

## Sualtı dəniz magistral qaz kəmərlərində hidratyaranmanın başlamasının müəyyən edilməsi üsulu

E.X. İskəndərov, t.e.d., Ş.Ə. Bağırov  
Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti

**Açar sözlər:** təbii qaz, qaz hidrati, analitik üsul, sualtı kəmərlər, dəniz, hidratyaranma indikatoru, obliterasiya, tıxac, metanol.

DOI.10.37474/0365-8554/2022-05-31-36

e-mail: e.iskenderov62@mail.ru

### Аналитический метод определения момента начала гидратообразования в морских магистральных газопроводах

Э.Х. Искендеров, д.т.н., С.А. Багиров  
Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности

**Ключевые слова:** природный газ, газогидрат, аналитический метод, подводный трубопровод, море, индикатор гидратообразования, облитерация, пробка, метанол.

Статья посвящена анализу условий гидратообразования в процессе транспортировки природного газа по подводному газопроводу, механизму образования гидратных засорений, локализации и удалению методом оперативного определения начала гидратации.

В результате анализа было отмечено, что одной из самых сложных проблем при транспортировке природного газа, особенно морским путем, является гидратообразование. Газогидраты представляют собой кристаллические соединения, образующиеся из воды и газа при определенных температурах и давлениях. Подчеркнута необходимость осуществления сложного и трудоемкого процесса, такого как взвешивание и выделение гидрата из подводных газопроводов в результате гидратообразования.

В результате наблюдений за реальными подводными газопроводами было отмечено, что гидратообразование и частичная или полная закупорка газопровода происходили по двум различным сценариям. Первый случай обусловлен отложением газогидрата на внутренней поверхности трубопровода, второй случай – накоплением внутри трубопровода большого количества свободной воды и конденсата, уменьшением сечения трубопровода в секциях сбора жидкости, увеличение расхода газа и снижение его температуры.

В отличие от береговых газопроводов, количество технологических параметров для точной оценки момента начала гидратообразования в подводных морских газопроводах весьма ограничено. Представлен аналитический метод определения момента начала гидратации подводного магистрального газопровода при ограниченных параметрах. Отчеты по реальному газопроводу продемонстрировали эффективность и информативность метода. Предлагаемый способ характеризуется простотой, возможностью оперативной реализации и удобством использования персоналом.

### The analytical method for the specification of the beginning of hydrating in the offshore gas main pipelines

E.Kh. Iskenderov, Dr. in Tech. Sc., S.A. Bagirov  
Azerbaijan State University of Oil and Industry

**Keywords:** natural gas, gas hydrate, analytical method, subsea pipeline, sea, hydrates indicator, siltation, plug, methanol.

The paper is dedicated to the analysis of hydrating conditions in the process of the transportation of the natural gas by subsea pipeline, to the mechanism of formation of hydrate plugs, to the localization and elimination by means of an immediate definition of hydrates as well.

As a result of the analysis, it was marked that one of the complicated issues in the transportation of the natural gas, particularly via the sea, is the hydrating. Gas hydrates are crystal compounds formed from the water and gas in the specific temperature and pressure parameters. The necessity of the implementation of such a complicated and labor-intensive process as the weighting and separation of hydrates from the subsea gas pipelines as a result of hydrating is noted.

According to the results of the observation of subsea gas pipelines, it was specified that the hydrates and partial or full choking of gas pipeline occur due to two various scenarios. The first case arises from the deposition of the hydrate in the inner surface of gas pipeline, and the second one – from the accumulation of a great deal of water and condensate within the pipeline, as well as from the decrease of pipeline flow in the section of fluid collection, from the increase of gas charge and its temperature.

Unlike the onshore gas pipelines, the number of technological parameters for an accurate estimation of the moment of hydrating in the offshore gas pipelines is quite limited. The paper presents an analytical method for the specification of the hydrating moment within a subsea gas main in the limited parameters. The reports on an actual gas pipeline justified the efficiency and information value of the method. Suggested method is characterized with the simplicity, perspective of an immediate employment and comfort of usage by the staff.

