

Qaz-maye sistemlərindən istifadə etməklə quyuların sulaşması ilə mübarizə məsələlərinin tədqiqi

M.İ. Əhmədov

"Halliburton" şirkəti

e-mail: liqar.Ahmedov@socar.az

Açar sözlər: məhsulun sulaşması, köpüklü sistemlər, gipan, su axınlarının təcridi, köpüyün xassələri.

Использование газожидкостных систем для борьбы с обводненностью скважин

M.И. Ахмедов
Компания "Halliburton"

Ключевые слова: обводненность продукции, пенные системы, гипан, борьба с обводненностью, свойства пен.

Проведен обобщенный анализ результатов исследований механизма предупреждения и ограничения обводнения пластов и скважин с использованием газо-жидкостных систем. При этом рассмотрены основные физико-химические свойства широко используемых в нефтедобыче пен, проанализированы результаты проведенных экспериментальных исследований особенностей пенообразования в пористой среде. Также рассмотрены результаты проведенных реологических исследований пен с различными стабилизирующими реагентами. Показаны методика технологии регулирования продвижения пластовых вод пеной, выбора скважин, необходимого комплекса исследований скважин, а также расчет режима закачки пены в пласт.

Use of gas-fluid systems in water cut control

M.I. Ahmadov
Halliburton Company

Keywords: water cut, foam systems, hydrolyzed polyacrylonitrile, water cut control, foam properties.

The generalized analysis of study results on the mechanisms of prediction and limitation of reservoir and well drowning using gas-fluid systems has been conducted. Herewith, major physical-chemical properties of foams widely used in oil production have been reviewed, the results of carried out experimental researches on the features on foam formation in porous medium analyzed. The results of conducted rheological studies on foams with various stabilizing agents have been considered as well. The methodology of technology regulation of produced water motion with foam, well selection, necessary complex of well surveys, as well as the calculation of foam injection into the reservoir have been described.

Yataqların işlənməsinin son mərhələləri quyuların məhsulunun sulaşma səviyyəsinin davamlı artması ilə səciyyələnir ki, bu da neft hasilatının əhəmiyyətli azalmasına gətirib çıxarır. Məhsulun sulaşması son neftveriminin azalmasına, su hasilatının artmasına, bunlarla əlaqəli çoxlu sayda texniki-texnoloji problemlərin yaranmasına və nəticədə müəssisənin texniki-iqtisadi göstəricilərinin aşağı düşməsinə səbəb olur. Məhz bu baxımdan quyuların məhsulunun sulaşmasının qarşısını alınması, ona qarşı mübarizə üsullarının işlənilməsi və tətbiqi mühüm məsələlərdəndir [1, 2].

Lakin işlənmiş və tətbiq olunmuş çoxsaylı üsulların mövcud olmasına baxmayaraq, sulaşma ilə mübarizə məsələləri bu gün də aktual olaraq qalır. Bu baxımdan qaz-maye sistemlərindən istifadə etməklə quyuların sulaşmasına qarşı selektiv mübarizə üsullarının tətbiqi qeyd edilməlidir.

Qaz-maye sistemlərindən olan köpüklərin bəzi xüsusiyyətləri və onlardan istifadə ilə su axınlarının təcridi mexanizmlərinin öyrənilməsinə həsr olunmuş tədqiqat işlərinin nəticələrinin ümumiləşdirilmiş təhlili tərəfimizdən aparılmışdır.

Su axınını azaltmaq və ya qismən qarşısını almaqla, quyudibi sahənin neftə görə keçiriciliyini artırmaq və ya sabit saxlamasına şərait yaradan fiziki-kimyəvi təsir üsulları kifayət qədər səmərəli sayılır. Layın quyudibi sahəsinə köpük vurulması, selektiv təsir edən fiziki-kimyəvi üsullardandır [2-4].

