

Karbon qazının qaz-kondensat sistemlərinin faza çevrilmələrinə və retroqrad kondensatın dispersləşdirilməsinə təsirinin tədqiqi

N.N. Həmidov, t.e.n.

"Neftqazelmədqiqatlayihə" İnstitutu

Açar sözlər: retroqrad kondensat, qaz-kondensat sistemi, kondensatın buxarlanması, bohran parametrlər, kondensasiya təzyiqi, karbon qazı, eksperiment.

DOI.10.37474/0365-8554/2021-4-17-22

e-mail: natiq.hamidov@socar.az

Исследование влияния углекислого газа на фазовые превращения газоконденсатных систем и диспергирование ретроградного конденсата

N.N. Гамидов, к.т.н.

НИПИнефтегаз

Ключевые слова: ретроградный конденсат, газоконденсатная система, испарение конденсата, критические параметры, давление начала конденсации, углекислый газ, эксперимент.

Исучено влияние углекислого газа на фазовые превращения природных газоконденсатных систем, определена его роль в испарении ретроградного конденсата, выпавшего в пласте вследствие снижения давления в период процесса разработки. На основе экспериментов, проведенных по специальной методологии в бомбе pVT, раскрыта сущность различного влияния количества углекислого газа в составе газоконденсатной смеси на физико-химическо-термодинамические параметры системы в зависимости от температурного интервала.

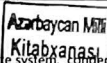
В результате экспериментов определено, что с увеличением количества углекислого газа в составе газоконденсатной смеси увеличивается количество диспергированного конденсата в газовой фазе. Кроме этого, увеличение количества CO₂ в газовой фазе приводит также к увеличению количества газа, растворимого в единичном объеме конденсата.

Показано, что влияние углекислого газа на давление ретроградной конденсации газоконденсатных систем не может быть однозначно оценено. Давление ретроградной конденсации таких смесей может быть различным в разных температурных диапазонах за счет изменения свойств, критических параметров самой системы.

Studying the impact of carbon dioxide on phase transitions of gas-condensate systems and dispersion of retrograde condensate

N.N. Hamidov, Cand. in Tech. Sc.

"Oil-Gas Scientific Research Project" Institute



Keywords: retrograde condensate, gas-condensate system, condensate evaporation, critical parameters, dew point pressure, carbon dioxide, experiment.

The paper studies the effect of carbon dioxide on the phase transitions within gas-condensate systems and defines its role on the evaporation of retrograde condensate isolated in formation due to the decreasing pressure during development process. Based on the experiments carried out by special methodology in pVT bomb, the essence of various impact of carbon dioxide amount in the content of gas-condensate mixture on the physico-chemical and thermo-dynamic parameters of the system depending on the temperature interval revealed.

As a result of experiments, it was defined that the increase of carbon dioxide within gas-condensate mixture raises the content of dispersed condensate in gas phase. Moreover, the increase of CO₂ in gas phase leads to the growth of gas amount dissolved in a unit volume of condensate as well.

It is shown that the effect of carbon dioxide on the pressure of retrograde condensation within gas-condensate system cannot be definitely estimated. The pressure of retrograde condensation within such mixtures may be different in various temperature diapasons due to the change of the features and critical parameters of the system.