Təbii qaz digər enerji növlərilə müqayisədə bir sıra rəqabət üstünlüklərinə malikdir. Əsas üstünlüklərdən biri aşağı qiymət və istifadədə ətraf mühitə uyğunluqdur. Dünya ictimaiyyəti atmosfərə atılan zərərli tullantıların miqdarını azaltmağa çalışdığından, təbii qazın əsas enerji daşıyıcısı növü kimi istifadəsi olduqca aktualdır. Mavi yanacaq universal və qiymətli bir enerji daşıyıcısı olaraq, sənaye və kənd təsərrüfatı məhsullarının artımına, əmək məhsuldarlığına və maye yanacaqların xüsusi istehlakının azalmasına birbaşa təsir göstərir. Təbii qazın hasilat sahələri istehlak edildiyi yerlərdən xeyli uzaqda yerləşdiyindən, onun istehsal olunduğu yerlərdən son istehlak nöqtələrinə çatdırılması zərurət yaranır.

Bu gün təbii qazın nəqlinin əsas yolları aşağıdakılardır: boru kəmərlə nəqli; təbii qazın mayeləşdirilmiş vəziyyətdə daşınması; təbii qazın sıxılmış vəziyyətdə nəqli; təbii qazın qaz hidrat şəklində daşınması. Təbii qazın nəqli üçün çoxlu üsullar mövcud olmasına baxmayaraq, boru kəmərlə nəqli üstünlük təşkil edir. Buna görə də istehlakçılara qazın fasiləsiz verilməsi qaz kəmərlərinin dayanıqlığından və stabilliyindən asılıdır. Təbii qaz təchizatına olan yüksək tələblər nəql şirkətləri qarşısında qaz ötürmə sistemlərinin etibarlılığını artırmağa yönəlmiş yeni mütərəqqi texnologiyaların işlənməsi istiqamətində səylərini artırmağa sövq edir.

Təbii qazın, dəniz kəmərlərilə nəqlinin ən mürəkkəb problemlərindən biri hidratyaranmadır. Qaz hidratları (təbii qazların hidratı və ya klatratları) su və qazdan müəyyən temperatur və təzyiqli şəraitində əmələ gələn kristal birləşmələrdir. Qaz hidratları qeyri-stexiometrik birləşmələrə, yəni dəyişkən tərkibli birləşmələrə aiddir.

Qaz hidratları (klatratlar) metan, etan, propan, butan və s. kimi aşağı molekullu qazların su ilə bərk kristal birləşmələridir. Xarici görünüşünə görə qar və ya yumşalmış buza bənzəyir. Aşağı temperaturda və yüksək təzyiqdə dayanıqlıdır. Bu şərtlər pozulduqda qaz hidratları asanlıqla suya və qaza ayrılır. Ən çox yayılmış təbii qaz-hidratyaranıcı metandır. Hidratlarda metanın miqdarı çox yüksəkdir. Bir kubmetr hidratdan (standart şərtlərdə) 160 m<sup>3</sup>-dən çox metan almaq olar. Enerji tutumu baxımından (istilik yaratma qabiliyyəti), qaz hidratları bitumlu neft və neftdaşıyıcı qumlar ilə müqayisə edilə bilər.

Qaz hidratlarını təbii və texnogen növlərə ayırırlar. Təbii hidratlar yığın əmələ gətirə bilər və ya dağılıq ola bilər. Dərin su (dərin göllər, dənizlər və okeanların dib altı bölgələri) və daimi buz zo-

nası (arktik bölgə) kimi aşağı temperatur, həmçinin yüksək təzyiqli şəraiti təmin olunmuş yerlərdə rast gəlinir. Qaz hidratlarının dənizdibində meydana gəlmə dərinliyi 500–1500 m, arktik zonada isə 200–1000 m-dir. Qaz hidrat yataqlarının işlənməsi perspektivlik baxımından xüsusi əhəmiyyət kəsb edən faktor – aşağı qatda sərbəst təbii qaz və ya sərbəst suyun olmasıdır.

Tədqiqatın mövzusu olan texnogen hidratlar ənənəvi təbii qaz hasilatı sistemlərində (quyuların quyudibi zonasında, quyudaxili borularda və s.) və onun nəqli prosesində əmələ gələ bilər [1]. Adi təbii qazın hasilatı və nəqlinin texnoloji proseslərində qaz hidratmələgəlmə arzuolunmaz hadisə kimi qəbul edilir ki, bu da onların qarşısının alınması və aradan qaldırılması üçün mövcud üsulların daha da təkmilləşdirilməsini nəzərdə tutulur.