Layın sulaşmış hissəsinə vurulan köpüyün quyudibi sahədə süxurların məsaməli səthinə yapışması xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Yapışmış köpüklər məsaməli mühitdə suyun sərbəst hərəkətinə mane olur. Fərz etmək olar ki, müəyyən şəraitdə bərk səthə yapışmış köpüklərin "sıxılması", yəni Jamen effekti baş verir ki, bu da məsaməli kanalların tamamilə və ya qismən tıxanmasına gətirib

çıxarır. Təzyiq düşdükcə hava qabarcıqlarının genişlənməsi nəticəsində bu təsir daha da artır [5].

Süxurların səthinin hidrofoblaşması, köpük qabarcıqlarının yapışması üçün əlverişli amil deyil. Məsaməli mühitin hidrofoblaşmasının azalmasına səthi-aktiv maddələrin (SAM) tətbiqi yolu ilə nail olmaq mümkündür. Hava qabarcıqlarının məsaməli mühitin səthinə yapışması hadisəsi, qabarcıq və səth arasında yerləşən hidrat qatının dağılması ilə əlaqədardır [6, 7].

Sulaşmış quyuların quyuya trafı zonasına köpüyün təsir mexanizmini nəzərə almaqla, laya əvəlcə hidrofoblaşdırıcı mayelər, sonra isə köpük vurulmalıdır. Bu, bərk səthlərdə hidrat qatının möhkəmliyini zəiflədir və süxurlara hava qabarcıqlarının daha yaxşı yapışmasına imkan yaradır.

Dayanıqlı köpüklər, xüsusi şəbəkəli strukturu hesabına müəyyən möhkəmliyə malikdir. Neft hasilatının intensivləşdirilməsi işlərinin həyata keçirilməsində kifazətli, üçfazlı köpüklü sistemlərdən istifadə olunur. İkifazlı köpüklər özündə SAM-ların aerasiya olunmuş (qazlaşdırılmış) su məhlulunu ifadə edir. Üçfazlı köpüklər ikifazlı köpüyün əlavə sabitləşdiricisi olan bərk fazanın (gil hissəcikləri, köpük aerasiya olunmuş gil məhlulundan hazırlanıqda) mövcudluğu ilə fərqlənir. SAM-ların aerasiya olunmuş turşu məhlulundan hazırlanmış ikifazlı köpüklər karbonatlı kollektorların işlənməsi üçün istifadə edilir [7].

Qaz-maye sistemi kimi köpüyün xassələri, köpük həcmnin maye həcminə nisbətən artması, dayanıqlığı, dispersiyə və mexaniki-struktur parametrləri ilə səciyyələnir. Məhz bu göstəricilər suyun təcrid edilməsi proseslərinin nəticələrini müəyyən edir.

Köpük həcmnin artma əmsalı, köpüyün həcmnin maye həcminə nisbətə ilə müəyyən olunur və aşağıdakı tənliklə hesablanır

$$K_k = \frac{W_k}{W_m},$$

burada W_k , W_m – müvafiq olaraq, köpüyün və mayenin həcmələridir. Bu nisbətə bilərək, atmosfer şəraitində köpüyün sıxlığını ρ_k hesablamaq olar

$$\rho_k = \rho_q + \frac{\rho_m}{K_k},$$

burada ρ_q , ρ_m – müvafiq olaraq qazın (havanın) və mayenin sıxlıqlarıdır.

Lakin köpüklər eyni həcmərdə müxtəlif dispersiyə malik ola bilər. Köpüyün dispersiyə qabarcıqların orta ölçüsü ilə səciyyələnir. Qabarcıqların küre formasında bu parametrlər arasında əlaqə aşağıdakı tənliklə müəyyən edilir

$$\frac{\delta}{d_k} = \sqrt[3]{\frac{K_k}{K_k - 1}} - 1,$$

burada δ – köpükdə maye təbəqəsinin orta qalınlığı; d_k – köpük qabarcıqlarının orta diametridir.

Köpüyün mexaniki-struktur xassələri onun dispersiyədən asılıdır. Texnoloji əməliyyatlar aparılarkən köpüyün keyfiyyətinin qiymətləndirilməsi üçün aerasiya dərəcəsi adlanan parametrdən istifadə olunur

$$C_a = \frac{W_0}{W_m},$$

burada W_0 – havanın həcmidir. Bu parametrlər normal təzyiqdə müəyyən edilir və lay şəraitində yenedən hesablanır.

