

## Təbii qazın dispers halını saxlamaqla boru kəmərinin stabil iş rejiminin təmin edilməsi üsulu

G.Q. İsmayılov, t.e.d.,  
E.X. İskəndarov, t.e.d.,  
V.M. Fətəliyev, t.e.d.,  
F.B. İsmayılova, t.ü.f.d.

Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti

**Açar sözlər:** qaz, kondensat, hal diaqramı, multifazalı axın, maye fazası, təzyiç döyüntüləri, boru konstruksiyası.

DOI.10.37474/0365-8554/2022-08-35-40

e-mail: asi\_zum@mail.ru

### Обеспечение стабильной работы трубопровода сохранением природного газа в дисперсном состоянии

Г.Г. Исмаилов, д.т.н., Э.Х. Искендеров, д.т.н., В.М. Фаталиев, д.т.н., Ф.Б. Исмаилова, д.ф.т.н.  
Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности

**Ключевые слова:** газ, конденсат, фазовая диаграмма, многофазный поток, жидкая фаза, пульсации давления, трубная конструкция.

Несмотря на первичную сепарацию и подготовку транспортируемой скважинной продукции газовых и газоконденсатных месторождений, при транспортировке продукции на пункты обработки или потребителю имеют место ряд очередных осложнений. Эти осложнения при транспортировке создают серьезные проблемы, поэтому большое значение имеет решение и управление ими.

Рассмотрены причины образования жидкой фазы в трубопроводе, анализированы её физико-термодинамическая сущность и отрицательное воздействие на работу трубопровода.

Для устранения импульсов давления при фильтрации мультифазных систем были исследованы пути сохранения природного газа в аэрозольно-дисперсном состоянии. С этой целью рассматривается специальная конструкция трубопровода и экспериментально доказана эффективность предложенного элемента трубопровода.

### The maintenance of stable operation of a pipeline keeping natural gas in disperse state

G.G. Ismayilov, Dr. in Tech. Sc., E.Kh. Iskenderov, Dr. in Tech. Sc., V.M. Fataliyev, Dr. in Tech. Sc.,  
F.B. Ismayilova, PhD in Tech. Sc.  
Azerbaijan State University of Oil and Industry

**Keywords:** gas, condensate, phase diagram, multi-phase flow, liquid phase, pressure pulses, tube construction.

Despite the initial separation and preparation of the transported well output from the gas and gas-condensate fields, several complications occur during the transportation of the production to the stations of refining or to the customer. These complications during the transportation lead to the serious issues, therefore their solution and management are of great importance.

The paper reviews the reasons for formation of liquid phase in a pipeline, analyzes its physical-thermodynamic essence and negative effect on the operation of pipeline as well.

To eliminate the pressure pulses while filtration of multi-phase systems, the ways of keeping the natural gas in aerosol-disperse state were studied. With this purpose, a special pipeline construction is considered and the efficiency of proposed pipeline element is experimentally justified.

Məlumdur ki, hasil edilən təbii karbohidrogen qarışığının qaz hissəsi maye komponentlərdən azad olunduqdan sonra, yalnız müəyyən şəh nöqtəsinə qədər emal edilir. Bu keyfiyyət göstəri-

cisinin limiti təbii qazın verilmiş coğrafi şərait və texnoloji şərtlər daxilində nəqli üçün nəzərdə tutulan kəmərlərin layihələndirilməsi mərhələsində həll olunur və emal qurğuları bu məsələlərdən irəli

gələn tələblər əsasında seçilərək tikilir [1–3]. Lakin təbii sistemlərin faza çevrilmələrinin mürəkkəb tərkibi, nəzəri məsələlərin həllindən irəli gələn, çox hallarda nəzərəcarpaacaq xətəlar, texnologiyə proseslərin və qurğulara qoyulan tələblərin mürəkkəbliyi, neft-qaz-kondensat hasilatı və emalı zamanı müəyyən səbəblərdən yaranan fasilələr və arzuolunmaz fəsadlar qaz qarışığının “tam” qurudulmasına imkan vermir [1, 3–6]. Ona görə də qazın lazım olan məntəqəyə təhlükəsiz və normal iş rejimində çatdırılması üçün qarışıqın birləşmə halda saxlanması tələbi pozulur və əlavə tədbirlərin həyata keçirilməsi zərurəti yaranır [7, 8–11].