Hidratmələgəlmə üçün eyni vaxtda üç şərt yerinə yetirilməlidir: qazda suyun olması, kifayət qədər aşağı temperatur və yüksək qaz təzyiqli. Bununla belə, müəyyən hallarda qazda olan su buxarı maye sulu fazadan yan keçərək bilavasitə qaz hidratlarına kondensasiya olunur [2].

Nəzərə almaq lazımdır ki, sualtı dəniz qaz kəmərlərində hidrat əmələ gəlməsi və tam pərçimlənməsi nəticəsində kəmərin fəaliyyətinin dayandırılması, hidratdan azad edilməsi kimi mürəkkəb və zaman tələb edən prosesin həyata keçirilməsi zərurət yaranır. Dayandırıldıqdan sonra ilk növbədə kəmər hər iki tərəfdən boşaldılmalıdır. Adətən, kəmərin başlanğıcında, mədəndə kəmərin boşaldılması üçün aşağı təzyiqli qaz yığım sistemi və rezervuar parkı mövcud olduğundan məhsul itkiləri olmur. Kəmərin boşaldılan hissəsinin sonunda belə imkanın olmadığı və ya məhdud olduğundan qazın atmosferə atılması qaçılmaz olur.

Daha çox zaman tələb edən və nəql sistemində itkilərə səbəb olan proses – yaranmış hidratın əriməsidir. Dənizin kəmərdə çəkilmiş dərinliklərində suyun temperaturu kifayət qədər aşağı olduğundan hidratın parçalanması prosesi də gec gedir. Hətta nisbətən isti region hesab edilən Xəzər dənizi hövzəsində qaz kəmərləri çəkilən 50–100 m dərinlikdə suyun temperaturu 6 °C səviyyəsində olduğundan, zəif istilik mübadiləsi səbəbindən hidratın parçalanması da zəif gedir. Belə hallar üçün xüsusi təsir üsullarından istifadə etmək lazımdır.

Real dəniz sualtı qaz kəmərlərində aparılmış müşahidələr göstərir ki, hidratyaranma, kəmərin qismən və ya tam tıxaclanması halları iki fərqli proses ilə baş verir.

Birinci hal daha çox payız mövsümünün sonu-

na – qış mövsümünün əvvəlinə ətraf mühit temperaturunun kəskin azalması hallarına təsadüf edir. Məlumdur ki, ilin bu vaxtında qaz kəməri daxilində böyük sərbəst su-kondensat yığılı olmur. Həqiqətən, əvvəlki yay mövsümü ərzində ətraf mühit temperaturunun uzun müddət ərzində yüksək səviyyədə 30–40 °C qərarlaşması və mədəndaxili xətlərdə hərəkəti zamanı qızması səbəbindən kəmərdə daxil olan qazın da nisbi olaraq yüksək temperatura malik olması əvvəlki qış-yaz mövsümündə kəmərdə yığılmış mayenin rekon-densasiyasını stimullaşdırır. Bu prosesin gətirdiyi təsdiqi onunla bağlıdır ki, qaz kəmərlərinin başlanğıcı və son məntəqələrində aparılmış qaz həcmələrinin ölçmələri arasında fərq yay aylarında hətta orta illik göstəricidən qat-qat azdır, qış aylarında bu göstəricinin normadan 1.3–1.5 dəfə artıq olduğu müşahidə edilir.

Yuxarıda izahı verilən hal ona dəlalat edir ki, qeyd olunan zaman intervalında (noyabr-yanvar aylarında) nəm qazın hərəkəti, qaz kəmərinin daxili səthində qaz hidratının çökməsi prosesinin (obliterasiyasının) yaranması və artmasını səciyələndirir.