Köpüyün dayanıqlığının qiymətləndirilməsi üçün müxtəlif göstəricilər təklif edilmişdir, lakin onların hamısı köpüyün layda mövcud olması vaxtını təyin etməyən şərti kəmiyyətlərdir. Atmosfer şəraitində köpüyün dayanıqlığı 100 sm³ maye həcmdən 10–50 sm³ maye həcməsinin ayrılması vaxtlarına görə, köpüyün dağılma sürəti təyin edilir [3]. Maye ayrılmasının orta sürəti v_a onun götürülmüş miqdarının yarısının, saniyələrlə ifadə olunmuş ayrılma vaxtına nisbəti kimi təyin edilir:

$$v_a = \frac{50}{T_a} \text{ sm}^3/\text{s},$$

burada T_a – 50 sm³ mayenin ayrılma vaxtıdır.

Köpüyün dayanıqlığı nə qədər böyük olarsa, mayenin axın sürəti bir o qədər az olar. Yəni dayanıqlıq, köpük yaradan mayenin ayrılmasının orta

$$D = \frac{1}{v_a} \text{ s/sm}^3,$$

sürətinin qiymətilə tərs mütənəsidir.

SAM-ın kiçik qatılıqlı zonalarda ikifazlı köpüklərin dayanıqlığının maksimal qiymətinin müəyyən edilməsi, onların dayanıqlı köpüklərin alınması üçün zəruri olan optimal qatılığını müəyyən etməyə imkan verir. Köpüyün davamlılığı və möhkəmliyi fazalararası səthdən adsorbsiya nəticəsində toplanmış köpük əmələgətirici SAM-ın təbii və miqdarı ilə müəyyən edilən təbəqə karkasının xassələrindən asılıdır. Köpüyün dayanıqlığı təbəqənin elastiklik effekti (Gibbs effekti), təbəqənin nisbətən yüksək səthi özlülüyə və ya xüsusi mexaniki xassələrə (dayanıqlığın mexaniki-struktur amili) malik olması, səthi təbəqənin daxilində onların nazikləşməsinə (dayanıqlığın termodinamik amilləri) maneçilik yaradan hidrat və ya iki-

li elektrik qatının olması kimi əsas amillərlə izah edilir [6].

Gibbs effekti ondan ibarətdir ki, əgər təbəqənin bir sahəsi, məsələn, dartılmaya məruz qalırsa, onun səthi artır və bunun nəticəsində fazalararası sərhəddə SAM-ın qatılığı azalır. Səthi qatılığın azalması dartılmış sahədə səthi gərilmənin artmasını şərtləndirir ki, bunun nəticəsində o, bütün qonşu dartılmayan sahələrə nisbətən daha artıq dərəcədə sıxılmaya məhul edir. Əks-hadisə təbəqənin sıxılması nəticəsində yaranan deformasiyalar zamanı müşahidə edilir. Köpük əmələgətirən molekullardan ibarət yüksək özlülüklü və mexaniki davamlı adsorbsiya qatının təbəqələrinin olması ilə köpüyün dayanıqlığı P.A. Rebinderin və onun məktəbinin işlərində izah olunur. Hesab edilir ki, sabun və sabun kimi maddələr, həl şəkilli quruluşlu malik olan, məhlulun dərinliyinə diffuz yayılan yüksək özlülüklü adsorbsiya qatı əmələ gətirir. Bu qatlar, bir tərəfdən, təbəqəyə maye axınını ləngidir, digər tərəfdən, köpük təbəqəsinə yüksək struktur özlülüğü və mexaniki möhkəmlik verir. Buna, maye fazaya struktur şəkilli xüsusi yüksək özlülüklü kolloidlərin (karboksimetilsellyulozlar, nişasta, jelatin, yapışqan və s.) yeridilməsilə nail olunur [6, 7].