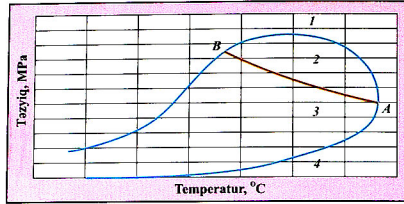
Dəniz yataqlarından hasil edilən məhsulun nəqli prosesinin çoxsaylı praktiki məlumatlarına əsaslanaraq təcrübədən aparılmış təhlilləri göstərir ki, qazın hazırlanması qurğularında layihə tələbləri səviyyəsində emal edilmiş qazlar da faza çevrilmələri nəticəsində kondensasiyaya və ya yenedən separasiyaya məruz qalır [2, 4, 7]. Bu işə boru kəmərlərində qeyri-sabit axının və təzyiqli impulsların yaranmasına səbəb olur. Azərbaycanın Günəşli, Neft Daşları, Bahar, Bulla-dəniz, Ümid yataqlarında bu kimi halların baş verməsi müşahidə edilmişdir [6, 7, 9]. Bu baxımdan, qeyd etmək lazımdır ki, tərkibinə görə müxtəlif karbohidrogen və qeyri-karbohidrogenlərdən ibarət olan quyu məhsulları fiziki-kimyəvi və reoloji xüsusiyyətlərlə kəskin fərqlənir. Belə qarışıqlardan separasiya olunmuş təbii qaz boru kəmərlərində hərəkət edən zaman komponentlər arasındakı maye-qaz tarazlığı, hidravlik müqavimət, habelə, boru divarları ilə təmas zamanı baş verən fiziki-kimyəvi proseslər hesabına daha mürəkkəb və çətin idarə edilən faza əlaqələrinə malik olur [4, 7–11]. Bu, həm də təbii qazın dispers sistemlərlə məxsus xüsusiyyətləri ilə əlaqədardır. Belə ki, dispers fazanın (maye) və dispers mühitin (qaz) dayanıqlığı mürəkkəb mühitin təsirinə müntəzəm şəkildə dəyişməyə məruz qalır [6, 9]. Məsələn, boru divarları ilə təmas zamanı qaz mühitində olan maye fazası (dispers faza) səth əlaqələrinin və daxili enerjinin dəyişməsi hesabına, hətta şəh nöqtəsindən yüksək temperaturda belə dayanıqlığını itirərək kondensasiya oluna bilər [5, 7].

Qeyd edilənləri nəzərə alaraq, təqdim edilən tədqiqat işində təbii qazın dispers xüsusiyyətlərindən istifadə etməklə naql borularının maye yığılması ehtimalı olan hissələrində qaz-maye axınının istiqamətini kəskin dəyişərək, bulurğalı axın yaratmaqla sistemin birləşmə halının saxlanması məsələsi araşdırılmışdır.

### Problemin təklif edilən həlli üsulunun nəzəri əsaslandırılması

Qeyd edilən problemi yaranan səbəblərin fiziki-termodinamik mahiyyətinə nəzər salaçaq.

Dəniz şəraitində ilkin hazırlanma səviyyəsinə görə təbii qazın faza halını şəkil 1-də verilən diaqramla göstərmək olar.



Şəkil 1. Təbii qazın p-T faza diaqramı

Bu diaqramdan naql olunan təbii qazı fiziki-termodinamik halına görə dörd müxtəlif xarakterli qarışıq ayırmaq olar (məlumdur ki, həzırda dünya üzrə müxtəlif yataqlardan naql edilən qazlar bu qruplardan hər hansı birinə uyğundur).

1. Verilmiş temperaturda qaz təzyiqi (bax: şəkil 1, 1-ci zona) retroqrad kondensasiya təzyiqindən yüksək olduğundan o, birləşmə qaz halındadır. Belə qarışıqın birləşmə halında naql edilmiş üçün kəmərin giriş və çıxışındakı təzyiqlər fərqi retroqrad kondensasiya təzyiqindən yüksək olmalıdır. Lakin aparılmış tədqiqatlar göstərir ki, kəmərin sonunda olan təzyiqli, qaz 1 zonasına daxil olduqda (retroqrad kondensasiya təzyiqindən 30% böyük) olduqda mayenin kondensasiyası mümkündür. Məlumdur ki, qurudulma qurğularının imkanlarını yaxşılaşdırmaqla təbii qazın retroqrad kondensasiya təzyiqinin 1.3 dəfə azaldılması iqtisadi göstəriciləri kəskin və hətta səmərəli olmayacaq səviyyədə də artırma bilər [2, 3].

