AMEA-nın üzvü, prof. İsgəndərov B.A 70 illik yubileyinə həsr olunmuş Riyaziyyat və Mexanika üzrə Beynəlxalq Konfrans, 2006; SPE İstehsal və Əməliyyat Simpoziumu, Oklahoma City, OK, 31 Mart - 3 Aprel 2007; SPE Beynəlxalq Neft Mədəni Kimyasına dair Simpozium, 28 fevral – 2 mart 2007-ci il, Hyuston, TX, ABŞ; İstehsalat proseslərində nəqliyyat hadisələri üzrə 6-cı Simpozium, 5-ci Birgə 2007 ASME/JSME Fluids Engineering Summer Meeting, San Dieqo, CA, 30 iyul - 2 avqust 2007; VII Elmi-Praktik Konfrans “Çətin çıxarılan ehtiyatları olan yataqların geologiyası və işlənməsi”, 25-27 sentyabr 2007-ci il, Gelencik; “Geopetrol-2008” beynəlxalq elmi konfrans, Polşa, Krakov. – 2008; Beynəlxalq elmi-praktik konfrans “Xəzərneftqaz yataq-2008”, 2008, Bakı; FEDSM2009, ASME 2009 Fluids Engineering Division Summer Meeting, 2-6 avqust 2009-cu il, Vail, Kolorado ABŞ; “Geopetrol 2010” “Neft hasilatının yeni üsulları və texnologiyaları” beynəlxalq elmi-texniki konfransı; Akademik N.Musxelişvilinin anadan olmasının 120 illiyinə həsr olunmuş “Continuum mexanika və təhlilin əlaqəli problemləri” Beynəlxalq konfransı, Gürcüstan, Tbilisi, sentyabr 2011; Beynəlxalq elmi seminar “Neft və qaz sənayesində qeyri-nyuton sistemləri”, Uxta, 15-16 noyabr 2011-ci il; Görkəmli alim, professor, texnika elmləri doktoru Azad Xəliloviç Mirzəcənzadənin xatirəsinə həsr olunmuş “Neft və qaz sənayesində qeyri-nyuton sistemləri” beynəlxalq seminarı, Ufa, 22-23 noyabr 2012-ci il; Heydər Əliyevin anadan olmasının 90 illiyinə həsr olunmuş beynəlxalq konfrans, 2013. – s. 187; Akademik A.X. Mirzəcənzadənin 85 illik yubileyinə həsr olunmuş “Neftqaz sahəsində qeyri-Nyuton sistemlər” mövzusunda beynəlxalq elmi konfrans, Bakı, 21-22 noyabr, 2013; “Geopetrol-2014” beynəlxalq elmi konfransı (Zakopane, Polşa), 2014; ASME/IMECE Beynəlxalq Maşınqayırma Konqresi və Sərgisi, Phoenix, Arizona, 11-17 noyabr 2016-cı il; Akademik Azad Mirzəcənzadənin 90 illik yubileyinə həsr olunmuş beynəlxalq konfrans, Bakı, Azərbaycan, 13-14 dekabr 2018-ci il; Beynəlxalq elmi-praktik konfrans "Yer elmlərində yeni

ideyalar", Rusiya, Moskva, st. Miklouho-Maklaya 23, 03-05 aprel 2019-cu il; Riyaziyyat və Mexanika İnstitutunun 60 illik yubileyinə həsr olunmuş "Riyaziyyat və Mexanikanın Müasir Problemləri" Beynəlxalq Konfransı, 23-25 oktyabr 2019-cu il, Bakı, Azərbaycan; Riyaziyyat və Mexanika İnstitutunun 60 illik yubileyinə həsr olunmuş "Riyaziyyat və Mexanikanın Müasir Problemləri" Beynəlxalq Konfransı, 23-25 oktyabr 2019-cu il, Bakı, Azərbaycan; Beynəlxalq elmi-praktik konfrans "Neft-qaz sənayesində innovativ texnologiyalar. Ərazilərin davamlı inkişafı problemləri", "Şimali Qafqaz Federal Universiteti" Federal Dövlət Muxtar Ali Təhsil Müəssisəsinin 10 illik yubileyinə həsr olunmuş, 09-10 dekabr 2021-ci il, Stavropol, Rusiya Federasiyası; Tətbiqi Mexanikanın Aktual Problemlərinə dair Beynəlxalq Konfrans – APAM-2021 Səmərqənd, Özbəkistan 27-29 oktyabr 2021-ci il – "Heterofaz qarışıqları daşıyan qaz kəmərlərinin qaz-dinamik parametrlərinin qiymətləndirilməsi və nəzarəti"; "Geologiya və TRIZ inkişafında innovativ həllər" beynəlxalq elmi-praktik onlayn konfrans, Moskva – 16-17 noyabr 2021-ci il; Dokuz Eylül Universiteti ilə Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası arasında Elm üzrə Birinci Beynəlxalq İkitərəfli Seminar; 19 noyabr 2021; Akademik I.I. İbrahimovun 110-illik yubileyinə həsr olunmuş Beynəlxalq Konfrans. AMEA, Riyaziyyat və Mexanika İnstitutu; Beynəlxalq Konfrans Riyazi Analiz və Onun Müasir Riyazi Fizikada Tətbiqləri, 23-24 Sentyabr 2022; Səmərqənd, Özbəkistan / Özbəkistan Respublikasının Ali və Orta İxtisas Təhsili Nazirliyi Səmərqənd Dövlət Universiteti - Özbəkistan Elmlər Akademiyasının Riyaziyyat İnstitutu; V Beynəlxalq Seminar "Gücləndirilmiş Neft Bərpaası üçün Termal Metodlar: Laboratoriya Sınaqları, Simulyasiyalar və Neft Yataqlarında Tətbiqlər" TheEOR2022, Bakı, Azərbaycan, 3-5 noyabr 2022-ci il; Ümummilliləşdirilmiş Heydər Əliyevin 100 illik yubileyinə həsr olunmuş "Riyaziyyat və mexanikanın müasir problemləri" Beynəlxalq konfrans, Riyaziyyat və Mexanika İnstitutu, Bakı, 26-28 aprel 2023-cü il; Özbəkistan Milli Universitetinin 105, Musa əl-Xorəzminin 1240 illik yubileyinə həsr olunmuş "Tətbiqi riyaziyyat və informasiya texnologiyalarının aktual problemləri - Əl-Xorəzm 2023" səkkizinci beynəlxalq elmi konfrans. SDU, Səmərqənd, Özbəkistan, 25-26

sentyabr 2023-cü il; Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetinin (ADNSU) “Neft və qazın geotexnoloji problemləri və kimyası” Elmi-Tədqiqat İnstitutu, akademik Azad Mirzəcanzadənin 95 illik yubileyinə həsr olunmuş “Neft və qaz hasilatının innovativ texnologiyaları” beynəlxalq elmi-praktik seminarı, sentyabr 29, 2023

İddiaçının şəxsi rolu. Müəllif dissertasiya işində təqdim edilən elmi-tədqiqat işlərinin planlaşdırılmasında, məsələlərin qoyuluşunda, tədqiqat üsullarının seçilməsində, eksperimental qurğuların yaradılmasında, laboratoriya tədqiqatlarının həyata keçirilməsində, mədən tətbiqində bilavasitə iştirak etmişdir. O, dissertasiya işinin mövzusunun əhatə edən bütün dərc edilmiş elmi əsərlərin mövzularının seçilməsi, əsaslandırılması, tədqiqatın metodologiyasının yaradılması, elmi ədəbiyyat xülasələrinin aparılması və nəticələrin təhlillərinə rəhbərlik etmişdir.

Nəşrlər. Dissertasiya işi əsasında 82 elmi məqalə, o cümlədən elmi jurnallarda 49 (31 xaricdə), 17 ixtira patenti və 1 proqram məhsulunun qeydiyyatı haqqında şəhadətnamə (Azərbaycan Respublikası, Rusiya Federasiyası və ABŞ); Konfransların, forumların, sessiyaların materiallarında 15 məqalə və ya tezis (15 xaricdə).

Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilatın adı.

Dissertasiya işi Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi Riyaziyyat və Mexanika İnstitutunun “Maye və qaz mexanikası” şöbəsində yerinə yetirilmişdir.

Dissertasiyanın struktur bölmələrinin ayrılıqda həcmi qeyd olunmaqla dissertasiyanın işarə ilə ümumi həcmi: titul vərəqəsi - 463 işarə, mündəricat - 3567 işarə, giriş - 72188 işarə, 30 yarımfəsildən ibarət olan 6 fəsil: 1-ci fəsil - 70097 işarə, 2-ci fəsil - 43063 işarə, 3-cü fəsil - 24189 işarə, 4-cü fəsil - 64588 simvol, 5-ci fəsil - 35823 işarə, 6-cı fəsil – 23765; nəticə və təkliflər - 1996 işarə olmaqla ümumilikdə 339739 işarədən ibarətdir. Dissertasiyanın həcmi 340 səhifədir və burada 122 şəkil, 52 cədvəl, 204 ədəbiyyat siyahısı yerləşdirilmişdir.

Minnətdarlıq. Müəllif, akademik Azad Mirzəcanzadənin elmi məktəbində əldə etdiyi bilik və bacarıqlara görə xatirəsinə dərin minnətdarlığını bildirməyi öz vəzifəsi hesab edir. Müəllif elmi

məsləhətçi AMEA-nın müxbir üzvü, texnika elmləri doktoru, professor Qeyrani Pənahova dissertasiya üzərində səmərəli ideyalara, tədqiqat problemlərinin müvafiq formalaşdırılmasına, istehsalat sınaqlarının təşkilinə, dəyərli məsləhətlərinə və daimi diqqətə görə dərin təşəkkürünü bildirir. Həmçinin müəllif uzun illər əməkdaşlığa, elmi və tətbiqi tapşırıqların yerinə yetirilməsində, tətbiqi tədqiqatların və sınaqların təşkilində yardıma görə Rusiya Təbiət Elmləri Akademiyasının vitse-prezidenti, texnika elmləri doktoru, professor A.X. Şahverdiyevə öz təşəkkürünü bildirir.

İddiaçı uzun illər əməkdaşlığa və dəstəyə görə çoxsaylı həmmüəlliflərə: Bəxtiyarov S.İ., Baxtizin R.N., Məmməd-zadə A.M., Məlikov H.X., Süleymanov B.A., Süleymanov A.Ə., Mandrik İ.E., Renji Jianq, birgə tədqiqatda iştirak edən bütün həmkarlarına səmimi təşəkkürünü bildirir. Həmçinin müəllif dissertasiyanın işlənilib hazırlanması və tətbiqində iştirak edən. Riyaziyyat və Mexanika İnstitutunun əməkdaşlarına və tədqiqat işlərinin aparılmasında köməklik edən həmkarlarına dərin təşəkkürünü bildirir.

DİSSERTASININ MƏZMUNU

Girişdə tədqiqatın aktuallığı əsaslandırılaraq, məqsəd və müdafiə olunan əsas elmi prinsiplər, problemlərin həlli üsulları, işin nəticələrinin praktiki əhəmiyyəti və həyata keçirilməsi formalaşdırılmışdır.

Dissertasiya işinin **birinci fəslində** neft-qaz sənayesində istifadə olunan sistemlərin və lay flüidlərin axını zamanı anomal amillərin, fiziki-kimyəvi təsirlərə qarşı münasibətlərin müəyyən edilməsinin əsas prinsipləri və onların tənzimlənməsi üsulları formalaşdırmışdır. Bunların zəruriliyi əsasən heterogen sistemlərin strukturunun və fiziki-mexaniki xassələrinin formalaşmasında faza dəyişmələri və əlavə faza daxilolmalarının oynadığı mühüm roldan irəli gəlir.

Parafinli və yüksək özlülüklü neft məhsullarının istehsalının artması, onların istismarında yaranan çətinliklər bu sistemlərin reoloji xüsusiyyətlərinin öyrənilməsini, axın və sıxışdırmaları üçün optimal parametrlərin seçilməsini tələb edir. Burada ən mühüm məsələlərdən biri neftlərin tərkibindəki parafin-asfalten-gətran

komponentlərinin tərkib müxtəlifliyindən yaranan “heterogen axın” davranışının öyrənilməsidir. Komponentlərin hər birinin təsir dərəcəsini nəzərə alaraq qeyd etmək olar ki, fəza strukturunun olması əsasən neftdə parafın fraksiyalarından asılıdır. Belə neftlərin struktur-mexaniki xassələri əsasən sürət qradienti, sistemin temperaturu, tiksotropiyanın təzahürü və s. amilləri ilə müəyyən olunur.

Özlülük anomaliyası fenomeni polimer və neft sistemlərinin ilkin mərhələsindəki tədqiqatlarında aşkar edilib. Özlülük anomaliyasının təzahüründə sabit axın rejimləri $f(\tau, \gamma) = 0$ funksiya şəklində təsvir olunur/Çox vaxt eksperimental məlumatlarda bu asılılıq $\eta(\gamma)$ və ya $\eta(\tau)$ şəklində təqdim olunur. Anomaliya zamanı özlülüyn dəyişilməsi γ -dən çox, τ -dən daha zəif asılı olur. Bu asılılıqlar qeyri-Nyuton sistemlərinin mühüm fiziki xarakteristikasıdır. Bundan əlavə, özlülük anomaliyasını xətti və qeyri-xətti özlü elastikliyin təzahürü kimi də alınır.

“Axın əyrisini” əldə etmək üçün geniş yayılmış viskozimetrik özlülük η_e və τ sürət qradientindən γ , ibarət $\eta_e = \tau / \gamma$ dəyişməsinin xarakteri məlumat verir. Tangensial gərginlik qradientindən γ asılı olaraq özlülüyn η_e eksperimental qiymətlərinin şərhə tədqiq olunan mayelərin elastiklik xassələrinin təbiətini mühakimə etməyə imkan verir. Özlülüyn anomal asılılığı ilə bağlı olan mayelərin xassələri τ və ya γ tədqiq olunan sistemin elastiki xüsusiyyətlərinin təbiətinə görə təsnif edilə bilər. Tangensial gərginlik onun elastiki modulu ilə müqayisə olunarsa, maye elastiklik əlamətlərini göstərəcəkdir. Əksinə, düzəliş əhəmiyyətsizdir isə bu xassələrdə kənarlaşmalar müşahidə olunur, Ree-Eyring¹ tənliyindən görüldüyü kimi bu, hər hansı özlü-elastiki mayenin içərisində olan “qeyri-elastiki bölgə” olacaqdır. Bu bölgədə elastiki korreksiya əhəmiyyətsizdir və Nyuton axınının xassələrindən kənarlaşmalarla müşahidə olunur ki, bu da onun dəyişməsi ilə əlaqələndirilə bilər.

¹ Taikyue Ree, Henry Eyring; Theory of Non-Newtonian Flow. I. Solid Plastic System. J. Appl. Phys. 1 July 1955; 26 (7): 793–800. <https://doi.org/10.1063/1.1722098>

Anormal özlülüynün təzahürünün səbəblərindən biri bir çox hidrofob kolloid məhlullarda əmələ gələn supermiselyar quruluşun formalaşmasıdır. Hissəciklərin bir yerə yığılmasının səbəbi aqreqativ sabitliyin və “laxtalanmanın” pozulmasından ola bilər. Qeyri-qütblü mühitlərdə, o cümlədən karbohidrogen mayeləri və xüsusən də müxtəlif hissəciklər arasındakı əlaqə, qismən yenidən kristallaşma və ya qatranlar, naften turşuları və s. bunların əmələgəlməsinə gətirir.

Tiksotropik özlü-elastici nəzəriyyəsində qəbul edilir ki, elastiki enerji müəyyən kritik qiymətə çatarsa, müvafiq struktur elementinin dağılması baş verəcək və bu, sonradan gərginliklərin inkişafında iştirakını dayandıracaqdır. Strukturlaşdırılmış sistemdə kortəbii tiksotrop dağılması və bərpası prosesi aşağıdakı kimi təsvir edilir²:

$$-\frac{dN_t}{dt} = k_1 N_+^n - k_2 N_-^m,$$

harada N_+ və N_- - qırılmamış və qırılmış strukturların konsentrasiyalarıdır; k_1 və k_2 bu strukturlar bərpa proseslərinin sürət sabitləridir; n və m kimyəvi proseslərinin əlaqələrin bərpasının ardıcılığını təyin edən sabitlərdir; t - vaxt. Qırılmamış strukturların konsentrasiyası, sistemin vəziyyətinin qiyməti ilə xarakterizə olunan η_∞ son dağılma vəziyyətindən asılı olur. Bu proseslər müvafiq olaraq.

$$N_+ = [\eta(t) - \eta_\infty] / (\eta_0 - \eta_\infty) \text{ və } N_- = [\eta(0) - \eta(t)] / (\eta_0 - \eta_\infty)$$

şəklində qiymətləndirilir.