Köpüyün reoloji xassələri haqqında məlumat onların süzülməsinin müqayisəsi üçün zəruridir. Belə ki, süzülmə üzrə böyük miqdarda təcrübələrin, xüsusilə də mədən şəraitində, aparılması olduqca zəhmətli işdir. Bundan başqa, köpüyün deformasiya olunmuş hərəkət tərzini elastik sərhədlərin fiziki-kimyəvi təbiətinin, köpüyün məsaməli mühitin divarlarıyla qarşılıqlı təsirinin tamamilə açılmasına imkan verir və köpüyün dayanıqlığının qiymətləndirilməsinin əlavə üsullarındandır [8].

Çoxsaylı tədqiqatlar göstərmişdir ki, köpüklər qeyri-Nyuton (pseudoplastik və özlü-plastik) sistemlərdir. Əgər reoqrammda səlis düzxətli sahə almaq mümkün olarsa, köpüklərin deformasiya olunmuş hərəkətini Şvedov – Binqam modeli ilə xarakterizə etmək olar

$$\tau = \tau_0 + \eta \frac{dv}{d\gamma}$$

Əgər belə sahəni reoqrammda almaq olmazsa, onda köpüklərin deformasiya olunmuş hərəkəti aşağıda yazılan asılılıqla təsvir edilir

$$\tau = K \left(\frac{dv}{d\gamma} \right)^n$$

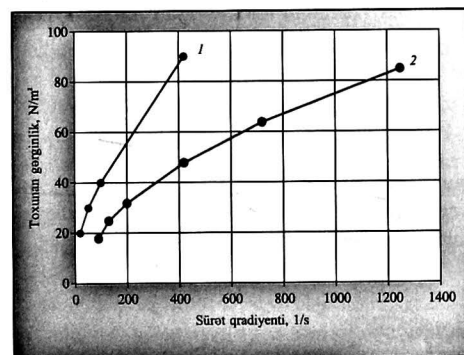
burada τ – maye qatları arasında toxunan gərginlik, K – sistemin strukturluğunu xarakterizə edən

əmsal, n – düzxətli axını səciyyəvləndirən qüvvə göstəricisi, $dv/d\gamma$ – axının sürət qradientidir.

Köpüyə bərk faza daxil edilərkən və dispersliyi dəyişərkən onun özlülüğü dəyişərək ikifazlı köpük birfazlıya çevrilir. Belə sistemlərin axınında daxili sürtünmə qüvvəsi, köpükdə olan hidratlaşmış hava qabarcıqları arasında, qabarcıqlar və su, eləcə də sərbəst su molekulları arasındakı sürtünmədən ibarətdir. Axırncı qüvvənin qiyməti daha kiçikdir. Hava qabarcıqlarının dispersliyi nə qədər böyük olarsa, sistemdəki sərbəst su bir o qədər az olur. Buna görə köpükdə hidratlaşmış qabarcıqların miqdarının artması, özlülüğün bir qədər yüksəlməsinə gətirib çıxarır. Axının gediş sahəsində digər strukturlaşmış sistemlər kimi köpüyün plastikliyi τ_0/η və ya K/n kəmiyyətləri ilə xarakterizə etmək olar [8].

Məsaməli mühitdə köpük axarkən yerdəyişmə və tiksotropiyanın ilkin qradienti aşkar olunur. Köpüklər həm də elastik xassələrə malikdir və bütövlükdə elastik-plastik-özlü sistemləri təşkil edir. Bu xassələr həm də köpüyün məsaməli mühitdə spesifik funksiyalarını müəyyən edir, layda suyu təcridedicə xassələri kəskin dəyişmədikdə dəyişən təzyiqlərə məruz qalır.

Aparılan bütün tədqiqatların təhlili göstərmişdir ki, köpüyün əsas təcridedicə xassələri və funksiyalarına, eləcə də reoloji xüsusiyyətlərinə karboksimetilsellyuloza (KMS) və gipan reagentləri daha çox təsir edir. Buna görə də rotasion viskozimetrdə tədqiq olunan köpüyün reoloji xassələri və xarakterik reoloji ayrıları tərəfimizdən kompüter proqramı ilə əlavə işlənilərək şəkilə göstərilmişdir.