2. Bu cür parametrlərə (şəkil 1, 2-ci zona) malik olan qazın naqli retroqrad kondensasiya ilə müşahidə edildiyindən kəmərlərin layihələndirilməsi zamanı hidrataranma ilə mübarizə və mayenin kəmərdən dövrü olaraq çıxarılması üçün üsullar nəzərdə tutulur. Lakin belə axınlar üçün naql prosesinin dayandırılmasına səbəb ola bilən kifayət qədər təhlükəli mürəkkəbləşmələr səciyyəvidir. Digər tərəfdən, naql rejiminin bərpası üçün əlavə tədbirlərin görülməsi lazım gəlir ki, bu da naql üçün əlavə xərclərin artmasına gətirib çıxarır.

3. Qaz qarışığının bu halda (bax: şəkil 1, 3-cü zona) naql edilməsi fiziki mahiyyətinə görə 2-ci zondan kəskin şəkildə fərqlənir. Ona görə ki, bu

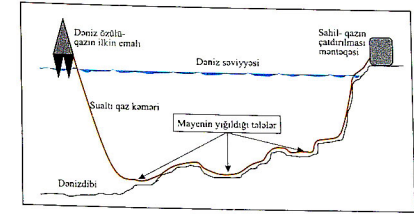
halda təbii qazın təzyiqli verilmis temperaturda maksimal kondensasiya (AB əyrisi) təzyiqindən kiçik olur. Bu halda, kəmərböyü sistemin təzyiqinin azalması ilə çökən mayenin normal kondensasiya qanunlarına uyğun olaraq buxarlanması izlənilir. Lakin məlumdur ki, belə halda kəmərböyü yüngül komponentlərin buxarlanması ağır komponentlərin kəmərdə yığılmasına səbəb olur və bu da kəmərin dövrü olaraq, dalğalanma rejimində işləməsilə nəticələnir [7, 10].

4. Digər səbəblərdən yaranan çətinliklər nəzərə alınmazsa, təbii qazın bu parametrlər intervalında naql edilməsi (bax: şəkil 1, 4-cü zona) ideal variant hesab edilə bilər. Lakin təbii qaz və ya qaz-kondensat yataqlarına məxsus olan komponentlərin müxtəlifliyi,  $C_2^+$  kimi qazların zənginliyi, onların mürəkkəb xassələri və sistemin dispersliyi səbəbindən bu cür şəraitin yaradılması əksər hallarda mümkün olmur. Daha bir çətinlik isə, naql üçün nisbətən kiçik təzyiqli yüksək temperatur və məhdud maye/qaz amilinin əldə edilməsidir.

Sistemin faza halını xarakterizə edən amillər baxımından, naql olunan qazın disperslik xassələri mühüm əhəmiyyətə malikdir [1]. Qeyd etmək lazımdır ki, dispersləşmiş maye kondensat hissəciklərinin retroqrad kondensasiya təzyiqi ətrafında və ondan kiçik qiymətlərdə (ölçüləri < 10-6 m olduqda) Braun hərəkətində olması təcrübələrlə sübut edilmişdir [5, 9]. Bu zaman, maye hissəcikləri qaz mühitində qaz molekullarının xotik zərbələrinin əvəzləyicisinin istiqamətinə uyğun olaraq hərəkət edir və asılı vəziyyətdə qalır. Məlumdur ki, bu halda dispers mühitin, yəni qaz fazasının təzyiqi və vahid həcmə düşən qaz molekullarının sayının azalması dispersləşmiş maye hissəciklərinin birləşməsinə və ağırlıq qüvvəsinin təsiri altında çökməsinə səbəb olur [5]. Digər tərəfdən, qaz-kondensat qarışığı yüksək dispersləşmiş sistem olduğundan, onun üzərində görülən iş, həcmi, təzyiqli və ya temperaturun dəyişməsi dispers hissəciklərin fiziki-kimyəvi xassələrinin kəskin dəyişməsilə nəticələnir. Burada, dispers hissəciklərin təmas səthinin və onların səthi gərilməsinin dəyişməsi də böyük əhəmiyyətə malikdir. Deməli, qazın naqli zamanı termodinamik parametrlərin, qaz-maye-bərk səthlərin (kəmərin divarları) və ya təmasda olan səthlərin kəskin dəyişməsi hidravlik münasibətlərə də ciddi təsir edir [9]. Başqa sözlə desək, təbii qazın axını zamanı termodinamik tarazlıq halı aerosol halında olan maye hissəciklərinin səth enerjisi və entropiyasının azalması hesabına müntəzəm şəkildə pozulur.