Qaz-kondensat yataqlarının tükənmə rejimində istismarı lay təzyiqinin azalması və maye komponentlərin birləşməsi qaz halında olan sistemdən tədricən ayrılaraq layda çökməsi ilə nəticələnir. Layın digər hissələri ilə müqayisədə quyudibi zonada çökmüş maye komponentlərin çoxalması daha sürətlə baş verir. Başqa sözlə, təzyiqin daha tez düşməsi nəticəsində retrograd kondensasiya quyudibi zonada başlayır və quyu ətrafında radial formada kondensat yığılmasına səbəb olur. İlkən anda kiçik daməciklər şəklində çökmə maye karbohidrogen hissəcikləri kiçik ölümlü boyluqlar və əlaqəsiz məsələlərdə tıxanır. Bu zaman kapillyar kanalın diametri kiçilir və qaza görə nisbi faza keçiriciliyi azalır. Çökmüş kondensat kütləsi radial olaraq bütün istiqamətlərə yığıldığından quyu ətrafında kondensat halqası yaranır və zamanla asılı olaraq böyüyür. Yalnız kondensatla doyma kritik həddə çatdıqda və quyudibi zonada yaranan təzyiqlər fərq kifayət etdikdə bu maye halqası hərəkətə gəlir və quyuya doğru istiqamətlənir. Quyuya daxil olan kondensat quyu lüləsinə hidrostatik təzyiqlə təzyiqlənir. Beləliklə, lay quyudibi-quyuyağı təzyiqlər arasında baş verən sürətli dəyişmələr quyunun işini çətinləşdirir və kəskin pulsasiyaların yaranmasına səbəb olur. Lay enerjisi quyudibi zonaya yığılan kondensat halqasını quyuya doğru sıxışdırmağa və quyu lüləsinə daxil olmuş kondensatın yaratdığı hidrostatik təzyiqlə dəf etməyə kifayət etmədiyi halda isə quyu tam dayanır.

Qaz-kondensat yataqlarının tükənmə rejimində istismarı zamanı quyudibi zonada gedən bu fiziki və hidrodinamik proseslər quyudibi zonanın dağılmasına, avadanlıqların sıradan çıxmasına, iqtisadi fəsadlara, həmçinin ciddi işəhsalat təhlükələrinin yaranmasına səbəb ola bilər.

Tədqiqatın mahiyyəti

Problemin mahiyyətini dəyərləndirmək üçün bu sahədə aparılan bir sıra elmi-tədqiqat işləri təhlil edilmişdir. Ümumiyyətlə, qaz-kondensat quyularının məhsuldarlığını artırmaq üçün quyudibi zonanın müxtəlif tərkibli qazlarla işlənməsi daha səmərəli hesab edilir [1–3]. Üsulun mahiyyəti quyudibi zonada çökmüş karbohidrogen kondensatın müxtəlif tərkibli qazlarla buxarlandırılmasına əsaslanır. Aparılan tədqiqatlarla görə, bu üsulun təbii vasitə ilə təsir obyektinin xassasından, işçi agentin həcmi və tərkibindən asılı olaraq 10–20% səmərə əldə etmək olar. Əlavə olaraq quyunun qaz və kondensat hasilatını artırmaqla onun stabil istismar dövrünü 1–2 il müddətinə artırmaq

mümkündür.

Təqdim olunan işdə quyudibi zonanın, tərkibində karbon 4-oksid olan təbii qaz qarışıqları ilə işlənilməsi nəzəri və eksperimental tədqiqatlar vasitəsilə araşdırılmış, karbon qazının (CO₂) qaz-kondensat sistemlərinin faza münasibətləri və retrograd kondensatın dispersləşməsinə təsiri öyrənilmişdir.

Məlumdur ki, qaz-kondensat yataqlarında ən çox rast gəlinən qeyri-karbohidrogen qazlardan biri də karbon-4-oksiddir. Yataqlardan götürülmüş qaz nümunələrinin xromatoqrafik analizlərinə əsasən, bu qazın miqdarı yataqların formalaşma şəraitindən və digər amillərin təsirindən asılı olaraq 80%-ə (Rusiyanın "Semivodovskoye" yatağında CO₂-nin miqdarı 79.79%) qədər ola bilər. Lakin demək olar ki, bütün qaz-kondensat yataqlarında az da olsa CO₂ qazına rast gəlinir. Məsələn, Rusiyanın "Urenqoy", "Zapolyarnoye" və "Yurxarovskoye" yataqlarında CO₂-nin miqdarı uyğun olaraq 0.01, 0.03 və 0.07%, "Astraxan", "Berezansk" və "Kandim" yataqlarında isə uyğun olaraq 21.55, 3.39 və 2.89% təşkil edir.