Deformasiyanın təsiri altında strukturların dağılması və bərpası proseslərin dinamik tarazlığında sürüşməyə gətirir və strukturun dağılma dərəcəsi artır. Toxunan sürəti ilə axın tənliyi aşağıdakı formanı alır:

$$\frac{1}{\eta_0 - \eta_\infty} \left(-\frac{d\eta}{dt} \right) = k_1 \left(\frac{\eta - \eta_\infty}{\eta_0 - \eta_\infty} \right)^n \gamma P - k_2 \left(\frac{\eta_0 - \eta}{\eta_0 - \eta_\infty} \right)^m$$

P - sistemdəki struktur nöqtələrin dağılma prosesində toxunan gərginlikdən yarana sürətinə təsirini təyin edən sabit. Stabil axına çatdıqda, sistemdə əlaqələrin dağılması və bərpası prosesləri arasında

² Larson, Ronald & Wei, Yufei. (2019). A review of thixotropy and its rheological modelling. Journal of Rheology. 63. 477-501. 10.1122/1.5055031.

tarazlıq olmalıdır. Bu, $(d\eta/dt)=0$ şərti ilə yazılır. Sonra sabit axındakı özlülük tənlikdən müəyyən edilir:

$$k_1 \left(\frac{\eta - \eta_\infty}{\eta_0 - \eta_\infty} \right)^n \gamma P = k_2 \left(\frac{\eta_0 - \eta}{\eta_0 - \eta_\infty} \right)^m$$

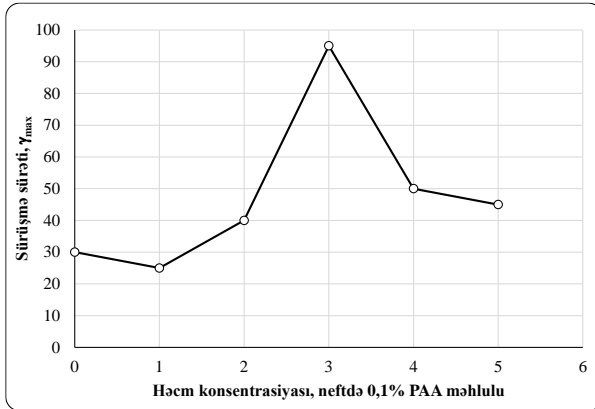
Beləliklə, sabitləri bilməklə, effektiv özlülüğün toxunan gərginliyin sürətindən asılılığını tapa bilərik. Sistemin daxili strukturunun dağılması və bərpası prosesi özlülükdəki rəqslərlə sıx bağlıdır və nəticədə kompozisiyaların tiksotrop davranışının dinamikasını müəyyən edir.

Polimerlərin sulu məhlullarını neft laylarına vurduqda, neft və su üçün süzülmə yollarının keçiriciliyini, özlülüğün heterogenliyini dəyişdirərək sıxışdırma cəbhəsini düzəldərək, quyunun susuz istismar müddətini uzadır. Bunların hamısı nəticədə neft artımına kömək edir³. Suda həll olunan polimerlərin istifadəsi həm də heterogen sistemlərin müxtəlif sürüşmə sürətlərində özlülüğün qeyri-sabitliyinin tənzimləməyə imkan verir. Neftə müəyyən həcm nisbətində suda həll olunan polimerin (poliakrilamid) əlavə edilməsi onun relaksasiya xüsusiyyətlərini daha da artırır. Tədqiqatlar göstərmişdir ki, Bohai-Bay yatağından olan heterogen neftə poliakrilamidin 0,1%-li sulu məhlulu əlavə edildikdə nümunədə qeyri-Nyuton özlü-elastiki tiksotropiya müşahidə olunur. Tədqiq olunan heterogen sistemə polimerin əlavə edilməsi onun stabilləşməsi vəziyyətə keçməsinə kömək edir⁴. Tərkibdəki poliakrilamid sonradan konsentrasiyasının daha da artması bu tendensiyanı pozur (şəkil 1).

³ Castro, Ruben & Maya, Gustavo & Jimenez-Diaz, Robinson & Quintero, Henderson & Díaz-Guardia, Venus-Minerva & Colmenares-Vargas, Kelly-Margarita & Palma-Bustamante, Jorge-Mario & Delgadillo, Claudia & Perez, Romel. (2016). Polymer flooding to improve volumetric sweep efficiency in waterflooding processes. CT y F - Ciencia, Tecnologia y Futuro. 6. 71-90. 10.29047/01225383.10.

⁴ Abbasov, E.M., Huseynov, V.G., Jafarova, U.F., Nasibova, S.I. In situ gas generation in dispersed systems to control structure formation // Trans. Natl. Acad. Sci. Azerb. Ser. Phys.-Tech. Math. Sci. Mechanics, 2022, 42 (8). - Pp. 3-16

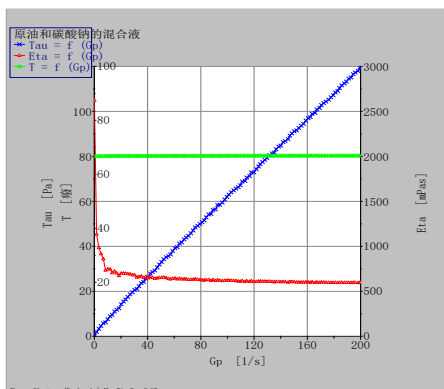
Bu fakt neft-polimer tərkibində sabit emulsiyanın əmələ gəlməsi ilə əlaqələndirilə bilər. İşdə həmçinin neftə natrium karbonat əlavələri Na_2CO_3 daxil edilməklə alınan bir sıra kompozisiyaların reoloji davranışı tədqiq edilmişdir.



Şəkil 1. Sürüşmə sürətinin maksimal qiymətinin neft-polimer qarışığında poliakrilamidin konsentrasiyasından asılılığı

Tədqiq olunan heterogen tərkiblərin xarakterik reoloji xüsusiyyətlərini öyrənmək üçün tədqiqatlar HAAKE Rheostress 600 reoviskozimetrində aparılmışdır.

Tədqiqatlarda temperatura 338 K və təzyiq 2,0 MPa olmuşdur. Müəyyən gərginlik və sürət qradiyentində effektiv özlülüyün ($\text{mPa}\cdot\text{s}$) qiymətləri müəyyən edilmişdir. Təcrübənin nəticələrinə əsasən $\eta_{\text{əf}} = \eta_{\text{əf}}(\dot{\gamma})$ asılılıqları qurulmuşdur (şəkil 2).



Şəkil 2. “Neft + 2% Na₂CO₃” qarışığı üçün reoloji əyri

Alınmış asılılıqların təhlili göstərmişdir ki, tədqiq olunan neft nümunələrinin reoloji davranışı tiksotrop xarakter daşıyır. Neft nümunəsinə 2,0 % həcmi konsentrasiyada natrium karbonat (Na₂CO₃) əlavə edilməklə tiksotropiyanın zəiflənməsi müşahidə olunur. Bu təsirlərin neftin tərkibində olan naften turşularının natrium karbonat əlavələri ilə kimyəvi reaksiyası zamanı qaz əmələ gəlməsi ilə izah etmək olar.

Fazalararası qarşılıqlı təsir prosesləri burada reoloji mürəkkəb sistemlərin termo-hidrodinamikası üçün fundamental əhəmiyyət kəsb edir.

Relaksasiya xassələrini nümayiş etdirən bir sıra texnoloji sistemlərdə keçici proseslərin müddəti ilə xarakterizə olunan qeyri-tarazlıq effektləri müşahidə olunur. Belə sistemlərin qeyri-tarazlıq xassələri quyu- lay sistemində qaz tərkibli izolyasiya məhlullarının hidrodinamik davranışına əhəmiyyətli təsir göstərə bilər və buna görə də belə sistemlərin bu cür xassələrinin öyrənilməsi və qiymətləndirilməsi praktiki maraq doğurur.

Yüksək tangensial sürətlərdə məhlula dilatant xassələri verməklə, udulma kanallarında hidravliki müqavimətin əhəmiyyətli dərəcədə artmasına nail olmaq mümkündür. Əgər udulma məsaməli mühitdə baş verirsə, onda özlü-elastik məhlulun udulma intensivliyini aşağıdakı ifadə ilə müəyyən etmək olar:

$$q = \frac{2\pi kh}{\mu} P_0 \frac{2Tx^2}{2T_0 x^2 \ln x + T},$$

harada, k - udma layının quyuya yaxın zonasının keçiriciliyi; h – layın qalınlığı; μ - məhlulun özlülüyü; – udulma qatının repressiyası; $T_0 = r_c^2 / 4\alpha$; r_c - quyu radiusu; α - layın pyezokeçiriciliyi; $X = \frac{R(t)}{r_c}$; $R(t)$ - udulma zonasının cari radiusu.

Bu asılılığa əsaslanan hesablamalar göstərir ki, $T = 10^3$ s olan özlü-elastiki məhlulun udma layının ($x = 10 \div 100$) yaxın quyu zonasında udulma intensivliyi özlü mayedən 3 - 4 dəfə azdır. Təbii ki, neftlə doymuş kollektorlarda lay təzyiqinin saxlanması üçün istifadə olunan texnoloji proseslər, süzülmə müqavimətinin azaldılmasını və ilkin keçiriciliyinin bərpaasını təmin etməklə məsaməli mühitin hidrodinamik vəziyyətinin tənzimlənməsi, ilə birgə aparılmalıdır.

Aparılan tədqiqatların nəticələri məsaməli mühidə həcmdə qeyri-müntəzəm süzülmə zamanı süni kavitasiyadan istifadə edərək sistemin aktivləşdirilməsi prosesi aşkar edilmişdir.

Qarışıqların məsaməli mühidə axının turbulizasiyası rejimində aktivləşdirilmənin ənənəvi üsullarından fərqli olaraq, təklif olunan üsulda, sulu mühidə termokimyəvi reaksiya nəticəsində intensiv qaz əmələ gətirən komponentlərin qarışıqların tərkibinə daxil edilməsi yolu ilə əldə edilir.

Tədqiqatlarda xlorid turşusu və karbonat duzlarından istifadə edilmişdir (kalsium karbonat CaCO_3 , soda külü və ya natrium karbonat Na_2CO_3). Qarışıqda qaz qabarcıqlarının (karbon dioksid) əmələ gəlməsi ilə paralel intensiv olaraq qabarcıqların partlaması (kavitasiyasının əmələ gəlməsi) baş verir ki, bu da yerli təzyiq artımlarına gətirir və nəticədə neft qabıq qatının (səthinin) dağılması ilə müşayiət olunur. Qaz generasiya prosesi zamanı süni aktivləşmənin təzahürü nəticəsində yeni fazanın homogen mikro yaranmalarının səthinin əyrilik radiusunun dəyişməsinə gətirir. Mikro yaranmalar deformasiyaya uğradıqda məsaməli mühidə onlarda tarazlığın Laplas şərti pozularaq kritik və superkritik hala keçirlər.

Qaz fazasının ayrılmasının kinetikası və yaranan qaz qabarcıqların ölçüsü müəyyən bir vəziyyətə xas olan xüsusi nümunələrdən asılıdır. Artan qaz qabarcığındakı təzyiğin vəziyyəti hal tənliyinə tabedir:
$$P = \frac{m RT}{M V_c} = \frac{3}{4\pi} \frac{m RT}{M r_c^3}.$$

Səth enerji qüvvəsi tənliklə verilən aşağıdakı təzyiği kompensasiya edir:

$$P_\sigma = 2\sigma_{mq} / r_q$$

Bundan əlavə, məsələlərdə sıxılmış neftin özlü plastiki mühitində qabarcıqların genişlənməsi zamanı özlülüyün müqavimətini aradan qaldırmaq üçün lazım olan qüvvələri nəzərə almaq lazımdır. Bu qarışıq Şvedov-Bingam mühiti kimi davranır və neft sıxılmayan bir mühit kimi olub, deformasiya edildikdə, yalnız bəzi təbəqələrin digərlərinə nisbətən yerdəyişməsi baş verir, yəni,

$$P_\mu = \sigma_T,$$

burada P_μ artan qabarcıq ətrafındakı məhlulu deformasiya etmək üçün tələb olunan təzyiqdır; σ_T – məhlul təbəqəsinin son tangensial gərginliyidir.

Sonda sıxılmış mühitdə qaz qabarcığının genişlənməsi aşağıdakı şərtini təmin etməlidir:

$$\sigma_T r_q + 2\sigma_{mq} r_q^2 < \frac{3}{4\pi} \frac{m}{M} RT,$$

harada m - qazın kütləsi; M - qazın molekulyar çəkisi.

Qaz qabarcığı sürətlə genişləndikdə sıxılmış neftdə kavitasiya baş verəcək. Qaz qabarcıqları aşağı təzyiç zonasında qısa müddət qaldıqda və oturmş neftlə qarışdıqda, maye normal və ya yüksək təzyiç sahəsinə daxil olduqdan sonra dərhal qapanır⁵.

Bu halda, neftdə qaz qabarcığının genişlənməsi üçün əlverişli şərait əldə etməyə imkan verir. Qiymətləndirmə göstərir ki, səthi gərginlik $\sigma_T = 10^2$ Pa, $\sigma_{mq} = 6.4 \cdot 10^{-3}$ Pa olan neftdə ölçüsü $r_q > 1.7$ mm olan karbon qazı qabarcığının genişlənməsi şərti ödənilir.

⁵ Шленский О.Ф. Влияние слабых механических воздействий на частоту зародышеобразования и скорость терморазложения конденсированных систем // Химическая физика, т. 17, №7. – 1998. – С. 95-102.

Qarışıqın qaz ayıran komponentləri arasında baş verən stexiometrik reaksiya, əksər hallarda, qabarcıqların genişlənməsi üçün əlverişli şərait yaradır.

Qaz qabarcıqların reokimyəvi reaksiyası zamanı əmələ gələn qazın həcminə hidrogen indeksinin təsirini müəyyən etmək üçün təcrübələr aparılmışdır. Tədqiqatlar $T=293K$ temperaturda sistemin daimi termostatlaşdırılması və qaz ayırıcı və qaz yarıdan maddələrin - natrium karbonat Na_2CO_3 və müxtəlif pH qiymətlərinə malik “turş” suda məhlulunun müxtəlif həcmi nisbətləri ilə aparılmışdır.

Aparılan təcrübələrdə sulu məhlulda natrium karbonatın konsentrasiyası 12%, pH göstəricisi isə 3-6 arasında dəyişmişdir.

Eksperimental nəticələr göstərir ki, reaksiyaya gedən məhlullar mühitində ən intensiv qaz əmələ gəlməsi $pH = 3$ olan halda baş verir. Yaranan qazın (karbon dioksid) həcmi qənaətbəxş qazla doymalı və bu da neftin aktivləşməsi üçün kifayətdir.

Proses laboratoriya təcrübələrində tədqiq edilərək, qazın əmələ gəlməsində bəzi xüsusiyyətlərin dəyişilmələri qiymətləndirilmişdir. Məhlul nümunələri hidrogen indeksi $pH = 3$ olan su və neftin tərkibinə soda külü daxil edilməklə, hazırlanmışdır.

Bununla belə, qazın yaranma dinamikasında intensivliyin azalması müşahidə olunmuşdur. Tədqiqatlarda lay şəraitində qazın əmələ gəlmə prosesində karbon qazının “superkritik” halının yaranması sonrakı tədqiqatları üçün əsas olmuşdur⁶. Məlumdur ki, neft karbon qazı ilə qarşılıqlı əlaqədə olduqda (həll olduqda) onun həcm genişlənməsi baş verir. Bu təsir mayelərin sıxışdırılmalarında özlülük xüsusiyyətlərinin dəyişməsi ilə yanaşı, layların analizi zamanı neft hasilatının bərpası proseslərində karbon qazından istifadənin səmərəliliyini müəyyən edən əsas göstəricilərdəndir. Neftin həcm genişlənməsi təzyiq, temperatur və həll olunmuş qazın miqdarından asılıdır. CO_2 təsiri altında neftin həcmi genişlənməsinə onun tərkibindəki yüngül karbohidrogenlərin (C3 - C7) miqdarı da təsir göstərir. Neftdə yüngül karbohidrogenlərin miqdarı nə qədər

⁶ Pruess, Karsten & Azaroual, Mohamed. (2006). On the feasibility of using supercritical CO_2 as heat transmission fluid in an engineered hot dry rock geothermal system. Proceedings of the Thirty-First Workshop on Geothermal Reservoir Engineering. 386-393.

çox olarsa, onun həcm genişlənməsi də bir o qədər çox olur. Nəticədə məsamələrdə təzyiq artır, qalıq neftin bir hissəsi əlavə olaraq hasilat quyularına sıxışdırılır. Neftin həcmli genişlənməsi, hətta CO₂-nin qismən doyması ilə, karbohidrogenlər üçün faza keçiriciliyinin artması və nəticədə layların son neftvermə qabiliyyəti hesabına yerdəyişmə əmsalını 6 - 10% artırır.

Beləliklə, fəsildə aparılan təcrübələr məsaməli mühitdə qazın əmələ gəlməsi zamanı reoloji təsirlərin eksperimental və tətbiqi tədqiqatlarının tərtibi və həyata keçirilməsi və yataqların istismar proseslərin tənzimlənməsi üsullarının işlənilib hazırlanması üçün əsas olmuşdur.

İkinci fəsildə neft və qaz hasilatında texnoloji proseslərin tənzimlənməsi üsulları işlənilib hazırlanarkən heterogen sistemlərdə reokinetik təsirlərin araşdırılmasına baxılmışdır. Burada ilk növbədə məhsuldar layda süzülmə vəziyyətinin dəyişməsinə səbəb olan amillər nəzərdən keçirilir. Yataqların istismarının əsas texnoloji mərhələlərində lay zonasının süzülmə xüsusiyyətlərinə mənfi təsir göstərən əsas texnogen səbəblər arasında aşağıdakıları qeyd etmək olar:

– qazıma mərhələsində məhlulun bərk fazasının layın dib zonasına daxil olması, lay məsamələrinin tıxanması, ayrı-ayrı intervallarından daxilolmaların tam dayandırılmasına qədər mühitin keçiriciliyinin əhəmiyyətli dərəcədə azalması⁷;

– məsaməli mühitə yad mayelərin nüfuz etməsi süxur sisteminin tarazlıq vəziyyətinin pozulmasına, karbohidrogenlərin süzülmələrində tıxanmalara səbəb olması;

– qazmada quyularına təsirindən məsamə boşluğunun strukturunda dəyişikliklərin baş verməsi;

– quyunun sementlənməsi mərhələsində sement məhlulu filtratın laya nüfuz etməsi ilə quyuların boyu zonaya mənfi təsirin olması;

– quyunun tamamlanması mərhələsində artıq hidrostatik təzyiqin olması;

⁷ Мирзаджанзаде А.Х., Хасанов М.М., Бахтизин Р.Н. Этюды о моделировании сложных систем нефтедобычи. Нелинейность, неравновесность, неоднородность. – Уфа: Гилем, 1999. – 464 с.

– perforasiya zamanı layın quyuya yaxın zonasının dağılmasına və məsamələrin sıxlaşaraq tıxanmasına, səbəb olması;

– quyuların ləğv edilməsi ilə müşayiət olunan təmir işləri aparıldıqda,

– qazma mərhələsində bərk fazanın və yad mayələrin laya daxil olması.