Dəniz platformasından sahilə qədər uzanan tə-

bii qaz kəməri çox mürəkkəb relyefdən keçərək müəyyən hündürlük (məsələn, Azərbaycan yataqları üçün 200 m-ə qədər) dəf edir (şəkil 2).



Şəkil 2. Dənizdibi və relyefə uyğun təbii qazın naqli kəməri

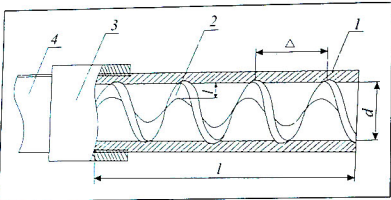
Aydın ki, digər növ axınlarda olduğu kimi, burada da qravitasiya qüvvələri aparıcı rola malikdir. Bu səbəbdən burada kondensasiya etmiş mayenin əlverişli zona və ya tələlərdə toplanması mümkündür (şəkil 2). Belə tələləri – çökəklikləri soldan sağa aşağı axın, sağdan isə sağa yuxarı axın əhatə edir. Beləliklə, çökək hissədə zaman keçdikcə yığılan maye kütləsi həmin hissədə təzyiqli fərqi artırır və onun müəyyən qiymətində yuxarıya doğru lülə şəklində hərəkət gəlir. Lakin çox zaman toplanmış bütün mayeni növbəti çökəkliyə və ya tələyə aşırmaq mümkün olmur, çünki ağırlıq qüvvəsinin təsirinə və qazla mayenin axın sürətlərinin fərqli olmasından qalxan mayenin yarılməsi və aşağı doğru sürüşməsi baş verir. Beləliklə, bu hadisə dövrü olaraq təkrarlanır və kəmərin qeyri-müntəzəm iş rejiminin yaranmasına səbəb olur.

Göründüyü kimi, istər naql olunan təbii qazın faza halından (bax: şəkil 1), istərsə də, naql kəmərinin relyefindən (bax: şəkil 2) asılı olaraq onun birləşmə dispers halının saxlanması və ya axın boyu təmin edilməsi sətis iş rejimi üçün çox vacibdir. Ümumiyyətlə, dispers sistemlərin alınmasına iki üsulla nail olmaq mümkündür: böyük hissəciklərin xırdalanaraq dispers mühitdə asılı vəziyyətə gətirilməsi və molekulların aqreqat halında birləşərək kondensləşməsi [5, 9]. Deməli, dispersləşmə – bərk və ya maye cisimlərin verilməsi mühitdə kiçik hissəciklərə, yəni on azı Braun hərəkətinə keçə biləcəyi ölçüyə qədər parçalanmasıdır. Lakin məlumdur ki, parçalanma prosesi öz-özünə baş verə bilməz. Bunun üçün sistem üzərində molekulyar qüvvələri dəf edən bilən işin görülməsi lazım gəlir. Adətən, dispers sistemlərin yaradılması məqsədilə laboratoriya şəraitində müxtəlif konstruksiyalı xırdalayıcılardan istifadə edilir.

**Təklif edilən boru konstruksiyası**

Beləliklə, qeyd edilən nəzəri və təcrübə faktlar əsasında belə nəticəyə gəlmək olar ki, təbii qaz axınının enerjisindən istifadə etməklə hidravlik qurğular vasitəsilə kəmərin müəyyən nöqtələrində kəskin həyəcanlanma yaratmaqla axan qarışıqın dispers halını saxlamaq və ya qasırgalı hərəkət hesabına yenidən dispersləşdirmə effektlərindən istifadə etmək olar.

Bu məqsədlə divarın daxilinə doğru spiralvari kanal ovulmuş xüsusi boru konstruksiyası – “burğu” təklif edilmişdir (şəkil 3). Bu konstruksiyanın optimal ölçüləri və effektivliyini təyin etmək üçün xüsusi sınaqlar aparılmışdır.