Real dəniz sualtı qaz kəmərlərində hidratyaranma, kəmərin qismən və ya tam tıxaclanmasının ikinci variantı daha çox qış mövsümünün sonuna – yaz mövsümünün əvvəlinə təsadüf edir. Bu hal onunla izah oluna bilər ki, arxada qalmış qış mövsümü ərzində gedən faza çevrilmələri nəticəsində qaz kəməri daxilində böyük miqdarda sərbəst su və kondensat yığılır. Sualtı qaz kəmərinin dənizin dibinə ilə çəkilmə profilinə uyğun olaraq kəmərin enib-qalxan əyilmələrinin aşağı hissələrində yığılan su, kondensat və mexaniki çöküntülərdən (borunun daxili divarının korroziyası və separasiyanın qeyri-mükəmməlliyi səbəbindən kəmərdə düşən layın bərk məhsulları) ibarət olan və qaza nisbətən yüksək sıxlığa malik struktur formalaşır. Qaz kəmərinin uzunluğu və dənizdibinin profilindən asılı olaraq belə hal bir-neçə yerdə yaranma bilər. Bu səbəbdən kəmərin maye yığılan kəsiklərində en kəsiyinin azalması baş verir ki, bu da qaz axımında termobarik şəraitin dəyişməsinə səciyələndirir. Kəmərin en kəsiyinin azalması, qazın axın sürətinin həmin kəsikdə artması və kəsikdən sonrakı genişlənmə hesabına qazın temperaturunun düşməsi baş verir [3].

Qazın temperaturunun şəh nöqtəsi temperaturundan aşağı enməsi də hidratın yaranmasını təmin etmiş olur. Qaz kəmərlərinin başlanğıcı və son məntəqələrində ölçülən qaz həcmələrinin arasında fərq bu hallarda orta illik göstəricidən artıq olur.

Beləliklə, stabil təzyiqlər şəraitində qaz həcmələrinin arasında fərqin artması hidratyaranma prosesinin başlanmasını göstərən əlamət kimi istifadə edilə bilər.

Hidratyaranma yerini təyin etmək üçün (siyahı tam olmayaraq) bir sıra üsullardan istifadə olunur:

- kəmərin müxtəlif yerlərində quraşdırılmış manometr vasitəsilə ölçülən xətt boyu təzyiqlər fərqinin düşməsi ilə müəyyən edilir;

- qaz kəmərinə hidrat və ya digər çöküntülərin yerini təyin etmək üçün ən ucuz və tez başa gələn – radiolokasiya üsuludur. Qaz kəməri boyu 20–40 km-dən bir quraşdırılmış antennaları hərəkət edən radiolokasiya stansiyası ilə birləşdirərək, bir neçə metr dəqiqliklə hidratyaranma yerini təyin etmək mümkündür;

- hidratın, ayrılmış mayenin yerini və qalınlığını təyin etmək üçün radioizotop qurğusundan da istifadə edilir. Radiometrik qurğunun bloku boru üzərində yerləşdirilir və hidratın əmələ gəldiyi yer qurğunun göstəricisinin tez düşməsi ilə təyin edilir;

- hidrat-buz və maye tıxaclarının yerini təyin etmək üçün radiodozator (RİK-6M) qurğusundan istifadə olunur. Bu cihaz da əvvəlki üsulla işləyir.

Qeyd etmək lazımdır ki, yuxarıda sadalanan üsullar yalnız quru ərazidə çəkilmiş qaz kəmərləri üçün istifadəyə yararlıdır. Sualtı dəniz magistral qaz kəmərlərində müvafiq şərait olmadığından bu üsulların tətbiqi mümkünsüzdür.

Bu səbəbdən sualtı dəniz qaz kəmərlərində hidratmələgəlmə və maye-çöküntünün yığılmasına qarşı qabaqçılıqçı, profilaktik tədbirlərin görülməsi xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Ən effektiv profilaktik tədbir – təsdiq olunmuş qrafikə uyğun təmizləyici qurğunun (porşenin) xəttə buraxılmasıdır. Ətraf mühitin temperaturu kəskin azaldıqda porşenin buraxılma intensivliyi artırılmalıdır. Reallıqda heç də bütün kəmərlərə (köhnə qaz kəmərləri, hər-hansı zədəli, məsələn, gəmi lövbərinin toxunmasından zədələnən kəmərlər və s.) təmizləyici qurğunun buraxılması mümkün deyil.