Köpüklü sistemin reoloji ayrısı:
1, 2 – KMS və gipan stabilizatorları

Asılılıqdan görüldüyü kimi, eyni sürət qradienti (v') qiymətlərinə KMS stabilizatoru ilə olan məhlulun toxunan gərginlik qiymətləri gipan

stabilizatoru ilə olan məhlulun gərginliyindən təxminən 2.5 dəfə böyükdür. Bu zaman kiçik hərəkət sürətlərində KMS stabilizatoru ilə olan köpüklərin effektiv özlülüğü də çox böyük qiymət alır. Bu asılılıqların modifikasiya edilmiş və istifadəsi üçün daha münasib riyazi modelləri tərəfimizdən tapılmışdır.

KMS stabilizatoru ilə reoloji ayrının tənliyi

$$\tau = -0.0002 v'^2 + 0.277 v' + 15.151$$

Gipan stabilizatoru ilə reoloji ayrının tənliyi:

$$\tau = -3E - 0.5v'^2 + 0.096v' + 12.127$$

Köpüyün nisbi davamlılığını müəyyənləşdirmək üçün, yerdəyişmənin yüksək sürətində toxunan gərginlik və özlülüğü təyin edilməlidir. Rotasion viskozimetrdə ölçü aparılarkən, köpüyün zaman boyunca dağılması nəticəsində səlis reoloji ayrılar almaq mümkün olmur. Buna görə özlülük və toxunan gərginlik göstəriciləri yeni köpüyün xassələrini xarakterizə edir və ani deformasiyanın ölçülməsi üçün istifadə edilir.

Köpüyün özlülüğü köpük əmələgətiricinin müəyyən qatılığınadək yüksəlir, sonrakı artımında isə azalır. Aparılan tədqiqatlar nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, köpüyün dayanıqlıq və özlülüğünün dəyişmə xarakteri təqribən eynidir. Belə ki, köpükəmələgətirici məhlulda 0.5 % KMS sabitləşdiricisinin əlavə edilməsi köpüyün özlülüğünün 3–5 dəfə artmasına gətirib çıxarır. Üçfazlı köpük yaranarkən köpüyün dayanıqlığı və özlülüğü, xüsusilə suyun sıxlığı artdıqda, kəskin yüksəlir [5].

Su ilə doymuş məsaməli mühitdə köpüklərin olması onların suya görə faza keçiriciliyinin adi ikifazlı sistemlərin süzülməsilə müqayisədə azalmasına gətirib çıxarır. Neftlə doymuş məsaməli mühitdə hərəkət prosesində köpük tədricən dağılır. Köpük süzülərkən iki əks-proses/genişlənmiş məsaməli kanallarda qabarcıqların koalesensiyası və daralmada dispersiyalaşma baş verir. Buna görə də kiçik məsaməli mühitdə köpük yüksək keçiricilikli mühitə nisbətən daha dayanıqlıdır [6].

Lay sularının irəliləməsinin köpüklə tənzimlənməsi üsulu, su axını layın məhsuldar zonasından (layarası su, daban suyu) gələn quyularda tətbiq edilir.

Suyun hərəkətini tənzimləmək üçün laya köpük vurulanadək quyudibinin təmizliyinə əmin olunmalıdır. Əks-halda, quyuyu köpüklə yumaq, sonra məlum üsullarla tədqiq etmək lazımdır.

Laya köpük vurulduqdan və quyular mənimləndikdən sonra onların yenidən tədqiq olunması zəruridir [2–4].

Lay boyunca köpüyün radial hərəkət şəraitində bir quyunun emalı üçün köpüyün həcmi W_k ilə müəyyən olunur:

$$W_R = PR^2 hm,$$

burada R_c – emal zonasının radiusu; h – layın orta qalınlığı, m – məsaməlilikdir.

Köpüyün həcmi SAM-ın sulu məhlulunun W_{su} və hava həcmələrinin W_0 cəmi kimi baxsaq, aşağıdakı tənlik alınır:

$$W_k = W_{su} + W_0.$$

Lay şəraitində havanın həcmi (qazın) Boyl-Mariot qanununa əsasən aşağıdakı düsturla ifadə olunur

$$W_0 = W_0 \frac{p_0 T}{p T_0},$$

burada W_0 – normal şəraitdə havanın (qazın) həcmi, m^3 ; p_0, p – atmosfer və lay təzyiqləri; T_0, T – kompressorun qəbulunda və lay temperaturlarıdır.