İşdə bu fəsadların aradan qaldırılması yollarından olan quyularda selektiv izole edilməsi ilə əlaqədar texnologiyanın yaradılması zamanı əmələ gələn problemlərin aradan qaldırılması yollarından biri təklif edilmişdir. Burada əsas məqsəd, müəyyən mədən şəraitində, yüksək keçiricilikli layların izole edilməsini təmin etməkdir. Bu istiqamətdə texnoloji kompozisiyaların yaradılması üzrə tədqiqatlar fərqli axın mexanizminə malik olan və quyü dibi zonasının izole edilməsi proseslərində iştirak edən heterogen qazlı mayələr əsasında yeni texnologiyaların yayılması ilə əlaqədar yaranmışdır. Aparılan bir çox təcrübələrdə müxtəlif kimyəvi məhlulların, o cümlədən suda həll olunan polimerlərə əsaslanan kompozisiyaların tətbiqləri, lay təzyiqinin saxlanması və neftvermə əmsalının artırılması üçün agent kimi geniş istifadə olunur.

Heterogenlik nəzərə alınmaqla sistemlərin süzülməsi sahəsində akademik Mirzəcanzadə A.X. və onun məktəbi tərəfindən yaradılan nəzəri və tətbiqi işlər, neft və qaz hasilatında bütöv bir elmi istiqamət üçün əsas olmuşdur. Elmi məktəbin əsərlərində, eləcə də neftveriminin artırılması üzrə dünya təcrübəsində neftin laydan su, su-qaz qarışıqları və karbohidrogen həllediciləri, o cümlədən karbohidrogenlərlə yerdəyişməsinə əsaslanan neft yataqlarının işlənməsinin fiziki-kimyəvi üsulları, yüksək təzyiqdə təbii qaz və karbon qazı geniş şəkildə öyrənilmiş və tətbiq edilmişdir. Neft laydan ona qarışan agentlər tərəfindən çıxarıldıqda, yerdəyişmədə aralarındakı qeyri stasionar halların aradan qaldırılması problemi köklü şəkildə həll edilir, kapilyar qüvvələr və digər qarşılıqlı təsirlər tənzimlənir.

Laya təsir etməklə neftvermənin artırılması üsulları sırasında, karbon qazının istifadəsi, neftin və o cümlədən maye karbohidrogen ehtiyatlarının əldə olunması çətin olan kollektorlardan çıxarılmasında ən effektiv üsullarından sayılır. Karbon dioksidin neftvermənin

artırılması üsulu kimi istifadə edilməsi kontekstində təqdim olunan işdə lay daxilində qazın əmələ gəlmə prosesi, flüidlərin süzülmə qabiliyyətinin artırılması və neftin sıxışdırılması mexanizmləri tədqiq edilir. Eyni zamanda, texnoloji nöqtəyi-nəzərdən məsamə sahəsinin qazla doymada termodinamik şərtlərinin maye karbohidrogen yataqlarının əmələ gəlməsinin spesifik şərtlərinə uyğunluğunun müəyyən edilməsinə baxılır. Yataqların işlənməsində laylardan neftin su ilə tam sıxışdırılmasına nail olmamağın əsas səbəblərinə özlülük və sıxlıq müxtəlifliyinin olması, prosesdə mayələrin qarışma problemi və bunun nəticəsində onların arasında fraktal strukturların əmələ gəlməsidir. Nefti onunla qarışan agentlərlə laydan sıxışdırıldıqda, bu sistemlər arasında sərhəddə fraktallığın aradan qaldırılması problemi köklü şəkildə həll olunur, kapilyar qüvvələr tənzimlənir və vurulan agent neftdə həll olunaraq, onun çıxarılmasında effektivliyi artırır. Karbohidrogenləri sıxışdırmaq üçün neftlə yaxşı qarışan və laylara vurulan agent kimi karbon qazını CO₂ göstərmək olar. Burada neftin ağır komponentlərində həll olunan karbon qazı məsaməli mühitin səthində adsorbsiya edilmiş karbohidrogenlərin şişməsinə, onların boşaldılmasına və mühit dənəciklərindən ayrılmasına kömək edir. Məlum olduğu kimi 10 MPa təzyiq və 300 - 310 K temperaturda 1 m³ neftdə standart şəraitdə ölçülən 250-300 m³-ə qədər CO₂ həll olunur. Bununla belə, CO₂-nin laya vurulmasının əhəmiyyəti üsullarından istifadə istehsal avadanlıqlarının nəzərəcarpacaq dərəcədə korroziyasına gətirdiyindən, onların xidmət müddətini azaldır və xüsusi antikorroziya reagentlərin istifadəsini tələb edir. Bundan əlavə əhəmiyyəti CO₂-qazının vurulma texnologiyalarının çatışmazlıqlarına həmçinin aşağıdakılar daxildir: lazımi miqdarda qaz hasil edən mənbəyə malik olmaq zərurəti; yüksək təzyiqli qazdan istifadə; hasilat korpusunun sıxlığına artan tələblər səbəbindən quyunun layihələndirilməsinin çətinləşməsi; optimal qaz təchizatı sisteminin həyata keçirilməsinə əhəmiyyətli kapital qoyuluşları və s.

Karbon qazının əmələ gəlməsinin texnoloji və iqtisadi cəhətdən ən səmərəli üsullarından biri onun qaz yaradan komponentlər arasında kimyəvi reaksiya nəticəsində əldə edilməsidir. Aparılan eksperimental laboratoriya tədqiqatlarında müxtəlif fraksiya tərkibli kalsium karbonat nümunələrinin “turş” su (pH = 3÷5) ilə reaksiyası

zamanı karbon qazının ayrılmasında təzyiğin zamandan asılı olaraq dəyişilməsi qiymətləndirilmişdir. Sonrakı mərhələdə qaz əmələ gətirən agent kimi xlorid turşusunun suda məhlulu və karbonat süxur nümunələri arasında kimyəvi reaksiyandan qaz ayrılma ilə müşayiət olunan təcrübi tədqiqatlar modelləşdirilmişdir. Bu tədqiqatlarda xlorid turşusu HCl və kalsium karbonatın CaCO_3 -ün arasında gedən reaksiyası zamanı təzyiq və temperaturun dəyişilməsi dinamikası öyrənilmişdir.

İşdə həmçinin laboratoriya təcrübələrində müxtəlif tərkibli sulardan istifadə edilməklə hazırlanmış natrium karbonat və xlorid turşusunun suda məhlulları arasında gedən reaksiyası zamanı ayrılan CO_2 qazından təzyiq və həcmnin dəyişməsi müqayisəli araşdırılmış və bunların müxtəlif templərlə artması qeyd olunmuşdur. Göstəricilərin müqayisəli təhlili eyni konsentrasiyalarda və reaksiya verən məhlulların həcmələrində lay suyu ilə hazırlanan məhlullarda qaz əmələ gəlməsinin intensivliyinin daha yüksək olduğu təsdiq edilmişdir.

Su fazanın minerallaşması və neftin komponent tərkibindən asılı olaraq, CO_2 -nin suda həll olunma qabiliyyəti və neftin genişlənmə əmsalını öyrənmək üçün laboratoriya tədqiqatları aparılmışdır. Karbon qazının suda həll olunması əsasən təzyiq, temperatur və kimyəvi tərkibdən asılıdır.

Seçenov tənliyinə görə, suda duzların konsentrasiyasından asılı olaraq karbon qazının həll olunma qabiliyyəti aşağıdakı kimi yazılır: $b_i^* = b_i \cdot 10^{-k_i n}$, burada: b_i - qazla tarazlıqda olan təmiz suda həll olunan i -ci komponentin tərkibi; b_i^* - eyni qazla tarazlıqda olan duzlu məhlulda i -ci komponentin tərkibi; k_i - verilmiş duzun qaz komponentinin i -nin həll olunma qabiliyyətinə təsirini xarakterizə edən Seçenov əmsalıdır; n - suda həll olunan duzun konsentrasiyasıdır⁸. Reaksiya zamanı ayrılan karbon qazının həll olunma dərəcəsi qaz ayırıcının sulu fazasının əsasını təşkil edən şirin su ilə müqayisədə lay suyunda azdır. Bu halda yaranan CO_2 -nin bir

⁸ Ентов В.М., Зазовский А.Ф. Гидродинамика процессов повышения нефтеотдачи. М.: Недра. – 1989. – 232 с.

hissəsi sərbəst faza şəkilində olur və sistemdə həll olunaraq mayelərin xassələrini dəyişdirir.

Sabit temperaturda təzyiqin artması ilə karbon qazının neftdə həllolma qabiliyyəti artır və eyni zamanda özlülük daha çox azalır.

Sabit təzyiqdə, karbon qazının həllində, temperaturun artması ilə, özlülük daha da azalır⁷. Neft və karbon qazı qarışığında sıxlığı hesablamaq üçün məlum aşağıdakı düsturdan istifadə olunur:

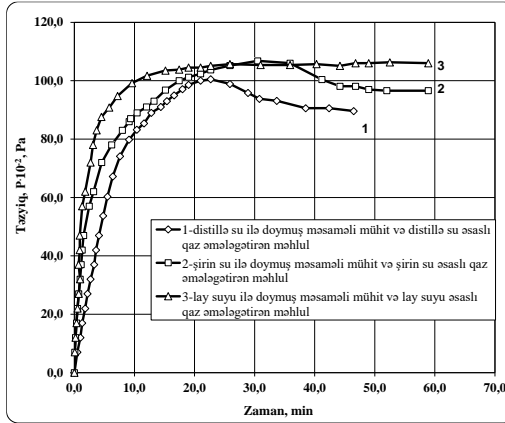
$$\rho_{qar} = \rho_n + 0,0008C ,$$

burada: ρ_{qar} və ρ_n – müvafiq olaraq, lay şəraitində qarışığın və neftin sıxlığı, q/sm³; C – neftdə karbon qazının konsentrasiyası, %.

Qaz yaranan və qaz əmələ gətirən reagentlərin məhlulları arasında gedən stexiometrik reaksiya şərtlərinin modelləşdirməsi ilə əlaqədar təcrübələr lay modelində aparılmışdır. Tədqiq olunan kompozisiyalar arasında baş verən reaksiya konvektiv diffuziyaya uyğun olaraq baş verdiyi üçün reaksiyaya girən komponentlərin tam təmasını təmin etmək üçün onlar hissə-hissə mühitə vurulur. Stexiometrik reaksiya zamanı təzyiq dinamikası şəkil 6-da göstərilmişdir.

Qeyri-tarazlığa malik xassələri olan qaz-maye qarışığı mühitdə əlavə enerji yaradır və lay enerjisini stimullaşdırır. Layda karbon qazının əmələ gəlməsi məhsuldar təbəqənin termobarik şəraitinin dəyişməsi baxımından daha effektivdir və təbii olaraq bir sıra süzülmə göstəricilərinə, o cümlədən, reokimyəvi reaksiyada iştirak edən mayelərin özlülük nisbətlərinin dəyişməsinə , neftin həcm əmsalına və qalıq neftlə doymaya və s. təsir göstərir.

Tərkibi 95% kvars qumundan və 5% montmorillonit gilindən ibarət olub məsaməli mühitdə stexiometrik reaksiya zamanı, sistemdə təzyiqin dəyişməsinin xarakterində əvvəlki təcrübələrdən fərqli təsirin olduğu aşkar edilir. Bu tədqiqatlarda təzyiq əvvəlcə müəyyən maksimal qiymətə qədər yüksəlir, sonra azalır. Reaksiya mühitində məsaməli mühitin olması stexiometrik reaksiya zamanı təzyiqin dəyişmə dinamikasına təsir göstərir. Bundan fərqli olaraq, su fazası lay suyundan ibarət olan halda qaz yaranmada reaksiya, mühitdə süxurun olması şəraitində, təzyiq dinamikası monoton olur (şəkil 3, əyri 3).



Şəkil 3. Məsaməli mühitdə qaz yaranan və qaz əmələ gətirən məhlulların reaksiyası zamanı təzyiqlərin dinamikası (95% kvars qumu + 5% gil)

Qazın ayrılma kinetikasını yazmaq üçün birinci dərəcəli xətti diferensial tənliklər şəklində relaksasiya modelində istifadə olunan ekvivalent eksponensial funksiyalardan istifadə etmək olar. Digər tərəfdən, bu yanaşma mövcud proseslərin bütün təfərrüatlarını, xüsusilə də mayedə duzluluğun qiymətlərini nəzərə almağa imkan vermir.

Artıq əmələ gələn qaz qabarcıqlarının (C - qabarcıqların konsentrasiyasıdır) qismən həll olunduğunu və yeni qazın ayrılmasının yavaştdığını fərz etsək, onların əmələ gəlmə sürətini yazmağa bilirik:

$$v = v_1 - v_2 C - v_3 C^2; \quad (1)$$

burada: v_1 – qazın maneəsiz əmələ gəlmə sürəti;

v_2 - qaz qabarcıqlarının həll olunma sürəti;

v_3 - yeni qaz qabarcıqlarının əmələ gəlməsində yavaşıtma sürəti.

Qaz qabarcıqlarının konsentrasiyası ilə təzyiqlə arasında xətti əlaqə olduğunu fərz etsək: $P = KC$, K təzyiqlə dəyişmə sürətidir.

Onda kinetik tənlik belə olar:

$$\frac{dP}{dt} = kv_1 - (\alpha + v_2)P - \frac{v_3}{k}P^2, \quad (2)$$

$a_1 = kv_1$ - qazın yaranması zamanı təzyiğin dəyişməsinə təsir edən parametrlər;

$a_2 = \alpha + v_2$ - qaz əmələgəlmələrinin qismən həll olunmasının təzyiqlə dəyişmələrinə təsirini nəzərə alan parametrlər;

$a_3 = \frac{v_3}{k}$ - əvvəllər əmələ gələn qaz qabarcıqlarının təzyiqlə dəyişmələrinə təsirini nəzərə alan əmsal.

Sonra tənliyi belə yazıla bilər:

$$\frac{dP}{dt} = a_1 - a_2P - a_3P^2 \quad (3)$$

a_1 , a_2 , a_3 - əmsallarını qiymətləndirmək üçün həssaslıq nəzəriyyəsinin prinsiplərinə əsaslanan texnikadan istifadə edilir. Müvafiq olaraq, qaz qabarcıqlarının qismən həllini və artıq formalaşmış qaz qabarcıqlarının qaz yaranma zonasında təzyiqlə dəyişməsinə təsirini nəzərə alan əmsalların (a_2 və a_3) olduğu halda, (3) -n həlli aşağıdakı şəkildə alınır:

$$P = \frac{1}{2a_3} \left[A \left(1 - \frac{2}{1 + e^{A(t+c)}} \right) - a_2 \right], \quad (4)$$

burada $A = \sqrt{a_2^2 + 4a_1a_3}$ - (şəkil 3 – əyriyə 1, 2).

Qaz ayıran agentin suda məhlulu lay suyu (Binəqədi yatağı) olduğu halda, eksperimental nəticələrdə qaz qabarcıqların həllini nəzərə alan əmsal cüzi olduqda, (3) tənliyi aşağıdakı kimi yazıla bilər:

$$\frac{dP}{dt} = a_1 - a_3P^2, \quad (5)$$

P -nin t -dən asılılığı aşağıdakı kimi tapıla bilər:

$$P = \sqrt{\frac{a_1}{a_3} \left(1 - \frac{2}{1 + e^{2\sqrt{a_1a_3}(t+C)}} \right)}. \quad (6)$$

Məsələn mühitə malik sistemlərdə qazın ayrılmasının son mərhələsində təzyiqlə azalması, qaz molekullarının məsələrin içərisində yayılması və süxur dənələrində adsorbsiya edilərək

diffuziyası ilə əlaqələndirilir. Bu vəziyyətdə qaz qabarcıqlarının əmələ gəlməsini və həllini təsvir edən ifadə aşağıdakı formada olur:

$$\frac{dP}{dt} = a_1 - a_2 P(t) - a_3 P^2(t - \tau), \quad (7)$$

a_2 və a_3 artıq əmələ gələn və süxur hissəciklərinə diffuziya edən qaz molekullarının təsirini nəzərə alaraq təzyiğin dəyişməsinə müəyyən edən əmsallardır; τ - xarakterik diffuziya vaxtıdır. Ümumiyyətlə, (7) tənliyinin həlli aşağıdakı formada axtarılır:

$$t \geq t_0, \quad P(t) = P_0(t), \quad t \in E_{t_0} = (t_0 - \tau, t_0] \quad (8)$$

Bu şərtləri ödəyən bir həll tapaq. Tutaq ki, $\tau > 0$ gecikmə sabitidir. $P_0(t)$ funksiyanın parçasında $t \geq t_0$ intervalda $a_1 - a_2 P(t) - a_3 P^2(t - \tau)$ funksiyası kəsilməzdir. Burada əvvəlcə (7) – (8) tənliklərinin $t_0 \leq t \leq t_0 + \tau$ şərtləri daxilində $I_1 = [t_0, t_0 + \tau]$ parçasında həllinə baxaq. Nəticədə, $t \in I_1$ $(t - \tau) = P_0(t - \tau)$ üçün və baxılan məsələ şərti təmin edilən sadə diferensial tənliyin tapılmasına gətirilir:

$$P(t_0) = P_0(t_0) \quad (9)$$

Burada $t_0 \leq t \leq t_0 + \tau$ parçada funksiya $F(t) = a_1 - a_2 P(t) - a_3 P_0^2(t - \tau)$ kəsilməzdir. Onda Peano teoremindən (7), (9) funksiyaının $[t_0, t_0 + \alpha]$, parçada $0 < \alpha \leq \tau$ həlli var. Fərz etsək ki, $\alpha < \tau$ şərtində həll I_1 -ə qədər axtarılır. Bu həlli $P_1(t)$ şəklində qeyd edərək, prosesi davam etdirərək alarıq:

$$P(t) = \begin{cases} P_0(t), t \in E_{t_0} \\ P_1(t), t \in I_1 \\ P_2(t), t \in I_2 \end{cases},$$

$$P(t) = \begin{cases} \sqrt{\frac{a_1}{a_3} \left(1 - \frac{2}{1 + e^{2\sqrt{a_1 a_3}(t+c)}} \right)} = P_1(t) \\ P_1(t) - \frac{C + a_2 - a_3 e^{C(t-\tau)}}{-2a_3} \end{cases}$$

və onda $P(t)$ funksiyası (7) – (8)-in həllidir. Problemin həlli aşağıdakı formada təqdim olunur:

$$P(t) = \begin{cases} \sqrt{\frac{a_1}{a_3} \left(1 - \frac{2}{1 + e^{2\sqrt{a_1 a_3}(t+c)}} \right)} = P_1(t) \\ P_1(t) - \frac{C + a_2 - a_3 e^{C(t-\tau)}}{-2a_3} \end{cases}$$

Problemin həlli əsasən belə olar $P(t) = e^{2t - e^2(t-\tau)}$. Aparılan tədqiqatlar belə nəticəyə gəlməyə imkan verir ki, lay suyu ilə hazırlanmış qaz ayıran sulu məhlullardan istifadə edildikdə reaksiyanın ilkin anında qazın üçüncü fazaya sürətlə keçməsi müşahidə olunur və diffuziya faktorunun olmaması sıxışdırma zonasında su və neftin doymada daha yaxşı nəticə alınmasına imkan verir⁹.