Ümumiyyətlə, karbon qazı rəngsizdir, az tərsuluqlu dadı və iyı vardır. Molekulyar kütləsi 44.01-ə, sıxlığı 1.98 kq/m³-ə (standart şəraitdə), böhran temperaturu 31°C-yə, böhran təzyiqi 7.52 MPa-ya bərabərdir. Fiziki-kimyəvi-termodinamik xassələrinə görə neft-qaz hasilatı sahəsində geniş istifadə edilir. CO₂-nin maraqlı dairəsində olmasından digər tərəfi ondan ibarətdir ki, yanan qazların əsas hissəsini təşkil edir və bu qazın işçi agent kimi istifadə edilməsi ekoloji baxımdan da məqsədəuyğundur. Neft yataqlarında neftin sıxışdırılması məqsədilə ilk dəfə ABS-də istifadə edilən və sonralar daha geniş şəklində sınaqlara başlanılmışdır. Neft yataqlarının işlənməsində sərbəst, su ilə qarışmış, kimyəvi reagentlərə emal edilmiş və s. şəkildə istifadə olunur və ya tədqiq edilmişdir [4]. Qaz-kondensat yataqlarının işlənməsində, həmçinin fundamental və təbii tədqiqatların aparılmasında da bu qazdan geniş istifadə olunur [5–7]. Tədqiqatlara əsasən, CO₂-nin digər qazlara nisbətən kondensatda daha yaxşı həll olma hesabına kondensatı buxarlandırmaya qabiliyyətinin daha yüksək olması müəyyənləşdirilmişdir. Qeyd edək ki, burada bu komponentin qaz-kondensat sisteminin faza çevrilmələrinə təsiri ən mühüm amillərdən olması təyin edilmişdir [5].

Ekspirimentlərin aparılması

CO₂-nin qaz-kondensat sistemlərinin faza münasibətlərinə təsiri tədqiq etmək üçün aparılan

eksperimətlər işçi təzyiqi 45 MPa və temperaturu 100 °C olan YK1-3 tipli pVT bombasından həyata keçirilmişdir. Quruq, rekombinə edilmiş qaz-kondensat sistemini CO₂ ilə qarışdırmaq üçün xüsusi, yüksək təzyiqli pistonlu kompressor və CO₂ ilə doldurulmuş yüksək təzyiqli balonla birləşdirilmişdir. Tədqiqat proseduruna əsasən nəzərdə tutulan ölçmə, nümunə götürmə və digər əməliyyatları həyata keçirmək üçün saxlanmış nəzəri-ölçmə cihazlarından və qaz xromatoqrafından istifadə edilmişdir.

Qaz-kondensat sisteminin yaradılması üçün Bulla-dəniz qaz-kondensat yatağının 46 №-li quyusundan götürülmüş qaz və kondensat nümunələrindən istifadə edilmişdir. Qazın sıxlığı 0.7347 q/m³, stabil kondensatın molekulyar kütləsi 134 kq/kmol, sıxlığı isə 780.4 kq/m³ ölçülmüşdür. Həm rekombinə olunmuş nümunə yaradılan

Ədəvəl 1

Komponentlər	Qaz fazasında CO ₂ -nin miqdarı, %			
	0	10	20	30
Qazların komponent tərkibi				
C ₁	91.15	79.40	70.07	62.60
C ₂	6.78	5.83	5.73	3.93
C ₃	1.24	1.01	0.93	0.70
IC ₁	0.26	0.24	0.21	0.16
IC ₂	0.32	0.32	0.20	0.14
NC ₁	0.12	0.08	0.08	0.05
NC ₂	0.09	0.06	0.05	0.03
ΣC _n	0.04	3.40	3.41	3.41
CO ₂	0.14	9.66	19.32	28.98
C _n , q/m ³	7.7	5.2	3.8	1.7

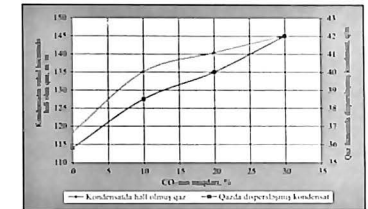
ilkən qazın, həm də CO₂ qarışdırılmış qazların tərkibi ədəvəl 1-də verilmişdir.