**Metodik hissə.** Quru sahədəki qaz kəmərlərindən fərqli olaraq sualtı dəniz qaz kəmərlərində hidratyaranma prosesinin başlanması anını düzgün qiymətləndirmək üçün texnoloji parametrlərin sayı xeyli məhduddur. Adətən, kəmərin başlanğıcı və sonunda olan təzyiqli və kəmərdə vurulan qazın həcmindən başqa parametrlər məlum olmur.

Ətraf mühitin temperaturu kəskin aşağı düşdükdə kəmərdə verilən qazın da temperaturunun azalması hidratyaranma ehtimalını artırır.

Normal rejimdə metanol kəmərdə müəyyən xü-

susi sərf norması ilə vurulduğu halda, yeni şəraitdə kəmərlər artırılmış miqdarda metanolun vurulması zərurəti yaranır.

Hidratın formalaşması və geriyyə dönməz tıxacın yaranması qısa zaman kəsiyində (1-2 saat ərzində) baş verdiyindən, operativ tədbirlərin görülməsi üçün hidratyaranmanın başlanması anının gecikmədən müəyyən edilməsi ciddi itkilərin qarşısını almağa imkan verə bilər [4]. Aşağıda sualtı dəniz magistral qaz kəmərinə hidratyaranmanın başlanması anının müəyyənəndirilməsinin analitik üsulu təqdim olunur.

Relyefi nəzərə almadan qaz kəmərinin keçiricilik qabiliyyəti  $Q$ , mln.  $m^3/gün$  aşağıdakı asılılıqla hesablanır [5]:

$$Q = 3.32 \cdot 10^{-6} d^{2.5} \sqrt{\frac{p_b^2 - p_s^2}{\lambda \Delta T_{or} Z_{or}}} \quad (1)$$

burada  $d$  – borunun daxili diametri, mm;  $p_b, p_s$  – qaz kəmərinin başlanğıc və sonunda mütləq təzyiqlər, müvafiq olaraq, MPa;  $\Delta$  – qazın havaya nisbətən nisbi sıxlığı;  $T_{or}$  – nəql olunan qazın qaz kəməri üzrə orta temperaturu, K;  $Z_{or}$  – qaz kəməri boyu orta sıxılma əmsali;  $L$  – kəmərin uzunluğu, km;  $\lambda$  – qaz kəmərinin hidravlik müqavimət əmsalidir. Müəyyən çevirmələr apararaq alırıq:

$$\frac{Q^2}{p_b^2 - p_s^2} = \frac{11.0224}{\lambda \Delta T_{or} Z_{or}} 10^{-12} d^5 \quad (2)$$

Bərabərliyin sol tərəfində məlum olan parametrlər  $Q, p_b$  və  $p_s$ , sağ tərəfdə məxrəcdə nisbi sıxlıq  $\Delta$  orta temperatur  $T_{or}$ , orta sıxılma əmsali  $Z_{or}$  və hidravlik müqavimət əmsali  $\lambda$  yer alıb.

Hidratyaranmanın başlanması anından sonra kəmərin hidratın yaranması nöqtəsindən əvvəlki

hissəsində qeyd olunan parametrlərin dəyişməsinə araşdıraraq.

Təzyiqin cüzi artması ilə əlaqədar ciddi şəkildə dəyişməyən termobarik ( $p, T$ ) parametrlərdən asılı olan  $\Delta$  və  $Z_{or}$ -nin cüzi artması müşahidə olunur.

Qazın temperaturu kəmərdə daxil olan qazın mənbəyində (kompresor stansiyası, qazın kompleks hazırlanması məntəqəsi) formalaşdığından yalnız ətraf mühitlə (dəniz kəməri halında dəniz suyu ilə) istilik mübadiləsi hesabına  $T_{or}$  qismən azalır.

Hidratyaranmanın ilk impulsunun hansı faktor – sərbəst suyun kəmərdə daxil olması, yaxud termobarik şəraitin dəyişməsi (təzyiqin artması, temperaturun azalması) olmasından asılı olmayaraq, hidrat kristallarının formalaşması səbəbindən “qaz-su-hidrat” strukturlarının geniş yayılması hesabına özlülüyün artması faktiki hidravlik müqavimət əmsali  $\lambda$ -nin də sürətlə artması ilə nəticələnir.