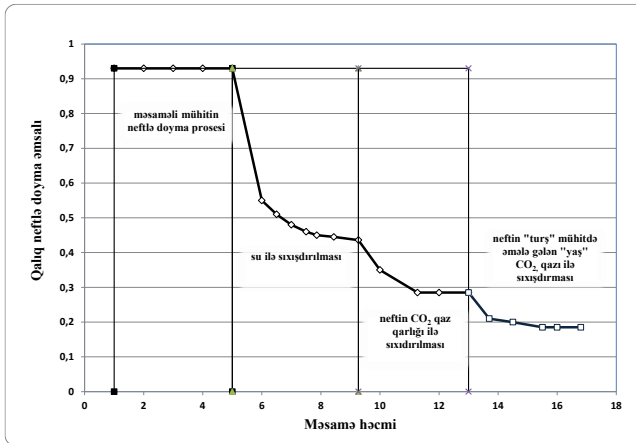
CO₂-nin qarışıq şəklində sıxışdırıcıdan istifadə etməklə neftvermənin artırılması üsullu əlverişlidir, burada nəzərə almaq lazımdır ki, nefti sıxlıq (ρ) və özlülük (μ) xüsusiyyətləri ilə fərqlənən mayelərlə sıxışdırdıqda yerdəyişmə cəbhəsində qeyri-sabit “barmaqların” yaranmasına və təbəqələşməsinə səbəb olur. CO₂ neftdə həll olunduqda, sonuncunun özlülüyü azalır, onun sıxlığı isə CO₂-nin konsentrasiyasından asılı olaraq dəyişilir.

⁹Panakhov, G.M., Bakhtiyarov, S.I., Shakhverdiev, A.Kh., Abbasov, E.M. Kinetics of Gas Generation in Water Solutions // Transactions of AMEA, issue Mathematics and Mechanics series of physical-technical & mathematical sciences, XXIV, Baku, 2006. - pp. 239-246.

CO₂-nı məsaməli mühitə vurulduqda qaz ilkin anda mühitin yuxarı hissəsində cəmləşir və molekulyar diffuziya hesabına tədricən lay neftində həll olunur.

Reaksiya zamanı qazın əmələ gəlməsində ayrılan karbon qazı ilə məsaməli laydan neftin sıxışdırılmasının səmərəliliyini qiymətləndirmək üçün bir sıra laboratoriya tədqiqatları aparılmışdır.

Birinci mərhələdə məsaməli mühit su ilə doyurulmuş, mühitin məsaməliliyi qiymətləndirilmiş, neftlə su sıxışdıraraq mühitin su və neftə görə doyma parametrləri qiymətləndirilmişdir. İkinci mərhələdə nefti məsaməli mühitdən stabil halı alana kimi su ilə sıxışdırılmış, neft verim əmsalı müəyyənləşdirilmişdir. Üçüncü mərhələdə qalıq neft karbon qazı (CO₂) ilə, son mərhələdə isə "turşu" mühitdə əmələ gələn "yaş" karbon qazı ilə sıxışdırılmışdır. Alınan nəticələr şəkil 4-də göstərilmişdir. Təcrübələrdən görüldüyü kimi, "yaş" CO₂ ilə sıxışdırmada o biri hallara nisbətən effektivlik daha yüksək olmuşdur.



Şəkil 4. Sıxışdırmada qalıq neftlə doyma əmsalının dəyişməsi

Qaz əmələ gələn komponentlə təmasda olub laya vurulan "turşu" mühitdə intensiv olaraq karbon qazı əmələ gətirir ki, bu da su ilə qarışdıqda sabit qaz-maye sistemi yaradır. Texnologiyanın sənaye tətbiqi, təbii mineral xammalın emalı zamanı istixana qazları ilə havanın çirklənməsi mənbəyi olan tullantıların istifadəsini nəzərdə tutduğuna görə ekoloji cəhətdən də əhəmiyyətlidir

Üçüncü fəsildə qazın lay daxilində əmələ gəlməsi prosesi əsasında neft hasilatının səmərəliliyinin artırılması üsulunun modelləşdirilməsi həyata keçirilir. Məhsuldar kollektor şəraitini simulyasiya edən “kern” nümunələri üzərində bir sıra laboratoriya tədqiqatları aparılmışdır. Sınaqlar yataqların geoloji, texniki və texnoloji şəraitinə əsasən işlənmiş qaz yaratma texnologiyasının uyğunluğun olub olmaması məqsədini daşıyırdı. Bunların korroziyaya davamlılığını öyrənmək üçün laboratoriya tədqiqatlarının aparılması vacib olmuşdur. İşdə quyu avadanlığının minimum korroziya sürətinə imkan verən optimal inhibitorların mövcudluğu müəyyən edilmişdir..

Tədqiq olunan sistemlərə inhibitor əlavələri ilə aparılan işlərin nəticələri göstərmişdir ki, şərti olaraq qeyd olunan və mədən şəraitində istifadə olunan A1, A2 və A3 inhibitorları bir çox mədən şəraitində vurulan suyun xüsusiyyətlərinə kifayət qədər uyğundur və korroziyaya qarşı aktivlik nümayiş etdirirlər.

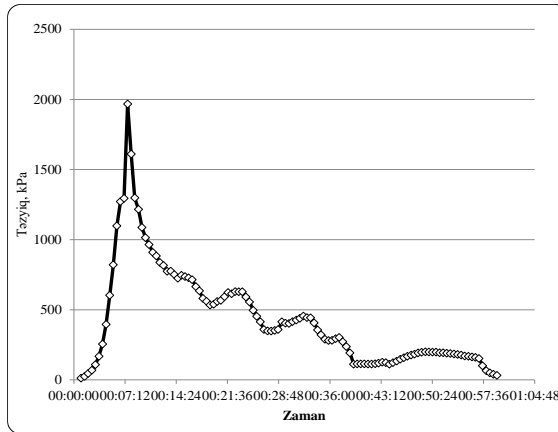
Nəzərdə tutulan sıxışdırma məsələlərinin səmərəli həyata keçirilməsi məqsədilə qaz yarıdan kompozisiyaların seçilməsi üzrə kompleks analitik və laboratoriya tədqiqatları hazırlanmış və həyata keçirilmişdir.

Sıxışdırma ilə əlaqədar təcrübələr CoreTest Systems FFES 655 neft layının fiziki modelləşdirilməsi üçün yaradılmış süzülmə qurğusunda aparılmışdır. Reagentlərin və tərkiblərin süzülməsi Vatyooqan yatağının AB8-in layından olan silindrik formalı təbii süxur nümunəsində lay şəraitinə uyğun aparılmışdır. Təcrübələrin nəticələri laydaxili karbon qazının yaradılmasına əsaslanan sanki qaynayan qaz-maye aralığının (SQGMA) köməyi ilə qalıq neftin effektiv sıxışdırılması təsdiqlənmişdir.

Burada eksperimental nəticələrə əsasən, kern nümunələrinin vurucu istiqaməti boyunca sıxışdırmada qeyri- bircinsliyin olduğu və, aparılan təcrübələrdə qalıq neftin sıxışdırılmasında yüksək effektivliyin 50-150 mD keçiricilik diapazonunda müşahidə edilmişdir.

İşdə, sonrakı mərhələdə CO₂ daxil olanın qaz-maye aralığının laydaxilində formalaşması üçün innovativ həllər kontekstində son illərdə laboratoriyada aparılan nəzəri və eksperimental işlərin, eləcə

də sənayedə tətbiqinin nəticələri müzakirə olunur. Çin Xalq Respublikası neft şirkətlərinin sahə institutlarında lay sisteminin real şəraitini simulyasiya edən məsaməli mühitdə neftin sıxışdırılması ilə əlaqədar laboratoriya tədqiqatlar aparılaraq, yataqlarda qalıq neft ehtiyatlarının çıxarılması üçün yeni texnoloji üsul (reoqaz-kimya) araşdırılmışdır¹⁰. Neftin lay suyu ilə sıxışdırılması mərhələsində mayenin axını $Q = 0,017 \text{ sm}^3/\text{san}$ -a bərabər saxlanmışdır. Bu mərhələdə üç məsamə həcmi 3PV su vurulmuş - 54 ml, sıxışdırılan neftin həcmi $V_n = 8,0 \text{ ml}$ olmuşdur. Neftin SQGMA ilə sıxışdırma mərhələsində qaz əmələ gətirən reagentlərin mühitə vurulma parametrləri aşağıdakı kimi olmuşdur: mayenin axını $Q = 0,017 \text{ sm}^3/\text{s}$, sıxışdırılan neftin həcmi isə $V_{oil} = 6 \text{ ml}$. Burada laydaxili qaz əmələ gətirən məhlulları məsaməli mühitə vurulması zamanı sıxışdırmada mühit daxilində təzyiqli dəyişməsinin dövrü rəqslərlə xarakterizə olunduğu müşahidə edilmişdir (şəkil 5).



Şəkil 5. Neftin SQGMA ilə sıxışdırma zamanı təzyiqlərin dəyişməsinin qrafiki

Laboratoriya təcrübələrini yekunlaşdıraraq, işlənib hazırlanmış lay daxili qaz əmələ gətirmə üsulunun Çin Xalq Respublikasının neft

¹⁰Geylani M. Panahov, Eldar M. Abbasov, Renqi Jiang The novel technology for reservoir stimulation: in situ generation of carbon dioxide for the residual oil recovery // J Petrol Explor Prod Technol, Vol. 11, № 4 - pp. 2009 – 2026 (2021). <https://doi.org/10.1007/s13202-021-01121-5>

və qaz yataqlarında qalıq neft ehtiyatlarının sıxışdırılmasında səmərəli olduğu təsdiqlənmişdir.

Təqdim olunan tədqiqatlarda həmçinin SOGMA-nın formalaşmasında layda qazın əmələ gəlməsi prosesinin mexanizmi təhlil edilərək, öz növbəsində neftin sıxışdırılmasında əhatə dairəsini genişləndirmək üçün sistemin istifadə mümkünlüyü araşdırılmışdır. Bu halda, texnoloji baxımdan ən vacib, məsələ kimi məsamə “boşluğunun” qazla doymanın köpük sistemi ilə əvəz olunmasının vacibliyi əsas götürülmüşdür. Təcrübələr sodanın sulu məhluluna əlavə olunmuş poliakrilamidin (PAA) köpükləndirici kimi istifadəsi əsaslandırılmışdır. Bu istiqamətdə aparılan laboratoriya təcrübələrində məqsəd işlənmiş kompozisiyaların yüksək keçiricilikli məsamə intervallarının bağlanması, eləcə də neft, qaz və qaz-kondensat yataqlarında istismar quyularının işlənməsi zamanı izolyasiya sistemi kimi, istifadə edilmə imkanlarının öyrənilməsi olmuşdur. Sərbəst qaz daxil olmuş polimer mayələrinin yüksək elastikliyə malik mühitdən qaz qabarcıqlarının kortəbii çıxması olduqca problemlidir. Nəticədə, iki fazlı polimer sistemləri digər sistemlərlə müqayisədə daha yüksək çökmə və aqreqasiya dayanıqlığına malikdir. Belə sistemlərin reoloji xüsusiyyətlərini qiymətləndirmədə polimer və köpük çərçivəsinin dağılması səbəbindən onların zamanla dəyişməsinə nəzərə almaq lazımdır.

Stabil köpük strukturu əldə etmək üçün sistemin komponentlərindən birinə, kimyəvi reagent kimi üçvalentli metal duzunun əlavə edilməsi təklif edilmişdir ki, bu da ona üstəlik tiksotropluq xassə verir. Layda bu əlavədən əmələ gələn gel strukturunun stabilliyi təkcə kompleksləşdirici maddələrin mövcudluğundan deyil, həm də bir sıra digər səbəblərdən asılıdır. Bura mühitdə temperatur, suyun duzluluğu, sistemdə konsentrasiyalar və s. qeyd oluna bilər. Layda gəlin ömrü son dərəcə mühüm rol oynayır və tədqiq olunan texnologiyanın effektivliyini müəyyən edir. Buna görə də tədqiqatlarımızda meydana çıxan tikilmiş polimer sisteminin stabilliyinə xüsusi diqqət yetirilir. Bu sistemlər həm də sinerezis fenomeninə məruz qalır ki, bu da onun həcmi əhəmiyyətli dərəcədə azalda bilər və əmələ gələn köpüyün dağılmasına səbəb ola bilər.

Laylara yeridilmiş maddələrin möhkəmlik xüsusiyyətlərini tənzimləmək üçün poliakrilamidin sulu məhlulları əsasında qaz ayırıcı sistemlərin reoloji xassələrinin öyrənilməsinə həsr olunaraq aparılan tədqiqatlar polimer və tikici reagentlərin növünün seçiminə əsaslanır. Təcrübələr zamanı polimer kompozisiyasının bloklamada möhkəmlik xüsusiyyətlərinin layların temperatur şəraitindən asılı olaraq dəyişdiyini nəzərə alaraq, işdə bu istiqamətdə eksperimental tədqiqatlar aparılmışdır. Müəyyən edilmişdir ki, temperatur yüksəldikcə (termostatik nəzarət 423 K qədər) köpük sisteminin dayanıqlığı azalır, bu da PAA molekullarının uzun qütb hissələrinin “laxlanma” prosesi ilə izah olunur ki, nəticədə məhlulun özlürlüyü azalır və nəticədə köpük sistemlərinin dayanıqlığı azalır.

Yaranan köpük məhlullarının istiliyə dayanıqlığını artırmaq üçün polimerin özlürlüyü azalma prosesinə təsir göstərən stabilizator kimi xrom liqnosulfonatın əlavələrindən istifadə etmək təklif edilmişdir. Təcrübələrin nəticələri göstərmişdir ki, xrom liqnosulfonat kimyəvi reagentlərinin özlü-elastik polimer kompozisiyalarına əlavələrin 2,0 - 4,0 % (çəki ilə) 273 ÷ 423 K temperatur aralığında kompozisiyaların stabilliyinə nail olmağa imkan verir.

İşdə həmçinin, yüksək keçiricilikli zonaların daha keyfiyyətli bloklamasını təmin etmək üçün poliakrilamid əsaslı kompozit qaz yaradan sistemə bentonit gil tozunun əlavə edilməsi təklif edilmişdir. Bunu qiymətləndirmək üçün bir sıra laboratoriya tədqiqatları aparılmış, kompozit sistemin bloklama xüsusiyyəti qiymətləndirilmişdir.. Bu məqsədlə müxtəlif keçiriciliyə malik iki qatdan ibarət xüsusi hazırlanmış məsaməli mühit süzülmə qurğusundan istifadə edilmişdir. Burada birinci təbəqənin keçiriciliyi $0,1 \mu\text{m}^2$, ikinci yüksək keçiricilik intervalı isə $1 \mu\text{m}^2$ olmuşdur. Birinci mərhələdə model su ilə doydurularaq məsaməlilik qiymətləndirilmiş və sonra su neftlə sıxışdırılaraq, axının süzülmə müqaviməti $R_1 = Q_s / Q_n$ müəyyən edilmişdir. burada Q_s və Q_n müvafiq olaraq yüksək keçiriciliyə malik və aşağı keçiriciliyə malik laylarda mayenin axın sürətidir. Sonra, modelə poliakrilamidin 0,25% sulu məhluluna 12% natrium karbonat Na_2CO_3 və 5% çəki nisbətində bentonit gil tozu əlavə edilmiş olan qaz ayırıcı sistem

vurularaq. süzülmə axınının paylanması R_2 yenidən müəyyən edilmişdir. Təcrübələrin növbəti mərhələsində məsaməli mühitə ardıcıl olaraq 5% çəki nisbətində bentonit gil tozunun əlavə edilməsi ilə qaz yaradıcı maddə xlorid turşusu qaz əmələ gətirən məhlulu vurulmuş, süzülmə axınının paylanması müəyyən edilmişdir. Təcrübələrin növbəti mərhələsində polimer-gil sisteminin aerasiya kimi modelə qaz ayırıcı (gil tozunun konsentrasiyası 10%) və xlorid turşusu vurulmuşdur. Tədqiqat nəticələrini müqayisə etmək üçün növbəti seriyada qaz ayırıcı tərkib kimi istifadə edildiyi bentonit gil tozu olmayan halda 12 % natrium karbonat Na_2CO_3 əlavə edilmiş poliakrilamidin sulu məhlullarının və xlorid turşusunun sulu məhlulu ilə təcrübələr aparılmışdır. Reaksiyaya girən məhlulların ümumi həcmi modelin məsamə həcmi 0,3 hissəsini təşkil etmişdir.