Yaradılmış qaz-kondensat sisteminin 100 °C temperaturda kontakt kondensasiya izotermi çəkilmiş, sistem retrograd kondensasiya təzyiqi 22.8 MPa, maksimal kondensasiya təzyiqi isə 12–14 MPa intervalında təyin edilmişdir. Bunu nəzərə alaraq, çökmüş kondensat buxarlandırılması, təzyiqin 12 MPa qiymətində, təxminən maksimal kondensasiyanın aşağı sərhədində aparılmışdır. Alınmış nəticələr və qazların tərkibi dəqiqləşdirildikdən sonra termodinamik tarazlıq halında homin təzyiq və temperaturda qaz fazası tədricən xaric edilmişdir. Qaz fazası xaric edilməklə bərabər, ədəvəl 1-də verilən CO₂ tərkibli qaz qarışığı ilə əvəz edilmiş, yaradılmış yeni sistemə uyğun kontakt kondensasiya prosesi təkrar aparılaraq kontakt izotermi və retrograd kondensasiya təzyiqi təyin olunmuşdur. Ardınca kondensat

fazasının vahid həcmində həll olan qazın və qaz fazasının vahid həcmində dispersləşən kondensatın miqdarı təyin edilmişdir. 100 °C temperaturda 12 MPa təzyiqdə sistem qaz fazası xaric edildikdən sonra homin qaz qarışığı (separator vasitəsilə dispersləşmiş kondensatdan azad edilmiş) təkrar sistemə qaytarılmışdır. Bu qayda ilə verilmiş işçi agentin çökmüş kondensatla 4 kontakt sikli həyata keçirilmişdir. Bu məlumatlar daha geniş şəkildə [8, 9] işləndirilmişdir.

Karbon qazının kondensatın dispersləşmə prosesinə təsiri

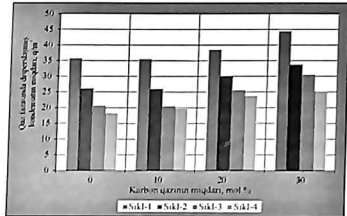
Alınan nəticələrdən belə məlum olur ki, qaz qarışığının tərkibində CO₂-nin miqdarı 0-dan 30%-ə qədər artması, qaz fazasında dispersləşən kondensatın miqdarını 35.8-dən 42 q/m³-ə qədər artırır (şəkil 1). Bu qazın karbohidrogen kondensatı yaxşı dispersləşməyə qabiliyyəti onun miqdarının artması ilə də kondensat fazasında həll olan qazın artması ilə də təsdiq edilir. Belə ki, CO₂-nin qaz fazasında mol %-lə miqdarının 30%-ə qədər artması kondensatın vahid həcmində həll olan qazın miqdarını 118.3-dən 145 q/m³-ə qədər çoxalmasına səbəb olur.



Şəkil 1. Qaz fazasında dispersləşən kondensatın və maye fazasında həll olan qazın həcmi CO₂-nin miqdarından asılılığı

Məlumdur ki, retrograd çökmüş kondensatın dispersləşdirilməsi üçün təsir sikllərinin sayı da vacib amillərdəndir. Üsulun səmərəliliyini təyin etmək üçün sikllərin optimal sayının təyin edilməsi vacibdir. Bunu nəzərə alaraq, eksperiment məlumatları nəticəsində müxtəlif təsir sikllərində dispersləşən kondensatın miqdarı təyin edilmişdir (şəkil 2).

Şəkil 2-dən görüldüyü kimi, çökmüş kondensatı dispersləşdirmək qabiliyyətinə görə CO₂ bütün sikllərdə təbii qazı üstələyir, belə ki, təbii qazla 4 sikl nəticəsində 23% çökmüş kondensat



Şəkil 2. Qaz fazasında dispersiyalı kondensatın miqdarının CO₂-nin həcmi və çökmüş kondensata təsir sikllərinin sayından asılıqları

yenidən hasil edilirsə, 30 % CO₂ tərkibli qaz qarışığı ilə bu nəticə 33 % təşkil edir. Lakin sikllərin sayının artması buxarlandırılan kondensatın miqdarını azaldır. Bu isə çökmüş kondensatın tərkibində yüngül fraksiyaların azalması ilə (eksperimental məlumatlara əsasən hər sikldən sonra qalan kondensatın sıxlığı artır) sübut etmək olar.