W_0/W_B nisbətini C_a (aerasiya dərəcəsi) vasitəsilə ifadə edərək və W_0 kəmiyyətini köpüyün həcmi yuxarıda ifadə olunan tənliyində yerinə yazanda alınır:

$$W_{su} = \frac{W_k}{1 + \frac{C_a p_0 T}{p T_0}}$$

Nasos aqreqatının məhsuldarlığı – q_n məlum olduqda, köpüyün vurulma müddəti t aşağıdakı tənliklə hesablanabilir:

$$t = \frac{W_k}{q_n \left(1 + \frac{C_a p_0 T}{p T_0} \right)}$$

Nasos aqreqatının q_n və kompressorun q_k məhsuldarlıqları ehtiva edilir ki, laya köpük vurularkən $q_k = q_n C_a$ nisbəti saxlanılsın.

Laya köpük vurulması prosesinin səmərəliyi növbəti köpüyün yaranma üsulundan (səthdə və ya layda), vurulan köpüyün həcmindən, aerasiya dərəcəsi və dayanıqlığından asılıdır.

Köpüyün yaranmış strukturunun pozulmaması və məsaməli mühitdə yapışmış və sıxılmış qabarcıqların vaxtından əvvəl qopmaması üçün quyular əvvəlki rejim parametrlərlə mənimləndirilməlidir.

Qeyd olunmalıdır ki, xassələri təhlil olunan qaz-maye sistemlərində sulaşmanın qarşısının alınması məqsədilə Tatarıstan, Başqırdıstan və Azərbaycan yataqlarında tətbiq edilmiş və müsbət nəticələr alınmışdır.

Nəticə

1. Köpüyün quyudibi zonaya vurulması sulaşmanın azalmasına və məhsuldarlığın artmasına səbəb olur.
2. Vurulan köpüyün həcmi və aerasiya dərəcəsinin artırılması, onun dayanıqlığı və özlülüyünün

yüksəlməsinə, işlənmənin nəticəsinin yaxşılaşmasına gətirib çıxarır.

3. Tükənmiş yataqlarda köpüyün intensivləşdirilmə üsulu kimi tətbiqi bütün digər təsiretmə üsullarından daha səmərəli hesab oluna bilər.

4. Köpükdən suyun hərəkətinin tənzimlənməsi ilə yanaşı, quyudibi sahənin təmizlənməsi üçün də istifadə edilməsi tövsiyə olunur.

5. Quyularda sulaşmanın qarşısının alınması məqsədilə köpüklə təsir kifayət qədər ucuz və münasib üsul hesab oluna bilər.

Ədəbiyyat siyahısı

1. Мищенко И.Т. Скважинная добыча нефти – М.: Нефть и газ, 2003, 816 с.
2. Салимов М.Х. Особенности водоизоляции скважин на поздней стадии разработки. 2002. <http://msalimov.narod.ru>.
3. Казакевич Л.В., Бекиш Е.Н. и др. Применение пенных систем в нефтегазодобыче. – М.: Недра, 1987, 22 с.
4. Васильева Н.П. и др. Регулирование продвижения пропластковых и подошвенных вод при помощи пен. – М.: ВНИИОЭНГ, 1970, 180 с.
5. Амелькин С.В., Ахметов А.Т. и др. Некоторые особенности пенообразования в пористой среде // Нефтегазовое дело, 2006, с. 14. <http://www/ogbus.ru>
6. Корнев К.Г. Пены в пористых средах. – М.: Физматлит, 2001, 192 с.
7. Кругляков П.М., Ексерова Д.Р. Пены и пенные плёнки. – М.: Химия, 1990, 432 с.
8. Евгенийев А.Е., Турниер В.Н. О реологических свойствах пены в пористой среде // Известия ВУЗов. Нефть и газ, 1967, № 12, с. 78-79.