Dissertasiya işinin dördüncü fəslində laydaxili karbon qazının əmələ gəlməsi prosesində qalıq karbohidrogen ehtiyatlarının çıxarılmasının texnoloji əsaslar qiymətləndirilmiş və əsaslandırılmalar aparılmışdır. Yerüstü kommunikasiyalardan vurulmasını təşkil etmədən laydaxili karbon qazının yaradılmasına əsaslanaraq təklif olunan sanki qaynayan qaz-maye aralığı (SQGMA) ilə sıxışdırma texnologiyası təkcə texnoloji deyil, həm də əhəmiyyətli iqtisadi səmərəliliyə malikdir. Bu texnologiyada lay şəraitində qaz əmələ gətirən və qaz ayıran kimyəvi reagentlərin sulu məhlullarının ardıcıl olaraq laya vurulması nəticəsində termokimyəvi stoxiometrik reaksiya nəticəsində karbon qazı əmələ gəlir. Tədqiqatlarda reaksiyada iştirak edən kimyəvi maddələr kimi suda həll olunan natrium karbonat (Na_2CO_3) və xlorid turşusu (HCl) istifadə edilir ki, bunların suda məhlullarında reagentlərin konsentrasiyası və onların həcmi stoxiometrik reaksiya nəticəsində alınan karbon qazının miqdarına əsasən qiymətləndirilir. Məlum olduğu kimi, bir ton natrium karbonat 0,7 ton xlorid turşusu ilə tam zərərsizləşdirildikdə normal şəraitdə reaksiya zamanı 210 nm^3 karbon qazı ayrılır. Bunu nəzərə alaraq kimyəvi reagentlərin vurulması zamanı iş şəraiti nəzərə alınır və layların termodinamik şəraitində reaksiyaya girən maddələrin həcmi temperatur və təzyiqdən asılı olaraq qiymətləndirilir.

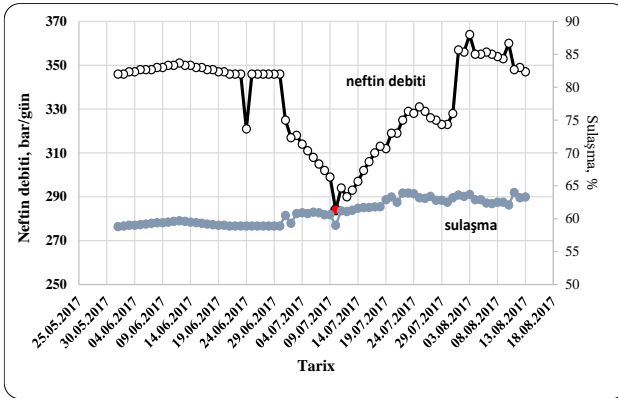
Layda yaranan SQGMA sistemi neftvermə prosesi üçün müsbət effekt əldə etməyə imkan verən bir sıra sinergetik xüsusiyyətlərə malikdir: layda əlavə enerji mənbəyinin yaranması; lay şəraitində yaranan karbon qazının neftdə həll olunması hesabına həcm effektin olması neftvermə əmsalının yüksəldilməsinin təmin edilməsində özünü göstərir; qazın əmələ gəlməsi prosesində istifadə olunan kimyəvi maddələr və yerində əmələ gələn reaksiya məhsulları özlü-elastiki və elektrokinetik xüsusiyyətlərə malikdir ki, bu da yerdəyişmədə süzülmə sürətini artırmağa imkan verir; flüidlərdə sıxlıqlar fərqi yaranmasına gətirir; əmələ gələn qaz həm də layda köpük yaratmaqla yüksək keçiricilik qabiliyyətinə malik kanalların bloklanmasını təmin edir, bununla belə vurulan su ilə sıxışdırmada əhatə dairəsini genişləndirir. Texnologiyada həmçinin periodik olaraq köpük əmələ gəlməsini təmin edir. Proses nəticəsində həmçinin aşağıdakı hallar baş verir: “CO₂-nin superkritik vəziyyətinə” uyğun gələn müəyyən termobarik şəraitdə karbohidrogen komponentlərinin məsamə kanallarının səthindən sıxışdırıb çıxarır, quyuların dib zonası asfalten və digər çirkləndirici çöküntülərdən təmizlənir; laya su vurma zamanı yaradılan qaz-maye aralığı sərhəd zona profilinə yeni sistemlərin daxil olmasını təmin edir və qaz-maye qarışıqların dövrü formalaşması ilə sıxışdırma prosesini tənzimləməyə imkan yaradır.

Layda əmələ gələn, və neftdə həll olunan karbon qazı onun həcmi artırır və özlülüüyü azaldaraq, suyun vurulması zamanı qeyri-sabitliyini aradan qaldırır. Durgun zonalardan neftin sıxışdırılmasında səthi gərilməni azaldır və eyni zamanda laya ənənəvi olaraq böyük həcmli qaz vurma texnologiyalarında baş verən problemi (hasilat quyularına qazın çıxmasını) aradan qaldıraraq tamlıqla həll edir. Üsulun geniş istehsal qabiliyyəti müəyyən icra sahələrinə uyğun şərtlərdən asılı olaraq əməliyyat parametrləri üçün optimal uyğunluqları tapmağa imkan verir. Texnologiyanın pilot tətbiqi Vatyegan neft yatağında (Rusiya Federasiyası) geoloji obyekt AB8 olan layda həyata keçirilmişdir. Burada lay (AB8) AB8-1, AB8-2a və AB8-2b təbəqələrdən (laycıqlardan) ibarət olub, qumlu-gilli çöküntüləri ilə seçilmişdir. Layda yaranan SQGMA texnologiyasının sənayedə tətbiqi 6-9 ay ərzində ətrafdakı istismar quyularından neft

hasilatının texnoloji səmərəliliyini artırılmasını təsdiq etmişdir. Burada Vatyeqan yatağının pilot sahəsində istifadə olunan üç vurucu quyusundan təsirə məruz qalan 21 istismar quyusundan layihənin həyata keçirilməsinin texnoloji səmərəliliyin hesablamasında olan nəticələr aşağıdakı kimi olmuşdur: sahənin ayrı-ayrı istismar quyuları üzrə əlavə neft hasilatı 5684 ton (cari neft hasilatında 12,6% artım); bütövlükdə ərazi üzrə isə əlavə neft hasilatı 5759 ton təşkil etmişdir (cari neft hasilatında 12,8% artım).

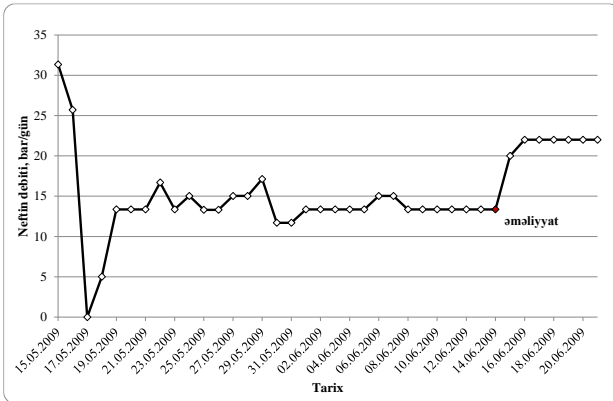
Mədən əməliyyatları təcrübəsinin göstərdiyi kimi, qaz-maye aralığının yerində əmələ gəlməsi və yüksəkkeçiricilik intervallarının bloklanması şəraitində əldə olunan əlavə neft hasilatı, vurulan suyun istiqamətinin və həcmnin dəyişdirməsi ilə zəif drenajlı zonalardan qalıq karbohidrogenlərin çıxarılmasına imkan yaratmışdır. Həmçinin Novo-Pokursk yatağının (Rusiya Federasiyası) sulaşmış laylarından neftin çıxarılması ilə əlaqədar işdə təklif ulunan texnologiyanın sınaq işləri həyata keçirilmişdir. Novo-Pokursk (NQY-60-da) neft-qaz yatağında YuV1(2) laydan işləyən üç - 1114/7, 1112/7, 64/13 nömrəli su vurucu quyularında əməliyyat aparılmışdır. Burada quyulara vurulan kompozisiyaların ümumi həcmi 1114/7-də 120 m^3 , 1112/7-də 130 m^3 və 64/13 sayılı quyusunda 110 m^3 olmaqla hər birində əməliyyat iki tsikldə aparılmışdır. Təmizlənməsi prosesi zamanı müəyyən edilmişdir ki, quyuların vuruculuq qabiliyyətində qiymətlər dəyişilmiş, sərf artmış və eyni zamanda vurulma təzyiqinin dəyişmə dinamikası aşağıdakı kimi olmuşdur: 1114/7 quyusu üçün ilkin təzyiq $P_n = 18,5 \text{ MPa}$, birinci tsikldən sonra təzyiq $P_1 = 15 \text{ MPa}$, vurmanın sonunda təzyiq $P_k = 18 \text{ MPa}$; 1112/7 quyusu üçün $P_H = 16 \text{ MPa}$, $P_1 = 13 \text{ MPa}$, $P_k = 15 \text{ MPa}$; 64/13 quyusu üçün $P_H = 15,5 \text{ MPa}$, $P_1 = 11 \text{ MPa}$, $P_k = 15 \text{ MPa}$. Novo-Pokursk yatağında aparılan tədqiqat nəticəsində işlənmə göstəricilərinin təhlili göstərmişdir ki, burada 10 quyusu təsirə məruz qalmış və texnologiyanın tətbiqi dövründə əlavə neft hasilatı 3906 ton təşkil etmişdir. Texnologiyanın tətbiqi Orenburq neft-qaz kondensat yatağında da həyata keçirilmişdir. Burada Artinski yatağının məhsuldar hissəsi nisbətən aşağı filtrasiyalı lay xüsusiyyətlərinə malik karbonat süxurlarından ibarətdir. Durgun zonalardan neft ehtiyatlarının çıxarılmasında effektivliyi artırmaq məqsədilə təklif olunan laydaxili SQGMA

texnologiyasının sənayedə tətbiqi Çin Xalq Respublikasının dənizdə və duruda neftçixarma yataqlarında geniş şəkildə tətbiq olunmuşdur. Burada yataqlar məsələliliyin və keçiriciliyin paylanmasında böyük dəyişkənliklə xarakterizə olunur ki, bu da ümumiyyətlə iş şəraitinin müxtəlif və çətin olmasını təsdiqləyir. Bunlara müxtəlif dərinliklərdə neftin “çalalarda” kortəbii paylanmasının mövcud olduğu Daqing, ShengLi, Dagang, Zhongyuan yataqlarını misal göstərmək olar. Bu cür CO₂ qazı ilə neftçixarmanın stimullaşdırılması texnologiyalarının geniş istifadəsi həm sənaye CO₂ ehtiyatlarının olmaması, həm də texniki məhdudiyyətlərin olması ilə məhdudlaşır. Təklif olunan laydaxili SQGMA texnologiyası COSL (Çin Xalq Respublikası) xidmət şirkətinin dəstəyi ilə CNOOC neft şirkətinin dənizdəki Penqlai yatağında bir qrup istismar quyusunu əhatə edən iki su vurucu quyusunda (2017 – 2018-ci illər) həyata keçirilmişdir. Texnoloji əməliyyat stasionar dəniz platformasında yerləşən suurma quyularına qaz əmələ gətirən və qaz yaranan kimyəvi tərkiblərin bir neçə tsikldə vurulması ilə əsaslandırılaraq başa çatdırılmışdır. Texnoloji əməliyyatın nəticələri olaraq, ətraf quyular üçün orta sutkalıq debitinin və suyun azalmasının dinamikası şəkil 6-də göstərilmiş kimi olmuşdur.



Şəkil 6. Laydaxili CO₂ əməliyyatından əvvəl və sonra C36S T1 quyusunda neft hasilatı və sulaşma göstəricilərinin dinamikası

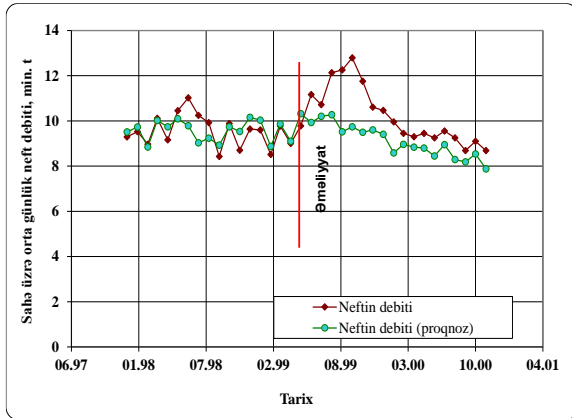
Bu istiqamətdə təklif olunan texnologiyanın tətbiqi ilə suvarılan laylardan qalıq neftin çıxarılması əməliyyatı Muskogee yatağında (Oklahoma, ABŞ) işlənmənin son mərhələsində həyata keçirilmişdir. Burada tükənmiş laylarda qalıq ehtiyatlardan neft çıxarmada effektivliyin artırılması məqsədilə keçiriciliyi– $9 \div 15,10-6 \mu\text{m}^2$, məsaməlilik – $13 \div 17\%$, lay temperaturu – 301 K ; və lay təzyiqi - $5,5 \text{ MPa}$ olan laylardan ibarət üç su vurucu quyusunda əməliyyat aparılmışdır. Mədən əməliyyatlarının nəticələri aşağı keçiriciliyə malik laylarda olan neftin çıxarılması üçün laydaxili CO_2 qazının stimulyasiyasından istifadənin effektivliyini təsdiqlənmişdir. Laya təsirinin nəticələrinə əsasən, suvurma sahəsində üç quyu üzrə orta sutkalıq neft hasilatında iki dəfə - sutkada 13 bareldən 26 barelə qədər artım müşahidə edilmişdir (şəkil 7):



Şəkil 7. Muskogee yatağında əməliyyatdan sonra neft hasilatının dinamikası

Qərbi Sibir yataqlarında laydaxili SQGMA texnologiyası ilə birlikdə yüksək keçiricilikli kanalların izolyasiyasını təmin edən sistem texnologiyasının tətbiqi həyata keçirilmişdir. Burada özlü-elastiki tərkib (ÖET) kompozisiyadan ibarət olub, yüksək keçirici lay intervallarının bağlanması və laydaxili SQGMA texnologiyalardan istifadə edilərək, ardıcıl olaraq laya vurulması əsaslandırılmışdır. ÖET-ini laya vurmazdan əvvəl polimerin sulu məhlulu onun aşağı keçiriciliyə malik neftlə doymuş intervallara girməyə başladığı təzyiqdən böyük təzyiq altında vurulur quyu ağzında təzyiqi sıfıra salaraq, özlü elastik tərkibin kompozisiyası vurulur.

Yüksək keçirici lay intervallarının bağlanması və laydaxili SQGMA texnologiyalardan birgə istifadə edilərək, aparılan əməliyyat Samotlor yatağında həyata keçirilmişdir. Mədən tədqiqatlarından sonra layda reaksiya məruz qalan quyuların hasilatının məhsuldarlıq göstəricilərinin təhlili göstərmişdir ki, sahənin böyük əksəriyyətində istismar parametrlər dəyişilmiş, məhsulda sulaşmanın miqdarı azalmış, neft hasilatında göstəricilərin dinamikasında artım müşahidə olunmuşdur. Faktiki və proqnoz göstəricilərin zamana görə dəyişilməsi şəkil 8-da göstərilmişdir.



Şəkil 8. Neft hasilatının zamana görə dəyişilməsi

Sonrakı mərhələdə birgə istifadə edilən sistem texnologiyasının tətbiqi Tyumen Neft Şirkəti Samotlor yatağının AB4-5 və BV8 məhsuldar qatlarında 12 quyuda yüksək texnoloji səmərəliliklə həyata keçirilmişdir.

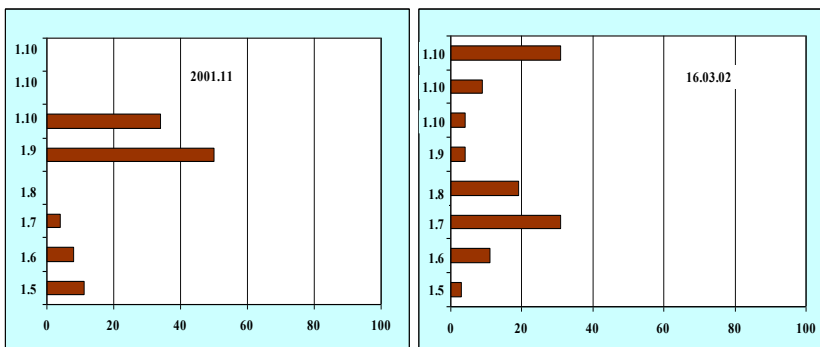
Beşinci fəsilə qaz yaranan tərkiblə quyuların dib zonasının suffoziyalı təmizlənməsi üzrə laboratoriya və mədən tədqiqatlarının nəticələri təqdim olunmuşdur. Lay təzyiqinin saxlanması ilə əlaqədar aparılan geoloji-texniki tədbirlərlə bərabər quyuyu dib zonasında (QDZ) məsələli mühitin təmizlənməsini və ilkin keçiriciliyinin bərpasını təmin edən dib formalaşması işləri eyni qaydada qiymətləndirilir. Qeyd etmək lazımdır ki, xlorid turşusunun (HCl) dib zonasını təşkil edən süxurlarla qarşılıqlı təsiri layın məsələlərində və kanallarında həll olunmayan çöküntülərin əmələ gəlməsi ilə müşayiət olunur.

Bu tədbirdən fərqli olaraq QDZ-nın sanki qaynayan qaz əmələ gətirmə ilə sistem texnologiyasının işlənməsi tədqiqatları həm su vurucu və həm də istismar quyularında daha da effektiv olduğunu təsdiqlənmişdir.

Aparılan laboratoriya tədqiqatları və mədən əsaslandırmanın nəticəsi olaraq bu istiqamətdə ÇXR-nın Zhongyuan yatağında texnologiya tətbiq edilmişdir. Burada obyekt Üçüncü Formasiyalarının üçüncü qatının Lian Hua neftlə doymuş Şeyci çöküntü yataqlarıdır.