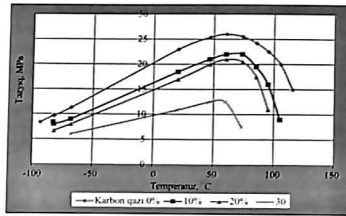
Karbon qazının retroqrad kondensasiya təzyiqlərinə təsiri

Qeyd edildiyi kimi, CO₂ tərkibli təbii qaz qarışıqları işçi agent kimi daha böyük üstünlüyə malikdir. Bu, CO₂-nin təbii sistemlərin faza münasibətlərinə özünəməxsus təsiri ilə əlaqədardır. Bu səbəbdən, CO₂-nin faza keçid proseslərinə, xüsusən də retroqrad kondensasiya təzyiqinə necə təsir etməsi qiymətləndirilməlidir. Bunun üçün yuxarıda verilən eksperimental məlumatlardan istifadə edərək CO₂ tərkibli sistemin böhran parametrləri (temperatur, təzyiqlik və həcm) hesablanmış (cədvəl 2) və uyğun faza diaqramları qurulmuşdur (şəkil 3).

Cədvəl 2

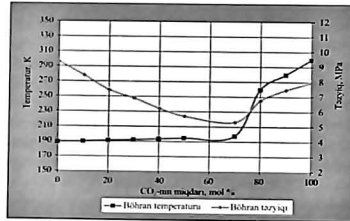
Qaz fazasında CO ₂ -nin miqdarı, %	T _{bo} , °K	P _{bo} , MPa	V _g , m ³ /mol
0	189.281	9.324	115.576
10	190.066	8.422	114.625
20	191.567	7.454	113.698
30	192.577	6.911	111.782

CO₂-nin əlavə edilməsi ilə yaranan sistemlərin termodinamik xüsusiyyətləri ələ dəyişir ki, hər yeni sistemin böhran temperaturu əvvəlkindən böyük, böhran təzyiqli isə əvvəlkindən kiçik olur. Nəticədə faza diaqramlarının ordinat oxu üzrə aşağıya doğru yerini dəyişməsi və sistemin kondensasiya təzyiqli qiymətlərinin azalması müşahidə



Şəkil 3. CO₂ tərkibli təbii qaz qarışığının faza diaqramları

olunur (bax: şəkil 3). Buradan aydın olur ki, CO₂ daxil olduğu sistemin böhran təzyiqinin qiymətindən asılı olmayaraq həmin təzyiqli qiymətini azaltmağa çalışır. İndiyə qədər aparılmış tədqiqat-lardan da məlumdur ki, binar və üçkomponentli sistemlərin tərkibində hər hansı bir komponentin miqdar 0-dan 100 %-ə qədər dəyişdikdə sistemin böhran təzyiqli parabolik ayrı üzrə dəyişir və sistemin faza diaqramı, həmin komponentin fərdi faza diaqramına doğru yığılır [10]. Deməli, qarışıqda CO₂-nin miqdarı ələ bir həddə çatır ki, həmin qiymətdən sonra qarışıq böhran təzyiqli artmağa başlayır, yəni sistemin böhran təzyiqli CO₂-nin böhran təzyiqinə yaxınlaşır. Bunu təsdiqlə etmək üçün CO₂-nin qaz fazasında artması analitik davam etdirilmiş və böhran parametrləri hesablanmışdır. Bu nəticələr cədvəl 2-də olan qiymətlərlə birlikdə şəkil 4-də göstərilmişdir.