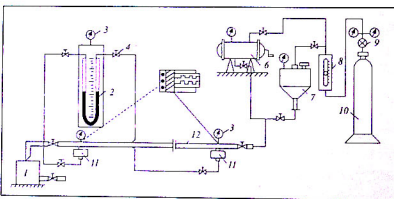


Şəkil 3. Axının fırlanma effektini yaradan boru konstruksiyası:

1 – silindrik gövdə; 2 – yivşəkilli daxilə ovulmuş parametrləri  $\Delta$ ,  $d$ ,  $h$  olan kanal; 3 – birləşdirici mufta; 4 – boru kəməri

**Ekspirimental qurğu və sınaqların aparılma proseduru**

Qaz-maye sistemlərində stabil və dalğalanma xüsusiyyətlərinin tədqiq edilməsi məqsədilə işçi uzunluğu 5.6 m və daxil diametri 0.16 m olan boru modelindən istifadə edilmişdir (şəkil 4). Bu nəql borusunun modeli əvvəlki işlərdə müxtəlif məqsədlilə tədqiqatların aparılmasında istifadə edilmiş və oxşarlıq meyarlarının intervalları əsaslandırılmışdır [2, 4].



Şəkil 4. Multifazlı axınların öyrənilməsi üçün laboratoriya qurğusunun sxemi:

1 – işçi mayenin qəbul çəni; 2 – diferensial manometr; 3 – nümunəvi manometrlər; 4 – ventillər; 5 – H-339 tipli osilloqraf; 6 – saturator; 7 – vurucu tutum; 8 – PC-3 tipli rotametr; 9 – təzyiqlə tənzimləyicisi; 10 – qaz balonu; 11 – kompensator; 12 – boru kəmərinin modeli

Təqdim edilən sınaqlarda qaz-maye axınının modeləşdirilməsi üçün işçi maye kimi sıxlığı  $\rho = 866 \text{ kq/m}^3$ , özlülüyü  $\mu = 0.022 \text{ Pa}\cdot\text{s}$  olan neft-dən, qaz qismində isə karbon qazından istifadə edilmişdir. Sınaqlar çox sadə sxem üzrə həyata keçirilmişdir (bax: şəkil 4). Saturatorda 6 verilən neft və qazdan hazırlanan qaz-maye qarışığı təzyiqlə müxtəlif qiymətlərində boruya 12 ötürülür. Sarfın ventillərlə tənzimlənilən müxtəlif qiymətləri üçün giriş ( $p_1$ ) və çıxışdakı ( $p_2$ ) təzyiqlərin dəyişməsinə nümunəvi manometr 3 və difmanometrlə 2 nəzarət edilir.

Hazırlanmış neft-qaz qarışığı ilə doyma təzyiqinin müxtəlif qiymətləri üçün 0.07; 0.17; 0.24; 0.32 MPa eyni temperaturda  $T = 298 \text{ K}$  çoxsaylı təcrübələr aparılmış və mayenin boruda çökəməsi nəticəsində piston şəkilli axını xarakterizə edən giriş və çıxış təzyiqləri qeyd alınmışdır. Başqa sözlə desək multifazlı döyüntülü axın modeli yaradılmışdır. Bundan sonra multifazlı axına qasırgalı və ya fırlanma hərəkəti vermək üçün təklif edilən konstruksiyaya – “burğu” qurğusu (bax: şəkil 3) boru modelinə birləşdirilir (bax: şəkil 4). Əvvəlki sınaqlar bütün parametrlər saxlanılmaqla olduğu kimi aparılmış və lazım olan ölçülər qeydə alınmışdır.

Bundan əlavə, bu seriya eksperimentlər “burğu”-nun müxtəlif ölçülərində və ya daxilə ovulmuş kanalın parametrlərinin müxtəlif qiymətlərində təkrar olunaraq, eyni qaydada həyata keçirilmiş və “burğu” qurğusunun optimal ölçüləri müəyyən edilmişdir.

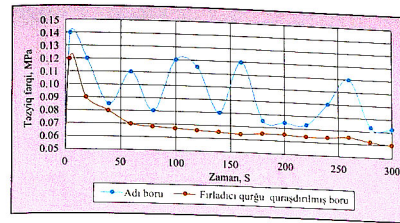
**Ekspirimental nəticələrin təhlili**

Aparılan çoxsaylı təcrübələrlə müəyyən edilmişdir ki, qaz-maye qarışığının boruda fırlanma effektinin intensivliyi təklif edilən boru konstruksiyasının parametrlərindən asılıdır. Bu boru konstruksiyasının parametrləri üçün aşağıdakı optimal qiymətlər müəyyən edilmişdir:

$$d \approx (1.5-2.0)D; \quad l \approx (3-5)10^{-3}L; \quad \Delta \approx d,$$

burada  $D$ ,  $L$  – müvafiq olaraq, boru kəməri hissəsinin diametri və uzunluğu,  $d$  – borunun daxil diametridir (şəkil 3).