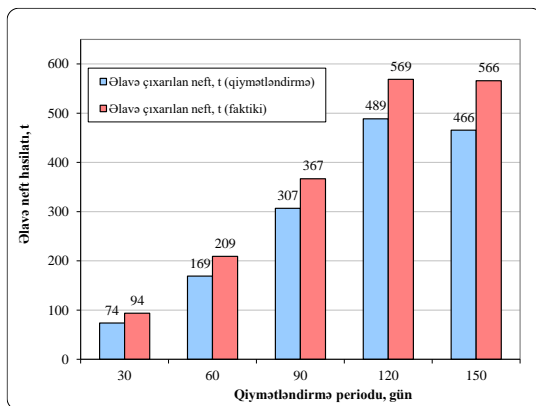
Yataqda məhsuldar qatın dərinliyi 1430 ilə 1690 m arasında olmaqla, orta qalınlığı 57,74 m, sahəsi 2,39 km²-dir. Təxmini balans neft ehtiyatları 1,653,104 min ton təşkil edir. Təklif olunan laydaxili SQGMA texnologiyasının tətbiqi dörd sahəni əhatə edən 25 su vurucu quyusunda həyata keçirilmişdir. Yatağın seçilmiş ərazisində texnologiyasının tətbiqi üçün yataqda mövcud infrastrukturdan istifadə edilmişdir ki, bu da, əlavə avadanlıq və kommunikasiyalara əlavə xərc tələb etmədiyindən mühüm üstünlüyə malik olduğunu əsaslandırmışdır.

Texnoloji əməliyyatdan əvvəl və sonra su vurma təzyiqin və sərfin nəticələri qeyd olunmuş, quyuların maye qəbul etmə qabiliyyətləri qiymətləndirilmişdir (Q/P_{vur}). Bütün quyuların (316VC quyusu istisna olmaqla) maye qəbul etmə qabiliyyətinin xüsusiyyətləri istismardan sonra əhəmiyyətli dərəcədə dəyişmişdir ki, bu da vurulan sistemin təsiri altında layda əhatə dairəsinin genişləndiyini göstərir. Burada qəbul profilinin dəyişməsi şəkil 9-da olduğu kimi qeydə alınmışdır.



Şəkil 9. 317-10 sayılı su vurucu quyusunda əməliyyatından əvvəl və sonra qəbul profilinin dəyişməsi

Zhongyuan yatağının suvurma sahələrindəki hasilat quyularının göstəricilərinin dinamikasının, eləcə də yatağın işlənmə tarixinin təhlili (şəkil 10). bizə təklif olunan laydaxili SQGMA texnologiyanın tətbiqində səmərəli təsirin və geniş istifadə mümkünlüyü barədə nəticə çıxarmağa imkan vermişdir.



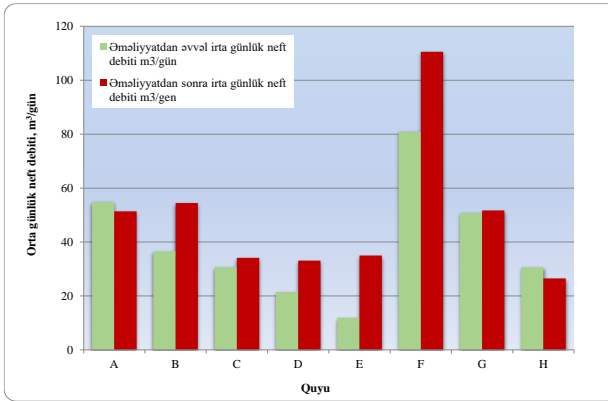
Şəkil 10. Zhongyuan yatağında proqnoz və faktiki neft hasilatının dinamikası

Texnologiya, həmçinin COSL xidmət şirkətinin texniki yardımı ilə CNOOC neft şirkətinin Bohai Bay dənizindəki bir qrup istismar quyularını əhatə edən iki suvurma quyusunda tətbiq edilmişdir (2009-2010 illərdə). Sistem şəklində əməliyyatlar üçün təklif olunan birinci qrup E25 su vurucu quyu ətrafdakı E19, E24, E20, E21, F4, F5, G1 istismar quyuları ilə; ikinci qrup - H5 su vurma

quyusu isə ətrafdakı F32, F33, H4, H11, H12, H13, H6, G25, E25 hasilat quyuları ilə təmsil olunmuşdur

Aparılan texnoloji əməliyyatdan sonra suyun vurulması təzyiqinin dinamikasının təhlili göstərmişdir ki, su vurmada hidravlik müqavimət artaraq təzyiq 1,4 MPa-dan 5,7 MPa-ya ($\Delta P = 4,3$ MPa) qədər dəyişilmişdir. Bu da öz növbəsində dolayısı ilə sıxışdırmada əhatə dairəsini genişləndirərək, aşağı keçiriciliyə malik lay kanalları istiqamətində axının yönəlməsini təsdiqlənmişdir. H5 qrupu üzrə üsulun tətbiqinin altı ay ərzindəki nəticələrindən aydın olmuşdur ki, burada ümumi əlavə neft hasilatı $\Delta Q_n \approx 7000,00$ ton təşkil etmişdir.

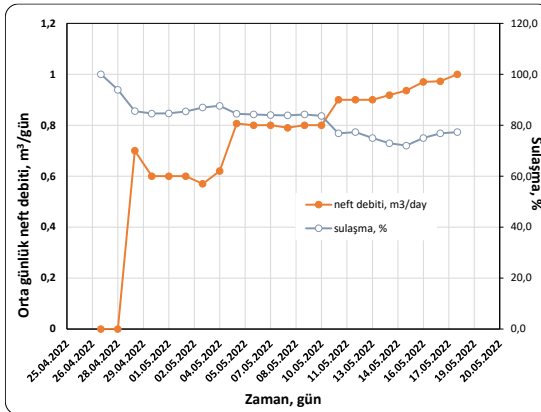
Yataq sahəsində 8 ətraf istismar quyusu olan 9 nöqtəli işlənmə sisteminin orta sutkalıq debiti və suyun azalması dinamikası uyğun olaraq şəkil 11-də *a* və *b*-də verilmişdir.



Şəkil 11. H5 qrupu üzrə ərazinin 8 ətraf quyusu üçün məhsulun orta sutkalıq debitinin-zamana görə dəyişilməsi

E25 qrupu üzrə neft hasilat göstəricilərinin dinamikasının və təsirə məruz qalan quyuların məhsullarının təhlili göstərmişdir ki, laydaxili SQGMA-nın təsirinə müsbət reaksiya var və bu istiqamətdə dəyişikliklər müşahidə olunur. Qrup üzrə sahədəki ətraf quyularının əksəriyyətində orta sutkalıq neft hasilatı artmış, məhsulda sulaşma azalmışdır. Texnoloji əməliyyatın ilkin nəticələri təsdiq etmişdir ki, əməliyyatdan sonrakı altı ay ərzindəki dövr üçün ümumi əlavə neft hasilatı (üç istismar quyusundan hasilatın azalması nəzərə alınmaqla) $\Delta Q_n = 5893,69$ ton təşkil etmişdir. İşdə sonrakı mərhələdə istismar

quyularında neft hasilatının intensivləşdirilməsini təmin etmək məqsədilə QDZ-nın kolmatantlardan, asfalt, qatran və parafin çöküntülərindən təmizləmək üçün innovativ texnologiya təklif edilmiş tədqiqlər aparılmışdır. İşdə bu istiqamətdə laboratoriya və mədən tətbiqlərinin nəticələri verilərək araşdırmalar aparılmışdır. Cari fəsildə məsaməli mühit modelində çirklənmiş mühitin təklif olunan texnologiya ilə suffozion təmizlənməsi laboratoriya tədqiqatları müsbət nəticələri əsas vermişdir ki, bu işləri real şəraitdə həyata keçirək. Bu məqsədlə işdə təklif olunan texnoloji həll Binəqədi yatağının (Azərbaycan) istismar quyularında QDZ-nın kolmatantlardan təmizləyərək neft hasilatının intensivləşdirilməsi üçün tətbiq olunmuşdur. Əməliyyat aparılan əksər quyularda istismardan əvvəl orta gündəlik neft debiti 0,5 t/gün təşkil etmişdir. Kimyəvi reagentlərin sulu məhlulları quyulara vurulmuş və QDZ-nın kolmatantlardan tənzimlənməsi nəticəsində hasilatın artmasına nail olunmuşdur. 232907 №-li quyusunda aparılan əməliyyatın nəticələrində səmərəliliyin artım dinamikası şəkil 12-də göstərilmişdir.

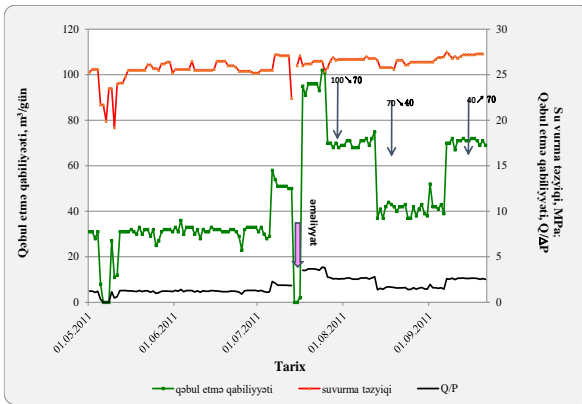


Şəkil 12. Binəqədi yatağının quyusunda aparılan texnoloji əməliyyatının səmərəliliyi

Liuzan yatağının şimal hissəsində reo-qazkimyəvi kompozisiyadan istifadə edilməklə quyuların suffozion təmizlənməsi üzrə növbəti sənaye layihəsi həyata keçirilmişdir. LiuZan yatağında yerləşən iki su vurucu quyusunda əsas (LB1-19-20-ES33 və LB2-10-

ES33) əməliyyat aparılmışdır. Burada LB1-19-20-ES33 quyusunda su vurmada təzyiqi ilkin istismar zamanındakı səviyyədə saxlamaqla, sərfin artırılmasından ibarət olmuşdur. LB2-10-ES33 quyusunda isə layda 10-cu intervalda su götürmə qabiliyyətinin azaldılması və 8 və 9-cu intervallara vurulan suyun həcmnin artırılmasının həyata keçirməsi tələb olunmuşdur (qəbul profili üzrə).

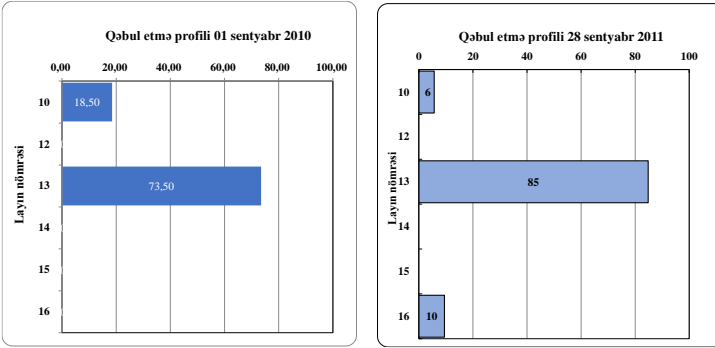
Aparılan əməliyyat nəticəsində LB1-19-20-ES33 quyusunda 10, 12 və 16 sayılı layların inyeksiya qabiliyyəti sutkada 30-dan 100 m³-ə yüksəlmiş, sonradan texnoloji tədbirlər çərçivəsində sutkada 70 m³-ə çatdırılmışdır (şəkil 13).



Şəkil 13. Reoqaz-kimyəvi kompozisiyadan istifadə edilməklə yaradılan texnoloji əməliyyatdan əvvəl və sonra LB1-19-20-ES33 su vurucu quyusunun əsas göstəricilərinin dinamikası

LB2-10-ES33 quyusunda istismardan sonra 3 ay ərzində eyni su vurucu təzyiqi saxlayaraq orta hesabla 30 m³/gün səviyyəsində su vurma qabiliyyəti artmışdır ki, bu da istismardan əvvəlki səviyyə ilə müqayisədə demək olar ki, 3 dəfə artıq olmuşdur. Əməliyyatdan sonrakı tədqiqatlar LB1-19-20-ES33 və LB2-10-ES33 su vurucu quyularında qəbul profillərin nəticələrinə əsasən görülən tədbirlərin effektivliyini və ilkin texnoloji məqsədlərə nail olunmasını təsdiq etmişdir. LB1-19-20-ES33 quyusunda vurma intervalının əsas məhsuldar layı kimi 13 sayılı intervalında su vurma qabiliyyətinin

artmasına 13,5% (73,5-85%), eyni zamanda vurulan suyun 10 və 16 intervallar üzrə bölüşdürülməsinə, 10-cu intervalında azalma; 16-cı intervalda isə su vurulmanın yaranmasına nail olunmuşdur (şəkil 14).

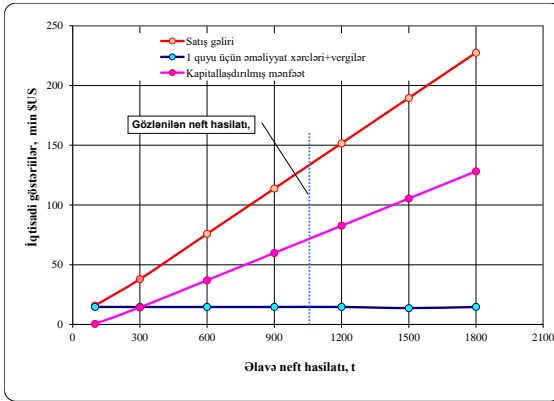


Şəkil 14. LB1-19-20-ES33 quyusunda istismardan əvvəl və sonra qəbul profilinin dəyişməsi

LB2-10-ES33 quyusunda su vurmanın istiqamətinin və sərfin dəyişdirilməsi təmin edilmişdir. Layın 10-cu intervalda su vurma 23% azaldaraq (69,01-dən 53%-ə), 8-ci intervalda 5%, 9-cu intervalda isə 76% artırılmışdır (4.51-dən 19%-ə qədər). Beləliklə, aparılan təbirdə laya su vurma təmin edilərək, nəzərdə tutulan məqsədə nail olunmuşdur.

Altıncı fəsilə laydaxilində karbon qazı yaradılması texnologiyasının tətbiqinin texnoloji və iqtisadi aspektlərin qiymətləndirilməsi verilmişdir. Əgər CO₂-nin tutulması və nəqli neft yatağının operatorundan başqa digər təşkilat tərəfindən həyata keçirilirsə, burada bu iki təşkilatın fərqli rəqabət məqsədləri gözlənilə bilər. Buna görə də, EOR-CO₂ texnologiyalarının korrelyasiyasını nəzərdən keçirərkən, CO₂ hasil edib satdıran təşkilat və neft istehsalçılarının məqsədlərini bir yerdə nəzərə almaq vacibdir. Müqayisələr göstərir ki, nəzərdən keçirilən texnoloji əməliyyatların birləşməsindən asılı olaraq, kimyəvi stimullaşdırma üsulların əvəzinə CO₂ qazının vurulmasının neftvermədə istifadəsinin əlavə dəyəri hasil edilən neftin bir barrel üçün 4 dən 33 € arasında dəyişir ki, bu da CO₂ karbon dioksidin tutulmasına 4 - 56 €/t -a ekvivalent olur. Bir çox hallarda CO₂ texnologiyası üsuluna üstünlük verilir, lakin

konkret vəziyyətdən asılı olaraq burada əməliyyatların dəyəri dəyişə bilər. Qiymətləndirmə göstərir ki, neftin qiyməti 50 avro/barel olan normal hasilat xərcləri çıxıldıqda, CO₂ qazı tətbiq edilərkən nəzərə alınacaq neftin dəyəri hasil edilən karbohidrogenlərin bir bareli üçün 8 avro ilə 41 avro arasında olar. Bir şirkətin CO₂-ni öz sahəsinə çatdırmaq üçün ödəməyə hazır olduğu xərcin nəzərdən keçirilən haldan asılı olaraq 4-dən 56 €/t arasında dəyişir ki, bu da kimyəvi üsullarla neftin çıxarılmasında alternativ üsul kimi xeyli aşağı rentabelli olar. Laylara təsir göstərmək üçün ənənəvi qaz texnologiyaları böyük həcmli karbon qazı aralıqları yaratmaq üçün bir neçə yüz min m³ vurulmasını nəzərdə tutur. Yaranan qazın kiçik həcmliyinə və istifadə olunan kimyəvi reagentlərin nisbətən baha olmasına baxmayaraq, texnoloji üsulda əldə edilən effekt iqtisadi və texnoloji rentabellidir. Aşağıda ABŞ dolları ilə bir quyunun istismarı üzrə xərclərin və neft satışından əldə olunan yığılmış mənfəət, gəlirin iqtisadi göstəricilərin asılılığı verilmişdir (şəkil 15). Bu göstəricilər 10-12% diapazonunda əlavə hasilat əldə etməklə əldə etdiyimiz təsirlərə əsaslanır (yəni, hər quyuyu istismarı üzrə əlavə neft hasilatı 1000 ton təşkil etmişdir):



Şəkil 15. İşlənmiş texnologiyanın səmərəliliyinin iqtisadi qiymətləndirilməsi

Bu fəsildə həmçinin yeraltı karbon qazı istehsal texnologiyasının sənaye tətbiqinin texnoloji səmərəliliyinin qiymətləndirilməsi verilmişdir. Məlum olduğu kimi, laydaxili CO₂ generasiya texnologiyasında səmərəlilik süzülmə prosesində bir sıra

göstəricilərinin, xüsusən də neftin sıxışdırma əmsalının, həmçinin flüidlər arasına faza keçiriciliklərinin dəyişməsinə səbəb olur¹¹. Dəyişikliklər lay şəraitində olan neftin həcmnin Q_l -nin, standart şərtlərdəki neftin həcminə Q_{ss} nisbətini ifadə edən B_n həcm əmsalının artması hesabına baş verir. Məlum olduğu kimi, neftin həcmnin dəyişməsi (neft şişməsi) tərkibindəki karbon qazının həllindən əvvəl və sonra aşağıdakı kimi olur:

$$B_i = \frac{Q_i}{Q_{i.s}}; \quad B_q = \frac{Q_q}{Q_{q.s}}; \quad (10)$$

(10) münasibətindən neftin ilkin $Q_{i.v}$ və qalıq $Q_{s.s}$ standart şərtlərdə həcmələrini müəyyən edirik. bu, müvafiq olaraq:

$$Q_{i.s} = \frac{Q_i}{B_i}; \quad Q_{q.s} = \frac{Q_q}{B_q}; \quad (11)$$

Lay şəraitində ilkin və qalıq neftin həcmələri bərabərdir:

$$Q_i = \sigma_i \cdot V_{eh}; \quad Q_q = \sigma_q \cdot V_{eh}; \quad (12)$$

burada σ_i və σ_q müvafiq olaraq ilkin və qalıq neftlə doymadır.