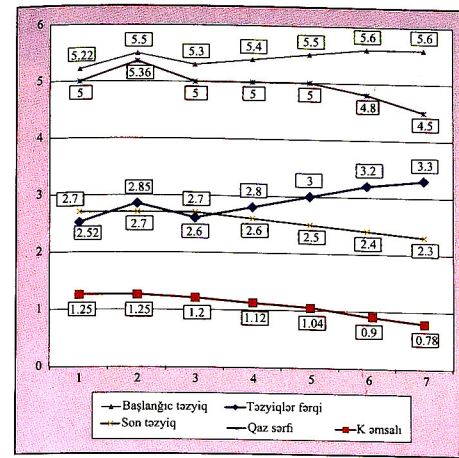
Bu halda bərabərliyin sol tərəfi azalmağa başlayır.

Bu səbəbdən  $K = Q^2 / (p_b^2 - p_s^2)$  ifadəsi axının qeyri-stasionarlıq funksiyası olmaqla yanaşı hidratyaranmanın indikatoru kimi də istifadə oluna bilər.

#### Nəticələrin təhlili

Müləhizələr uzunluğu 65 km, diametri 500 mm olan Neft Daşları-Bahar sualtı dəniz magistral qaz kəməri üçün hesablamalarla cədvəldə verilmişdir.

Cədvəldən göründüyü kimi, hidratyaranma kəmərin başlanğıcında təzyiqin artması, sonunda isə azalması ilə xarakterizə olunur. Yalnız, kəmərin başlanğıcında təzyiqin artması hidratyaranma ilə bağlı olmaya bilər. Məsələn, müəyyən hallarda (rejim 2) başlanğıc təzyiqin və müvafiq olaraq,



Hidratyaranma rejimlərinin parametrlərinin dəyişməsi grafiyi

təzyiqlər fərqi artması məhsuldarlığın artması ilə əlaqəli olduğundan, bu normal rejimdir və hidratyaranma təhlükəsi mövcud deyil. Hidratın yaranması rejimlərini əyani müqayisə etmək üçün parametrlərin dəyişməsi şəkildə əks olunmuşdur.

Qeyd etmək lazımdır ki, yataqlardan hasil olunan qaz həcmi zaman kəsiyində dəyişməsi ilə əlaqədar bu və ya digər qaz kəməri ilə nəql olunan qazın həcmi də dəyişdiyi, həmçinin regionun qazı nəql etmə sistemində fərqli aralıq təzyiqlərin formalaşması səbəbindən, cədvəldə verilmiş parametrlərin qiymətləri nisbidir.

Bununla əlaqədar hidratyaranmaya qarşı çevik nəzarət sistemini yaratmaq üçün sualtı dəniz magistral qaz kəmərinə istismar edən mühəndis-texniki heyət tərəfindən müəyyən müddət ərzində

hər bir kəmərdə üçün hidratyaranma yoxlaması aparılmalıdır. Yoxlama nəticəsində hidratyaranma rejimlərinin sərhədləri və hər rejimə uyğun yaranmış vəziyyətin izahı və tələb olunan texnoloji hərəkətlər müəyyən edilməlidir.

Qaz kəmərinin rejimlərinə bilavasitə nəzarət edən işçi heyətin (operatorun) işini sadələşdirmək və sürətləndirmək məqsədilə operatorun kompüterində Excel proqramı vasitəsilə rejimlərin hesablanması və grafik şəkildə müşahidə etməsinə şərait yaradıla bilər. Operator yalnız üç parametri ( $Q, p_b$  və  $p_s$ ) daxil etdikdən sonra alınan  $K = Q^2 / (p_b^2 - p_s^2)$  ifadəsinin qiymətinə əsaslanaraq vəziyyəti dərhal qiymətləndirmək imkanına malik olacaqdır.