Məlum olmuşdur ki, uzunluğunun  $l \approx 0.003L$  ( $L$  – sonrakı boru kəməri hissəsinin uzunluğu) nisbətində təklif edilən boru konstruksiyası qaz-maye axınlarında təzyiqlə döyüntülərini idarə etməyə imkan verir (şəkil 5). Şəkil 5-dən görünüyü kimi, qaz-maye qarışığının nəqli zamanı təzyiqlə döyüntülərini axının fırladılması nəticəsində kifayət qədər azaltmaq olar. Bu, borudakı təzyiqlərinin “burulğan yaradan”-nın quraşdırılmasın-



Şəkil 5. Adi və fırladıcı qurğu (burğu) quraşdırılması burudakı axan maye-qaz qarışığının təzyiqlər fərqi zamanla asılılığı

dan əvvəl və sonrakı qiymətlərinin zamanla asılılığından aydın şəkildə görünür.

Bundan əlavə, təcrübələr zamanı “burğu” qurğusunun effektivliyinin axının sürətindən asılı olaraq (sürətin artması ilə) yaxşılaşması və yaranmış həyəcanın dayanıqlığının artması müşahidə edilmişdir. Bu onunla izah edilir ki, boru konstruksiyası boru kəmərinin daxil diametrinə uyğun en kəşiyə malik olduğundan qaz axını yiv şəkilli kanallardan keçərkən onun sürətinin istiqaməti dəyişir və aşağı hissədə hərəkət edən sərbəst maye boru divarını boyunca fırlanmaya məruz qalır. Beləliklə, mərkəzdənqaçma qüvvəsi hesabına mayenin kinetik enerjisi artır və “burğu” qur-

ğusunun çıxışında hissəciklərə parçalanaraq yenidən dispersləşir.

**Nəticə**

1. Nəzəri və praktiki məlumatlar əsasında təbii qazın ilkin emalından sonra lazımı məntəqəyə nəqli zamanı qarşıya çıxan problemlərin xarakterini qarışıq dispers xassələri nəzərə alınmaqla təhlil edilmiş və nəql zamanı sistemin istənilən faza halında aerosol- dispers münasibətlərinin nəzərə alınmasının əhəmiyyəti göstərilmişdir.

2. Təbii qazın nəqli zamanı onun birfazlı halını təmin etmək üçün dispers sistemlərin alınması mexanizmlərindən istifadə edilmiş və nəql kəmərinə maye yığılan nöqtələrdə burulğanlı hərəkət yaranan, divarın daxilinə doğru spiralvari kanal ovulmuş xüsusi boru konstruksiyası – “burğu” qurğusu təklif edilmişdir.

3. Təklif edilmiş “burulğan yaradan” boru elementinin effektivliyi ovulmuş kanalın dərinliyi, borunun diametri və uzunluğu kimi parametrlərdən asılı olaraq xüsusi laboratoriya qurğusunda sınaqlanmış və optimal ölçüləri təyin edilmişdir.

4. Boru modelində aparılmış çoxsaylı sınaqlar nəticəsində təklif edilən boru konstruksiyasının təbii qaz qarışığının axını zamanı yaranan təzyiqlərinin orta hesabla 5 dəfədən çox azalmasına nail olunmuşdur.