Standart şərtlər üçün (12)-ni (11)-də yazsaq, əldə edirik:

$$Q_{i.s} = \frac{\sigma_i \cdot V_{eh}}{B_i}; \quad Q_{q.s} = \frac{\sigma_q \cdot V_{eh}}{B_q}; \quad (13)$$

Standart şərtlər daxilində süzülmə ilə əhatə olunan V_{eh} həcmindən yığılmış neft Q :

$$Q = Q_{is} - Q_q = \frac{\sigma_i \cdot V_{eh}}{B_i} - \frac{\sigma_q \cdot V_{eh}}{B_q} = V_{eh} \cdot \left(\frac{\sigma_i}{B_i} - \frac{\sigma_q}{B_q} \right) \quad (14)$$

(14)-i layda V_m -nin ümumi məsəmə həcminə bölməklə, su ilə sıxışdırma zamanı SQGMA texnologiyasının hesabına neftvermə əmsalını əldə edirik:

¹¹Шахвердиев, А.Х., Мандрик, И.Э., Панахов, Г.М., Бахтияров, С.И., Аббасов, Э.М. Перспективные реогазохимические технологии повышения нефтеотдачи пластов при извлечении остаточных запасов углеводородов // АМЕА-нын Xəbərləri, «Yer elmləri» seriyası, № 3, 2007. – S. 38-47.

$$\eta_+ = \frac{V_{eh}}{V_i} \cdot \frac{\left(\frac{\sigma_i - \sigma_q}{B_i - B_q} \right)}{\frac{\sigma_i}{B_i}} = \eta_q \cdot \left(1 - \frac{\sigma_q \cdot B_i}{\sigma_i \cdot B_q} \right) = \eta_o \cdot \eta_{1+}, \quad \eta_q = \frac{V_{eh}}{V_i}; \quad (15)$$

burada η_+ su basması zamanı SQGMA texnologiyasının hesabına neftvermə əmsalıdır; η_{1+} - su vurma zamanı SQGMA texnologiyasının hesabına neftin sıxışdırma əmsalı; η_o - suvurma zamanı SQGMA texnologiyasının hesabına neftin sıxışdırmasında əhatə əmsalıdır. Neft yalnız su ilə sıxışdırdıqda sıxışdırma əmsalı aşağıdakı kimi hesablanır:

$$\eta_1 = \frac{\sigma_i - \sigma_q}{\sigma_i} \quad (16)$$

(16) nəzərə alınmaqla (15) düsturunu çevirərək əldə edirik:

$$\eta_+ = \eta_q \cdot \left(1 - \frac{\sigma_i - (\sigma_i - \sigma_q)}{\sigma_i} \cdot \frac{B_i}{B_q} \right) = \eta_q \cdot \left(1 - (1 - \eta_1) \cdot \frac{B_i}{B_q} \right) \quad (17)$$

Beləliklə, suvurma zamanı SQGMA texnologiyasının hesabına neftin sıxışdırma əmsalı müvafiq olaraq bərabərdir:

$$\eta_{1+} = \left(1 - (1 - \eta_1) \cdot \frac{B_i}{B_q} \right) \quad (18)$$

Bu halda, neftin sıxışdırma əmsalının artması:

$$\Delta \eta_{1+} = \left(1 - (1 - \eta_1) \cdot \frac{B_i}{B_q} \right) - \eta_1 = (1 - \eta_1) \cdot \left(1 - \frac{B_i}{B_q} \right) \quad (19)$$

$\Delta \eta_{1+}$ - SQGMA texnologiyasının hesabına neftin sıxışdırma əmsalının artması.

Aparılan kompleks tədqiqatlar, o cümlədən sənaye texnologiyasının sahə şəraitində tətbiqləri, məsələli mühitin yüksək keçiricilik zonalarında qaz fazasının laydaxili generasiya prosesi zamanı qaz yaradan məhlullarda köpükləndirici reagentlərin və inhibitor əlavələrin optimal konsentrasiyalarının müəyyən edilməsi üzrə laboratoriya təcrübələri çərçivəsində bir sıra fiziki və hidrodinamik təsirlər əldə edilmişdir.

Nəzəri və laboratoriya tədqiqatları, həmçinin CO₂ əsaslı qaz-maye aralığını istifadə edərək qalıq neft ehtiyatlarının çıxarılması üsulunun sənaye tətbiqinin nəticələri təklif olunan texnologiyanın texnoloji və iqtisadi səmərəliliyinin kifayət qədər əhəmiyyətli olduğunu təsdiqi edir. Texnologiya aktiv şəkildə laydaxili qaz yaratmaqla neftverməni artırmaq və neft hasilatını intensivləşdirmək üçün effektiv üsul hesab edilə bilər. Hazırlanmış texnologiyanın sənayedə geniş tətbiqinin unikal nəticələri Azərbaycan, Rusiya Federasiyası, Çin Xalq Respublikası və ABŞ-ın yataqlarında maye karbohidrogenlərin quruda və dənizdə hasilatı şəraitində qalıq neft ehtiyatları da daxil olmaqla laylara təsirin optimal texnoloji sxemini hazırlamağa imkan vermişdir. Laboratoriya və tətbiqi tədqiqatların nəticələri göstərmişdir ki, reaksiyaya girən heterogen mayələrin reofiziki xüsusiyyətləri və həcmələri, onların laya vurulmada dinamik şəraiti neft yatağının termodinamik parametrləri nəzərə alınmaqla, elə seçilir ki, karbon dioksid CO₂-nin laydaxili yaranması birfazlı və ya qeyri-tarazlıqlı qaz fazasını təmin etsin. Bu texnologiyada texnoloji həllərin verilməsi neft yataqlarına ünvanlı təsir və zəif “drenaj” olunan lay zonalarından qalıq neft ehtiyatlarının çıxarılmasının səmərəliliyini təmin etməyə imkan verir. Rusiyanın, Azərbaycanın, ABŞ-ın və Çinin əsas neft-qaz rayonlarının neft yataqlarında reo-qazkimya texnologiyasının laboratoriya və mədən tədqiqatların təcrübəsi göstərmişdir ki, geoloji və fiziki xüsusiyyətlərin geniş diapazonunda onun kifayət qədər yaxşı təkrarlanma qabiliyyəti və səmərəliliyi vardır. Üsulun istehsal qabiliyyəti həmçinin müəyyən icra sahələrinə uyğun şərtlərdən asılı olaraq əməliyyat parametrləri üçün optimal həllərin tapılmasına imkan verir.

ƏSAS NƏTİCƏLƏR VƏ TÖVSIYYƏLƏR

1. Heterogen tərkibin tiksotropik strukturlaşması prosesində dinamik tarazlığın təzahürü kimi neftin özlülüyünün rəqsi dəyişməsi aşkar edilmişdir. Tədqiqat zamanı özlü elastik və qaz yaradan kompozisiyalardan istifadə etməklə prosesin qeyri-tarazlığı üçün tənzimləmə üsulları işlənib hazırlanmışdır.

2. İlk dəfə olaraq qeyri bircins heterogen lay şəraitində karbon qazının alınması üçün kompozisiyalar və reo-qazkimyəvi üsul işlənib hazırlanmışdır. Mayelərin komponent tərkibinin və reagentlərin konsentrasiyasının sərbəst həcmdə və məsaməli mühitdə karbon qazının əmələ gəlmə xarakteristikaları qiymətləndirilmişdir.

3. Heterogen məhlullarda reaksiya nəticəsində karbon qazının lay flüidlərində həll olunma və “məsamədaxili” təsirlər nəzərə alınmaqla müxtəlif şəraitlərdə qaz əmələ gəlmənin kinetikasi qiymətləndirilmiş, “yaş” karbon qazında yaranan effektlər tədqiq edilmişdir.

4. İmmobil zonalardan qalığ karbohidrogen ehtiyatlarının məqsədyönlü çıxarılması üçün yüksək keçirici lay intervallarının eyni vaxtda bağlanması təmin etməklə, reo-qazkimyəvi texnologiya tətbiq edilmiş və bu istiqamətin metodoloji əsasları işlənib hazırlanmışdır.

5. Qaz ayıran məhlullarda köpükləndirici reagentlərin və inhibitor əlavələrin optimal konsentrasiyaları müəyyən edilmiş, yüksək keçiricilikli zonalarda qaz fazasının laydaxili generasiyası zamanı özünə məxsus bir sıra fiziki və hidrodinamiki effektlər alınmışdır.

6. İlk dəfə olaraq, müəyyən termobarik şəraitdə karbon qazının superkritik xüsusiyyətindən istifadə etməklə məsaməli mühitlərin suffoziyalı təmizlənməsi üsulu işlənib hazırlanmışdır.

7. Çətin çıxarılan neft ehtiyatlarının əldə olunmasına yönəldilmiş neftvermənin artırılması və sənaye səmərəliliyi sübut edilmiş neft hasilatının intensivləşdirilməsi üçün reo-qazkimyə texnologiyalarının həyata keçirilməsinin texniki və texnoloji əsasları hazırlanmışdır.

8. Nəzəri və eksperimental tədqiqatların nəticələrində yaradılan layda qazın əmələ gəlməsi və. quyu dibi zonalarının suffoziyalı

təmizlənməsi sənaye texnologiyaları Azərbaycan, Rusiya Federasiyası, ABŞ, Çin Xalq Respublikası və Vyetnam yataqlarında istifadə edilmişdir.

Dissertasiyanın əsas məzmunu aşağıdakı işlərdə əks olunmuşdur:

1. Suleimanov, B.A., Abbasov, E.M. & Aliev, N.S. Experimental investigations of filtration of relaxing liquids in heterogeneous porous media.// J Eng Phys Thermophys 69, 8–13 (1996). <https://doi.org/10.1007/BF02606215>. (Scopus)

2. Suleimanov, B.A., Azizov, Kh.F., Abbasov, E.M. Slippage Effect During Gassed Oil Displacement // Energy Sources. - 1996. - v. 18, № 7. - p. 773 – 779.

<http://dx.doi.org/10.1080/00908319608908809> (SCIE)

3. Шахвердиев, А.Х., Панахов, Г.М., Аббасов, Э.М. и др. Способ термохимической обработки призабойной зоны пласта, Патент Российской Федерации № 2100582 // Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам (РОСПАТЕНТ). - М., 1997.

4. Suleimanov, B.A., Azizov, Kh.F., Abbasov, E.M. Specific Features of the Gas-Liquid Mixture Filtration // Acta Mechanica. - 1998. v.130, № 1-2. - p. 121 – 133. (SCIE)

5. Шахвердиев, А.Х., Панахов, Г.М., Аббасов, Э.М. и др. Способ обработки призабойной зоны нефтяного пласта, Патент Российской Федерации № 2114291 // Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам (РОСПАТЕНТ). - М., 1998.

6. Шахвердиев, А.Х., Панахов, Г.М., Аббасов, Э.М. и др. Способ обработки призабойной зоны нефтяного пласта, Патент Российской Федерации № 2114292 // Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам (РОСПАТЕНТ). - М., 1998.

7. Aliyev, E.N., Panahov, G.M., Suleimanov, B.A., Abbasov, E.M. Method of Acidizing a Heterogeneous Subterranean Formation by Use of Chemical Blowing Agents // USA Provisional Patent Application № 60/100,553. Priority Date 09/16/1998.

8. Шахвердиев, А.Х., Панахов, Г.М., Аббасов, Э.М. и др. Способ разработки нефтяной залежи, Патент Российской Федерации № 2123105 // Федеральная служба по

интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам (РОСПАТЕНТ), - М., 1998.

9. Шахвердиев, А.Х., Панахов, Г.М., Сулейманов, Б.А., Аббасов Э.М., Гайнаншин Ш.И. Способ изоляции зон поглощения в бурящейся скважине // Патент Российской Федерации № 2123107. - М., 1998.

10. Мирзаджанзаде, А.Х., Шахвердиев, А.Х., Панахов, Г.М., Аббасов, Э.М. и др. Способ разработки нефтяной залежи, Патент Российской Федерации № 2125153 // Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам (РОСПАТЕНТ). - М., 1999.

11. Шахвердиев, А.Х., Панахов, Г.М., Аббасов, Э.М. и др. Способ разработки нефтяной залежи, Патент Российской Федерации № 2125154 // Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам (РОСПАТЕНТ). - М., 1999.

12. Мирзаджанзаде, А.Х., Курбанов, Р.А., Шахвердиев, А.Х., Панахов, Г.М., Сулейманов, Б.А., Аббасов, Э.М. Способ ограничения водопритока в скважине // Патент Азербайджанской Республики № I990231. - Баки, 1999.

13. Шахвердиев, А.Х., Панахов, Г.И., Сулейманов, Б.А., Аббасов, Э.М. и др. Способ кислотной обработки призабойной зоны нефтяного пласта, Патент Российской Федерации № 2145381 // Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам (РОСПАТЕНТ). - М., 2000.

14. Шахвердиев, А.Х., Панахов, Г.М., Аббасов, Э.М. и др. Способ селективной изоляции водопритоков в скважине, Патент Российской Федерации № 2145379 // Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам (РОСПАТЕНТ). - М., 2000.

15. Suleimanov, B.A., Abbasov, E.M. Experimental Study of Oil Displacement by inhomogeneous system from inhomogeneous porous medium // Proceedings of Institute of Mathematics and Mechanics of Azerbaijan Academy of Sciences - 1999. - Vol. 10. - Pp. 267 – 272.

16. Salavatov T.Sh., Panakhov G.M., Abbasov E.M. New Rheotechnology for Well Operations // Oil Gas Chemistry: technology & equipment, issue 3, 2001, pp. 32-33.

17. Шахвердиев А.Х., Панахов Г.М., Аббасов Э.М. и др. Способ разработки нефтяной залежи, Патент РФ № 2178067 // Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам (РОСПАТЕНТ), 2002.

18. Мирзаджанзаде, А.Х., Гумерский, Х.Х., Шахвердиев, А.Х., Панахов Г.М., Аббасов Э.М. Способ предотвращения отложения парафина в нефтяной скважине // Патент РФ № 2194846 // Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам (РОСПАТЕНТ), 2002.

19. Салаватов, Т.Ш., Панахов, Г.М., Аббасов, Э.М. Энергосберегающие методы регулирования реофизических характеристик дисперсных систем // Азербайджанское Нефтяное Хозяйство, №1, 2002, с. 37-40.

20. Шахвердиев, А.Х., Панахов, Г.М., Аббасов, Э.М. Синергетические эффекты при системном воздействии на залежь термо-реохимическими технологиями // Нефтяное хозяйство, М.: №11. – 2002. С.61-65.

21. Шахвердиев, А.Х., Панахов, Г.М., Аббасов, Э.М. Газохимическое воздействие для улучшения фильтрационно-емкостных свойств ПЗС // «Бурение и нефть», №5. - 2003. – С. 37-39.

22. Шахвердиев, А.Х., Панахов, Г.М., Аббасов, Э.М. Газожидкостная оторочка для воздействия на нефтяную залежь // Сборник научных трудов ВНИИнефть им. акад. А.П. Крылова. – С. 35 – 39.

23. Шахвердиев, А.Х., Панахов, Г.М., Аббасов, Э.М. Регулирование нестационарных процессов в сложных дисперсных системах // Нефтяное хозяйство, №11, 2004. - С. 59-61.

24. Panahov, G.M., Abbasov, E.M. Experimental simulation of gas-fluid effect in heterogeneous porous medium // Transactions of AMEA, issue Mathematics and Mechanics series of physical-

technical & mathematical sciences of Institute of Mathematics and Mechanics, XXIV, Baku, 2004. – pp. 245-252.

25. Bakhtiyarov, SI, Panahov, GM, Abbasov, EM, & Heydarov, CY. Rheological Measurements on Viscoelastic Self-Healing Composites Used in Oil Industry // Proceedings of the ASME 2005 Fluids Engineering Division Summer Meeting. Volume 1: Symposia, Parts A and B. Houston, Texas, USA. June 19–23, 2005. pp. 1065-1068. ASME. <https://doi.org/10.1115/FEDSM2005-77309>.

26. Bakhtiyarov, S.I., Panakhov, G.M., Abbasov, E.M. Rheological Characterization of Viscoelastic Composite Systems Used in Oil Industry // Book “Characterization of Materials, Metals and Minerals”, M. E. Schlesinger, ed., TMS Publications, 2005. - pp. 11 – 18. (Scopus)

27. Panakhov, G.M., Bakhtiyarov, S.I., Shakhverdiyev, A.Kh., Abbasov E.M. Oil Recovery by In-Situ Gas Generation: Volume and Pressure Measurements // ASME Joint U.S.-European Fluids Engineering Summer Meeting, Miami, FL, July 17-20, 2006, Paper # FEDSM2006-98359. - pp. 1 – 6. <https://doi.org/10.1115/FEDSM2006-98359> (Scopus)

28. Bakhtiyarov, SI, Shakhverdiyev, AK, Panakhov, GM, Abbasov, EM, & Siginer, D. In-Situ Carbon Dioxide Generation for Oil Recovery: Experimental Study of Pressure and Temperature Variations During Stoichiometric Reaction // Proceedings of the ASME 2006 International Mechanical Engineering Congress and Exposition. Fluids Engineering. Chicago, Illinois, USA. November 5–10, 2006. pp. 895-898. ASME.

<https://doi.org/10.1115/IMECE2006-15708>. (Scopus)

29. Панахов, Г.М., Шахвердиев, А.Х., Мандрик, И.Э., Бахтияров, И.С., Аббасов, Э.М. Интегративная эффективность воздействия на пласт при внутрипластовой генерации газа // Нефтяное Хозяйство, №11, М.: 2006. - С. 76 – 80.