Şəkil 4. CO₂-nin miqdarından asılı olaraq sistemin böhran təzyiqli və temperaturunun dəyişməsi

Şəkil 4-dən görüldüyü kimi, CO₂-nin təbii karbohidrogen sistemi tərkibində ələ bir qiymətə (baxılan halda 70–80 % intervalında) var ki, bundan sonra onun artması sistemin böhran təzyiqinin qiymətini artırır. Deməli, CO₂-nin bu qiymətdən

sonra qarışıq retroqrad kondensasiya təzyiqləri də artacaqdır (məyayın temperatur intervalında).

Buradan belə nəticə çıxarmaq olar ki, CO₂-nin qaz-kondensat sistemlərinin retroqrad kondensasiya təzyiqinə təsirini birmonal qiymətləndirmək olmaz. Belə qarışıqların retroqrad kondensasiya təzyiqləri sistemin xüsusiyyətlərinin, böhran parametrlərinin dəyişməsi nəticəsində ayrı-ayrı temperatur intervalında müxtəlif ola bilər.

Nəticə

Tədqiqatlar nəticəsində məlum olmuşdur ki, işçi agent kimi istifadə olunan qazın tərkibində CO₂-nin artması, sistemin qaz fazasında dispersiyalı kondensatın miqdarını artırır. Həmçinin, qaz

fazasında CO₂-nin çəxəlməsi kondensatın vahid həcmində həll olan qazın miqdarının da artmasına gətirib çıxarır.

Qaz-kondensat qarışığının tərkibində CO₂-nin miqdarının 70–80 % intervalında artması sistemin böhran təzyiqinin qiymətini azaldır, sonrakı artımı isə sistemin böhran təzyiqinin qiymətini artmasına səbəb olur.

CO₂-nin qaz-kondensat sistemlərinin retroqrad kondensasiya təzyiqinə təsirini birmonal qiymətləndirmək olmaz. Belə qarışıqların retroqrad kondensasiya təzyiqləri sistemin xüsusiyyətlərinin, böhran parametrlərinin dəyişməsi hesabına ayrı-ayrı temperatur intervalında müxtəlif şəkildə ola bilər.

Ədəbiyyat siyahısı

1. Гриценко А.И., Островская Т.Д., Юшкин В.В. Углеводородные конденсаты месторождений природного газа. – М.: Недра, 1983, 263 с.
2. Həmidov N.N., Fətəliyev V.M. Laya çökmüş kondensatın təbii qazla buxarlandırılmasına qalıq suyun təsirinə eksperimental tədqiqat // Azərbaycan neft təsərrüfatı, 2016, № 10, s. 23-27.
3. Meng X., Sheng J. Experimental and numerical study of huff-n-puff gas injection to re-vaporize liquid dropout in shale gas condensate reservoirs // Journal of Natural Gas Science and Engineering, 2016, v. 35, part A, pp. 444-454.
4. Бакин В., Бан А., Долешал Ш., Забрдин П.И., Терех Я. Применение углекислого газа в добыче нефти. – М.: Недра, 1977, 240 с.
5. Гамидов Н.Н. Исследование испаряемости конденсата в присутствии углеводородных и неуглеводородных газов: дис. канд. техн. наук, Баку, 1999, 122 с.
6. Островская Т.Д., Гриценко И.А. Исследование газоконденсатных смесей, содержащих CO₂ и N₂ // Газовая промышленность, 1983, № 8, с. 31-32.
7. Гамидов Н.Н., Фətəliyev В.М. Влияние критических свойств газов на процесс испарения пластовых углеводородных конденсатов. Материалы XI Международной научно-практической нефтегазовой конференции. Кишинево, 27-31 октября, 2014, с. 45-46.
8. Абасов М.Т., Аббасов З.Я., Аббасов Ш.Д., Гамидов Н.Н. Влияние неуглеводородных компонентов на давление начала конденсации природных систем // Газовая промышленность, 2000, № 1, с. 17-19.
9. Абасов М.Т., Аббасов З.Я., Фətəliyev В.М., Гамидов Н.Н., Мамедова Г.Г. Прикладные вопросы термодинамики при добыче нефти и газа. – Баку: Нефтя-Пресс, 2013, 212 с.
10. Катц Д.Л. и др. Руководство по добыче, транспорту и переработке природного газа. – М.: Недра, 1965, 765 с.