**Ədəbiyyat siyahısı**

1. Мирзоджасзаде А.Х., Кузнецов О.Л., Басиев К.С., Алиев З.С. Основы технологии добычи газа. – М.: Недра, 2003, 880 с.
2. Саттаров Р.М., Исмаилов Г.Г., Абдуллаев М.М., Рафибейли Н.С. Исследование гидравлических характеристик течения структурированных нефтей в трубах. Минск: Деп. В ВИНТИ (реферат статьи), ИФЖ, т. 3, 1991, 500 с.
3. Shashi Menon E. Transmission pipeline calculations and simulations manual. Elsevier inc. Gulf Professional Publishing, 2015, 599 p.
4. Gafar G. Ismayilov, Yugar M. Fataliyev, Elman Kh. Iskenderov, Iskenderov Elman. Investigation the impact of dissolved natural gas on the flow characteristics of multiphase flow in pipelines // Open Physics, v. 17, 2019, pp. 1-8.
5. Abbasov Z.Y., Fataliyev, V.M. The effect of gas-condensate reservoir depletion stages on gas injection and the aerosol state of fluids in this process. Journal of Natural Gas Sciences and Engineering, 2016, v. 31, pp. 779-790.
6. Richard J. Sadus. High pressure phase behavior of multicomponent fluid mixture. Amsterdam-London-New York-Tokyo: Elsevier, 1992, 392 p.
7. Ismayilov G.G., Iskenderov E. Kh., Ismayilova F.B., and Zeinalova G.A. “Controlled methods to suppress pressure pulsations in multiphase pipelines” // Journal of Engineering Physics and Thermophysics, v. 93, no. 1, 2020, pp. 216-222.
8. Числом Д. Двухфазные течения в трубопроводах и теплообменниках. – М.: Недра, 1989, 150 с.
9. Rochard M.P., Marilyn E.K. Applied colloid and surface chemistry. John Wiley & Sons, Ltd, 2004, 190 p.
10. Hamami Bissor E., Yurishchev A., Ullmann A., Brauner N. Prediction of the critical gas flow rate for avoiding liquid accumulation in natural gas pipelines // International Journal of Multiphase Flow, v. 130, 2020, 103361.
11. Quanhong Wu, Suijing Zou, Xuemei Zhang, Chenyu Yang, Tian Yao, Liejin Guo. Forecasting the transition to undesirable gas-liquid two-phase flow patterns in pipeline-riser system: A method based on fast identification of global flow patterns // International Journal of Multiphase Flow, 2022, v. 149, 103998.

References

1. *Mirzadzhanzade A.Kh., Kuznetsov O.L., Basmiev K.S., Aliev Z.S.* Osnovy tekhnologii dobychi gaza. – M.: Nedra, 2003, 880 s.
2. *Sattarov R.M., Ismayilov G.G., Abdullayev M.M., Rafibeyli N.S.* Issledovanie gidravlicheskih kharakteristik tehniciya strukturirovannykh neftey v trubakh. Minsk: Dep. V VINITI (Referat stat'yi), IFZH, t. 3, 1991, 500 s.
3. *Shashi Menon E.* Transmission pipeline calculations and simulations manual. Elsevier inc. Gulf Professional Publishing, 2015, 599 p.
4. *Gafar G. Ismayilov, Yugar M. Fataliyev, Elman Kh. Iskenderov, Iskenderov Elman.* Investigation the impact of dissolved natural gas on the flow characteristics of multicomponent fluid in pipelines // *Open Physics*, v. 17, 2019, pp. 1-8.
5. *Abbasov Z.Y., Fataliyev, Y.M.* The effect of gas-condensate reservoir depletion stages on gas injection and the aerosol state of fluids in this process. *Journal of Natural Gas Sciences and Engineering*, 2016, v. 31, pp. 779-790.
6. *Richard J. Sadus.* High pressure phase behavior of multicomponent fluid mixture. Amsterdam-London-New York-Tokyo: Elsevier, 1992, 392 p.
7. *Ismayilov G.G., Iskenderov E.Kh., Ismayilova F.B., and Zeinalova G.A.* "Controlled methods to suppress pressure pulsations in multiphase pipelines" // *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, v. 93, no. 1, 2020, pp. 216-222.
8. *Chiskholm D.* Dvukhfaznye tehniciya v truboprovodakh i teploobmennikah. – M.: Nedra, 1989, 150 s.
9. *Rochard M.P., Marilyn E.K.* Applied colloid and surface chemistry. John Wiley & Sons, Ltd, 2004, 190 p.
10. *Hamami Bissor E., Yurishchev A., Ullmann A., Brauner N.* Prediction of the critical gas flow rate for avoiding liquid accumulation in natural gas pipelines // *International Journal of Multiphase Flow*, v. 130, 2020, 103361.
11. *Quanhong Wu, Suifeng Zou, Xuemei Zhang, Chenyu Yang, Tian Yao, Liejin Guo.* Forecasting the transition to undesirable gas-liquid two-phase flow patterns in pipeline-riser system: A method based on fast identification of global flow patterns // *International Journal of Multiphase Flow*, 2022, v. 149, 103998.