30. Panakhov, G.M., Bakhtiyarov, S.I., Shakhverdiyev, A.Kh., Abbasov E.M. Kinetics of Gas Generation in Water Solutions // Transactions of AMEA, issue Mathematics and Mechanics series of

physical-technical & mathematical sciences, XXIV, Baku, 2006. - pp. 239-246.

31. Bakhtiyarov, S.I., Shakhverdiyev, A.Kh., Panakhov, G.M., Abbasov, E.M. Volume and Pressure Measurements in Oil Recovery by In-Situ Gas Generation // International Journal of Manufacturing Science and Technology, 2007, Vol. 1, No. 1, June, pp. 1-11.

32. Шахвердиев, А.Х., Мандрик, И.Э., Аббасова, Н.Н., Аббасов, Э.М. Выбор оптимального варианта разработки нефтяных месторождений в условиях многокритериальности решений (ОПТИМА). Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2008610892, 27 декабря 2007.

33. Bakhtiyarov, S. I., Shakhverdiyev, A.K., Panakhov, G.M., Abbasov, E.M. Effect of Surfactant on Volume and Pressure of Generated CO₂ Gas // Proceedings of SPE Production and Operation Symposium, Oklahoma City, OK, March 31 - April 3, 2007. - pp. 141 – 144. <https://doi.org/10.2118/106902-MS>. (SCIE)

34. Bakhtiyarov S. I., Shakhverdiyev A. Kh., Panakhov G.M., Abbasov E.M. In-Situ Carbon Dioxide Generation: Polymer/Surfactant Effects on Generated Volume and Pressure // SPE International Symposium on Oilfield Chemistry Proceedings, 28 February – 2 March, 2007, Houston, TX, USA. - pp. 235 – 237.

35. Шахвердиев, А.Х., Панахов, Г.М., Аббасов, Э.М. Реохимическая активация водоцементных смесей газогенерирующими агентами // Журнал «Бурение и нефть», № 6, 2007, с. 16-18.

36. Bakhtiyarov, SI, Shakhverdiyev, AK, Panakhov, GM, & Abbasov, EM. Polymer/Surfactant Effects on Generated Volume and Pressure of CO₂ in EOR Technology // Proceedings of the ASME/JSME 2007 5th Joint Fluids Engineering Conference. Volume 1: Symposia, Parts A and B. San Diego, California, USA. July 30–August 2, 2007. pp. 1583-1589. ASME. <https://doi.org/10.1115/FEDSM2007-37100>. (Scopus)

37. Шахвердиев, А.Х., Мандрик, И.Э., Панахов, Г.М., Бахтияров С.И., Аббасов Э.М. Перспективные

реогазохимические технологии повышения нефтеотдачи пластов при извлечении остаточных запасов углеводородов // АМЕА-nin Xəbərləri, «Yer elmləri» seriyası, № 3, 2007. – S. 38-47. https://journals.gia.com/wp-content/files/2007/03/2007_03_OG_Shakhverdiyev_Mandrik_Panakhov_Bakhtiyarov_Abbasov_rus.pdf

38. Шахвердиев, А.Х., Мандрик, И.Э., Панахов, Г.М., Аббасов Э.М. Патент РФ № 2349742 «Способ разработки нефтяной залежи» // Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам (РОСПАТЕНТ), 2009.

39. Bakhtiyarov, SI, Panakhov, GM, Abbasov, EM, Omrani, AN, & Bakhtiyarov, AS. Polymer Adsorption Phenomena in Porous Media Filtration Problems // Proceedings of the ASME 2009 Fluids Engineering Division Summer Meeting. Volume 1: Symposia, Parts A, B and C. Vail, Colorado, USA. August 2–6, 2009. pp. 1201-1204. ASME. <https://doi.org/10.1115/FEDSM2009-78551>. (Scopus)

40. Шахвердиев, А.Х., Панахов, Г.М., Мандрик, И.Е., Аббасов, Э.М., Алиев, Г.М. Способ разработки нефтяной залежи // Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам (РОСПАТЕНТ), 2010, Патент РФ № 2382877.

41. Шахвердиев, А.Х., Панахов, Г.М., Аббасов, Г.М., Абдолнасер Омрани Газодинамическая десорбция газа в условиях внутрипластовой генерации диоксида углерода // Вестник РАЕН, №1, 2010. - С. 25-28.

42. Шахвердиев, А.Х., Панахов, Г.М., Аббасов, Э.М., Huimin Zeng, Yigang Liu, Shunya Luo Инновационная технология извлечения остаточных запасов углеводородов внутрипластовой генерацией диоксида углерода // Москва, «Нефтяное Хозяйство», №6. - 2010. – С. 44 – 48.

43. Шахвердиев, А.Х., Панахов Г.М., Аббасов Э.М. Термогазовая интенсификация добычи трудноизвлекаемой нефти // Сборник трудов Международной научно-технической конференции «Геопетроль-2010» «Новые методы и технологии добычи нефти». - С. 819 – 821.

44. Шахвердиев А.Х., Панахов Г.М., Аббасов Э.М., Саламов Г.В. Полезная модель – регистрация № RU (11) 110406 (13) U1 «Устройство для предотвращения и ликвидации асфальтосмолопарафиновых и гидратных отложений в скважине» // Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам (РОСПАТЕНТ), 2011.

45. Панахов, Г.М., Аббасов, Э.М., Агаева, Г.Р., Алиев, Г.А., Расулова, С.Р. Воздействие на пласт системами на основе природных газогенерирующих минералов // Азербайджанское Нефтяное Хозяйство, № 8. – 2011 – С. 38 – 43.

46. Шахвердиев, А.Х., Панахов, Г.М., Аббасов, Э.М. Неравновесные эффекты при внутрипластовой газогенерации // Труды международного научного семинара «Неньютоновские системы в нефтегазовой отрасли», Ухта, 15-16 ноября 2011. - С. 10-15.

47. Шахвердиев, А.Х., Renqi Jiang, Панахов, Г.М., Аббасов, Э.М., Денисов, А.В. Эффективность реогазохимической технологии ПНП на основе внутрипластовой генерации CO₂ (опыт применения на месторождениях КНР) // Вестник РАЕН, №4, 2012. - С. 73 - 81.

48. Panahov, G.M., Abbasov, E.M., Agayeva, G.R., Aliyev, G.A., Rasulova, S.R. Systems bed stimulation with natural gas generating minerals // Azerbaijan Oil Industry – International issue, №3. - 2012. - pp. 40-46.

49. Panahov, G.M., Bakhtiyarov, S.İ., Abbasov, E.M., Agayeva, G.R., Aliyev, G.A., Rasulova, S.R. Future Generation of Enhanced Oil Recovery // Journal on Mechanical Engineering (JME) (iManager Publ.) – Vol. 8. – № 2. - 2013. - pp. 10-16. <https://doi.org/10.26634/jfet.8.2.2095>

50. Panahov, G.M., Bakhtiyarov, S.İ., Abbasov, E.M., Aghayeva, G.R., Aliyev, G.A., Rasulova, S.R. A Novel Moist Carbon Dioxide Generation Enhanced Oil Recovery Technology // Discontinuity, Nonlinearity and Complexity. 1(1) (2013) 1-6, (ABSJ). – pp. 35 – 40. (Scopus).

51. Шахвердиев, А.Х., Панахов, Г.М., Аббасов, Э.М., Расулова С.Р. О возможности регулирования вязкостной аномалии в гетерогенных смесях // Вестник РАЕН, №1, 2014. – С. 56 – 62.

52. Панахов, Г.М., Аббасов, Э.М., Агаева, Г.Р., Юзбашиева А.О., Расулова С.Р. Повышение нефтеотдачи пластов с неоднородными глинизированными коллекторами // Азербайджанское Нефтяное Хозяйство, № 6, 2014. – С. 18-24.

53. Мазепин, Д.А., Аббасов, Э.М., Шахвердиев, Э.А., Алиев, С.А. Выбор оптимального варианта инвестиционного проекта разработки нефтяного месторождения в условиях экономического риска // Материалы Международной научной конференции «Geopetrol-2014» (г. Закопане, Польша), 2014. – С. 537-542.

54. Панахов, Г.М., Аббасов, Э.М., Горшкова, Е.В., Алиев, Г.А. Исследование влияния температуры на фильтрационно-емкостные свойства пород-коллекторов при различных постоянных значениях всестороннего давления // Азербайджанское Нефтяное Хозяйство, № 3, 2015 - С. 18-22.

55. Панахов, Г.М., Гусейнов, В.Г., Аббасов, Э.М., Мусейбли П.Т. Влияние газовыделения на гидравлические характеристики течения жидкости в трубопроводе // Москва, Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья, № 2. - 2015. - С. 19 - 22.

56. Панахов, Г.М., Аббасов, Э.М., Юзбашиева, А.О., Гусейнов В.Г. Теплоперенос при течении газожидкостных углеводородных потоков в трубопроводных системах // Москва, Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья, № 3. - 2015. - С. 3 - 7.

57. Bakhtiyarov, S.I., Dennis Siginer, Panahov, G.M., Abbasov, E.M. The effect of gas evolution on hydraulic characteristics of fluid flow in the pipeline // ASME/IMECE International Mechanical Engineering Congress & Exposition, Phoenix, Arizona, November 11 – 17, 2016. – pp. 65 – 68. <http://dx.doi.org/10.1115/IMECE2016-65068> (Scopus)

58. Панахов, Г.М., Аббасов, Э.М., Юзбашиева, А.О., Расулова, С.Р., Гусейнов, В.Г. Реологические свойства структурообразующих дисперсных систем // Нефтегазовое дело, Т. 2, № 14, 2016. – С. 133 – 140

59. Gadjeiev, T., Aliev, S., Panahov, G., Abbasov, E. Placement of wells as a method of oil field development control // Visnyk of the Lviv Univ. Series Mech. Math., 2016, Issue 82, pp. 94-97.

60. Geylani M. Panahov, Eldar M. Abbasov, Parviz T. Museibli, Nigar N. Abbasova Wall effects under non-Newtonian fluid flow in a circular pipe // Transactions of NAS of Azerbaijan, series of Physical-Technical and Mathematical Sciences, Issue Mechanics, 36 (7), 68–73 (2016).

61. Shakhverdiev, A.Kh., Panahov, G.M., Sevdimaliyev, Y.M., Abbasov, E.M. Gassy fluid flow in elastic-plastic deformable medium // Transactions of NAS of Azerbaijan, issue Mechanics, 37 (7) (2017). – pp. 74 – 84.

62. Панахов, Г.М., Аббасов, Э.М., Юзбашиева, А.О., Расулова С. Р., Мусеибли П.Т. Тепловое и химическое воздействие на реофизические свойства неньютоновских нефтей // Азербайджанское нефтяное хозяйство, № 5, 2017. – С. 22 – 26.

Panahov, G.M., Gadjeiev, T.S., Bakhtiyarov, S.I., Abbasov, E.M. Rheological features of structural-forming disperse systems // i-Manager's Journal on Mechanical Engineering, Vol. 7, No. 3, May-July, 2017. – pp. 1-9. <https://doi.org/10.26634/jme.7.3.13576>

63. Панахов Г.М., Аббасов Э.М., Юзбашиева А.О., Балакчи В.Д. Нестационарная конвекция Марангони в капилляре с жидкостью // Нефтегазовое дело, №6, 2018. – С. 35-46.

64. Panahov, G.M., Abbasov, E.M., İsmaylov, S.Z., Hüseynov, V.H. Asfalten-gətran-parafin çöküntülərinə qarşı yeni mübarizə üsullarının işlənməsi // Azərbaycan Neft Təsərrüfatı, №1. – 2019. - S. 65 – 70.

65. Панахов, Г.М., Аббасов, Э.М. Управление процессом капиллярной неустойчивости при гидродинамическом

воздействии на пласт // Azərbaycan Neft Təsərrüfatı, № 4, 2019. - С. 29 – 36.

66. Панахов, Г.М., Аббасов, Э.М., Юзбашиева, А.О., Балакчи В.Д. Особенности набухания глин в растворах электролитов // Нефтепромысловое дело, № 4, 2019. – С. 94-109 (<http://dx.doi.org/10.17122/ogbus-2019-4-93-109>)

67. Шахвердиев, А.Х., Ренджи Цзян, Панахов, Г.М., Аббасов Э.М. Газощелочное воздействие на пластовую систему с целью извлечения остаточных запасов нефти // Инженер-нефтяник, № 3, 2019. – С. 23 – 30.

68. Geylani M. Panahov, Eldar M. Abbasov, Afet O. Yuzbashiyeva, Parviz T. Museibli Flow control of fluids through porous media based on electrokinetic effects // Transactions of ANAS, issue Mechanics, Vol. 40, № 7, 2020. – pp. 28 – 36.

69. Панахов, Г.М., Аббасов, Э.М., Балакчи, В.Д. Водоизолирующие глиносодержащие композиции с регулируемыми характеристиками набухания // Azərbaycan Neft Təsərrüfatı, №8, 2020. – S. 27 – 33. <https://doi.org/10.37474/0365-8554/2020-8-27-33>

70. Geylani M. Panahov, Eldar M. Abbasov, Renqi Jiang The novel technology for reservoir stimulation: in situ generation of carbon dioxide for the residual oil recovery // J Petrol Explor Prod Technol, Vol. 11, № 4 - pp. 2009 – 2026 (2021). <https://doi.org/10.1007/s13202-021-01121-5> (SCIE)

71. Panahov Geylani, Abbasov Eldar, Bakhtiyarov Sayavur, Museyibli Parviz An effect of electrokinetics phenomena on nonlinear wave propagation in bubbly liquids - Sciendo; Int. J. of Applied Mechanics and Engineering, 2021, Vol. 26, No.3. - pp. 177-186 <https://doi.org/10.2478/ijame-2021-0043> (Scopus).

72. Panahov, G.M., Abbasov, E.M. Laylarda yüksəkkeçiricikli intervalların təcrid edilməsi və qəbuletmə profilinin nizamlanması üçün quru qarışıq tərkib // Azərbaycan Respublikası Patenti - a 2019 0119.

73. Панахов, Г.М., Аббасов, Э.М., Балакчи, В.Д. Регулирование приемистости нагнетательных скважин набухающими композициями // Труды II-ой Международной

научно-практической конференции «Инновационные технологии в нефтегазовой отрасли. Проблемы устойчивого развития территорий», посвященная 10-летию ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет», 09-10 декабря 2021 г., Ставрополь, РФ, 2021. - С. 259-266.

74. Abbasov, E.M., Huseynov, V.G., Jafarova, U.F., Nasibova S.I. In situ gas generation in dispersed systems to control structure formation // *Trans. Natl. Acad. Sci. Azerb. Ser. Phys.-Tech. Math. Sci. Mechanics*, 2022, 42 (8). - Pp. 3 - 16.

75. Panahov, G.M., Abbasov, E.M., & Salmanova, G.M. Evaluation and control of gas-dynamic parameters of gas pipelines transporting heterophase mixtures // *AIP Conference Proceedings*, 2637(1), 040004. <https://doi.org/10.1063/5.0120346> (Scopus).

76. Панахов, Г.М., Аббасов, Э.М., Юзбашиева, А.О., Мусеибли П.Т., Мамедов И.М. Исследование физико-химических и газовых методов воздействия при вытеснении углеводородов // *Azərbaycan Neft Təsərrüfatı*, August 2022, pp. 22 – 29. <https://doi.org/10.37474/0365-8554/2022-08-22-29>.

77. Шахвердиев, А.Х., Панахов, Г.М., Аббасов, Э.М., Балакчи В.Д. Регулирование фронта вытеснения в неоднородных пластах путем блокирования высокопроницаемых каналов коллектора набухающей композицией // *Актуальные проблемы нефтегазовой отрасли. Сборник докладов научно-практической конференции журнала «Нефтяное хозяйство»*. г. Москва, 2022. – С. 268-281.

78. Geylani M. Panahov, Eldar M. Abbasov, Shahin Z. Ismayilov & Vusale D. Balakchi (2023) In-depth isolation of highly permeable zones for reservoir conformance control, *Journal of Dispersion Science and Technology*, 44:2, 359-369, DOI: 10.1080/01932691.2021.2006062 (SCIE)

79. Panahov, G.M., Abbasov, E.M., Balakci, V.J. / Modelling the growth of a colmatage agent for reservoir sweep improvement under water flooding / *ANAS Transactions, Earth Sciences, Special Issue* / 2023, 109-112; DOI: <https://www.doi.org/10.33677/ggianasconf20230300026> (Scopus).

80. Azizaga Kh. Shakhverdiev, Geylani M. Panahov, Renqi Jiang & Eldar M. Abbasov (2024) High efficiency in-situ CO₂ generation technology: the method for improving oil recovery factor, *Petroleum Science and Technology*, 42:7, 828-845, DOI: 10.1080/10916466.2022.2157010 (SCIE).

81. Panahov, G.M., Abbasov, E.M., Sultanov, B.N. Control of capillary instability under hydrodynamic impact on the reservoir // *Nafta-Gaz* 2023, No. 2. - Pp. 71-83, DOI: <https://doi.org/10.18668/NG.2023.02.01> (SCIE).

Yerinə yetirilən işlərdə iddiaçının şəxsi töhvəsi:

[1, 3, 8, 12, 14, 16, 17, 23, 26, 30, 32, 34, 35, 44, 52 – 54, 56 – 58, 61, 65 – 67, 69, 71 – 73, 76 - 82] işlərdə məsələnin qoyuluşunda, nəticələrin ümumiləşdirilməsində və təhlilində iştirakı; [2, 4, 5 – 7, 9 – 11, 13, 15, 18, 19 – 22, 24, 25, 27 – 29, 31, 33, 36 – 43, 45, 51, 55, 59, 60, 62 – 64, 68, 74, 75] işlərdə nəzəri və eksperimental tədqiqatlarda, nəticələrin təhlilində və mədən tətbiqində iştirakı.



Dissertasiyanın müdafiəsi 28 yanvar 2025-ci il tarixində saat 11:00-də Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən ED 2.03 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. (www.asoiu.edu.az)

Avtoreferat 26 dekabr 2024-cü il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: 23.12.2024

Kağız formatı: A5

Həcmi: 76085

Tiraj: 30