Təqdim olunan üsul bir neçə il ərzində real şəraitdə, uzunluğu 65 km, diametri 500 mm, başlanğıc təzyiqi 5.5 MPa, son təzyiqi 2.5-3 MPa olan Neft Daşları-Bahar sualtı dəniz magistral qaz kəmərinə hidratyaranmanın başlanmasını proqnozlaşdırmaq üçün istifadə olunmuşdur. Bu da dəfələrlə, xüsusən ətraf mühit temperaturunun kəskin düşməsi hallarında hidrat tıxaclarının tam formalaşmasının qarşısını almağa imkan vermişdir.

#### Nəticə

Sualtı dəniz magistral qaz kəmərinə hidratyaranmanın başlanması anının müəyyənəndirilməsinin analitik üsulu təklif olunmuşdur.

Real qaz kəməri üçün aparılmış hesabatlarla üsulun effektivliyi və informativliyi nümayiş etdirilmişdir.

Təklif olunan üsul sadəliyi, operativ icrasının mümkünlüyü və işçi heyət tərəfindən asanlıqla istifadə imkanı ilə fərqlənir.

#### Ədəbiyyat siyahısı

1. *Основы технологии добычи газа* / А.Х. Мирзаджанзаде, О.Л. Кузнецов, К.С. Басниев, З.С. Алиев. – М.: Недра, 2003, 880 с.
2. *Истомин В.А. Предупреждение и ликвидация газовых гидратов в системах добычи газа* / В.А. Истомин, В.Г. Квон. – М.: ИРЦ Газпром, 2004, 508 с.
3. *Bai Y., Bai Q. Subsea Pipelines and Risers*. 1st Edition - November 21, 2005.
4. *Vajari S.M. Development of Hydrate Inhibition Monitoring and Initial Formation Detection Techniques*. Heriot-Watt University, 2012.
5. *Нормы технологического проектирования магистральных газопроводов*. СТО ГАЗПРОМ 2-3.5-051-2006.

Rejim	$p_b$	$p_b^2$	$p_s$	$p_s^2$	$p_b - p_s$	$p_b^2 - p_s^2$	$Q$	$Q^2$	$Q^2 / (p_b^2 - p_s^2)$	Situasiyanın izahı, tələb olunan texnoloji hərəkətlər
1	2	3	4	5	6 = (2-4)	7 = (3-5)	8	9	10 = (9:7)	11
1	5.22	27.29	2.7	7.29	2.52	20	5	25	1.25	Adi, normal rejim.
2	5.5	30.25	2.7	7.29	2.85	22.96	5.36	28.73	1.25	Normal rejim, sadəcə məhsuldarlıq artıb.
3	5.3	28.09	2.7	7.29	2.6	20.8	5	25	1.20	Diqqətli ol, parametrləri hər saatda götür.
4	5.4	29.16	2.6	6.76	2.8	22.4	5	25	1.12	Hidratyaranma başlayıb, tədbir gör, inhibitoru artır.
5	5.5	30.25	2.5	6.25	3.0	24.0	5	25	1.04	Hidratyaranma güclənir, inhibitoru qaza norması ilə vur.
6	5.6	31.36	2.4	5.76	3.2	25.6	4.8	23.04	0.9	Güclü hidrat yaranıb, kəmərdə tam tutula bilər, rejim tənzimlənməsinə keç.
7	5.6	31.36	2.3	5.29	3.3	26.07	4.5	20.25	0.78	Kəmərin tam tutulması yaxınlaşır, ehtiyat kəmərdə (varsa) keç.

## References

1. *Osnovy tekhnologii dobychi gaza* / A.Kh. Mirzadzhanzade, O.L. Kuznetsov, K.S. Basniyev, Z.S. Aliyev. – M.: Nedra, 2003, 880 s.
2. *Istomin V.A. Preduprezhdenie i likvidatsiya gazovykh gidratov v sistemakh dobychi gaza* / V.A. Istomin, V.G. Kvon. – M.: IRTS Gazprom, 2004, 508 s.
3. *Bai Y., Bai Q. Subsea Pipelines and Risers*. 1st Edition - November 21, 2005.
4. *Yajari S.M. Development of Hydrate Inhibition Monitoring and Initial Formation Detection Techniques*. Heriot-Watt University, 2012.
5. *Normy tekhnologicheskogo proyektirovaniya magistral'nykh gazoprovodov*. STO GAZPROM 2-3.5-051-2006.