

## Qismən qazsızlaşdırılmış neft emulsiyaları üçün sualtı boru kəmərlərinin hidravlik hesablanması

S.F. Musayev

"Neftqazlimitədqatlayihə" İnstitutu

e-mail: musasf@mail.ru

**Açar sözlər:** dəniz özlüləri, hidravlik hesablamalar, sulaşma dərəcəsi, təzyiqli itkisi, qravitasiya və sürtünmədən yaranan itkilər, yığılma və nəql xətləri, neft-qaz-su qarışığı.

Гидравлический расчет трубопроводов для частично разгазированной нефтяной эмульсии

С.Ф. Мусаев  
НИПИнефтегаз

**Ключевые слова:** морские основания, гидравлический расчет, степень обводненности, потери давления, потери от гравитации и сопротивления, линии сбора и транспортировки, нефтегазовая смесь.

Исследовано влияние степени обводненности и разгазирования продукции скважин на гидравлические особенности трубопроводов сбора и транспортировки нефтегазоводяных систем со стационарных морских оснований.

С учетом скольжения фаз и степени обводненности нефтегазовых систем были определены общие потери давления, в том числе потери от сил сопротивления и гравитации в конкретном подводном трубопроводе.

Hydraulic calculation of pipelines for partially degassed oil emulsions

S.F. Musayev  
"Oil Gas Scientific Research Project" Institute

**Keywords:** offshore platforms, hydraulic calculation, watercut degree, pressure loss, loss from gravitation and resistance, gather and transportation lines, oil-gas-water mixture.

The paper studies the influence of watercut and degassing degree of well production on hydraulic features of gathering and transportation pipelines of oil-gas-water systems from fixed offshore platforms.

Considering the slipping of phases and watercut degree of oil-gas systems, total pressure losses, as well as those occurred from resistance forces and gravitation have been specified in a certain submerged pipeline.

Neft və qazın sualtı boru kəmərləri ilə bir çox hallarda neft-qaz, neft-qaz-su, o cümlədən mexaniki qarışıqlarla nəqli həyata keçirilir və bu zaman bir sıra çətinliklər baş verir.

Dəniz mühitində sualtı kəmərlərlə nəql olunan quyu məhsulunun intensiv soyuması, drossellənməsi, fazalara ayrılması, o cümlədən axının istiqamətindən asılı olaraq mövcud olan müxtəlif struktur formaları boru kəmərlərinin işinin səmərəliyinə əhəmiyyətli dərəcədə təsir edir. Təcürübə göstərir ki, qeyd olunan çətinlikləri xeyli azaltmaq quyu məhsullarını az itki ilə toplamaq və nəql etməyin ən əlverişli variantı onların fazalara ayrılması və nəqlə hazırlıq mərhələsini tam keçdikdən sonra ayrı-ayrı fazalar şəklində nəql edilməsidir. Lakin bir çox hallarda obyektiv səbəblərdən quyu məhsulları nəqlə hazırlıq mərhələsi keçmədən sualtı yığılma xətləri ilə quyuağzı təzyiqli altında özlülərarası və ya sahilə nəql olunur. Əsas enerji (təzyiqli) itkiləri maye-qaz qarışığının təbəqələyə (fazalara) ayrılmış hərəkət formasına uyğun axınlarda, əsasən trasın reyelinin üfqi və qalxan hissələrində mövcud olur ki, bu da həmin zonalarda maye fazasının toplanması ilə müşahidə edilir. Müəyyən vaxtdan sonra yığılma maye kütləsinin qaz fazası ilə fazaların sərhədindən intensiv atılması (çıxarılması) baş verir və mayenin qaz fazasında dispersləşməsi (paylanması) hesabına qazın sıxlığı artmağa başlayır.

Maye kütləsi atıldıqdan sonra onun boru kəmərlərində (boru xəttinin əyilmiş, çökmüş, dik boruların dib hissələrində) yenidən toplanması baş verir. Beləliklə, maye borunun qalxan hissəsində dövr (sirkulyasiya) edir. Qaz onu maye ilə dofan hissədə aşağıdan yuxarı tarazlıq səviyyəsinədək qaldırır. Tarazlığa çatmayan hissədə separasiya

baş verir və maye ayrılaraq kəmərin dib hissəsinə çökür. Qravitasiya qüvvəsinin hesabına aşağı tökülən (süzülən) maye qarşından gələn qaz fazası ilə yenidən tutulur və axınla aparılır. Sirkulyasiya hallarının baş verməsi qaz-maye qarışığının nəqli üçün vacib olan əlavə enerji xərclərinin artmasına səbəb olur. Belə qarışıqların əsas xüsusiyyətlərindən biri onların axını zamanı boru kəmərlərində təzyiqli döyüntülərinin (pulsasiyaların) baş verməsidir. Bu döyüntülər ən çox təbəqələşmiş hərəkət formalarında yaranır və boru kəmərinə gərginliyi artırmaqla qaza hallarının baş verməsi ehtimalını da artırır. Bu döyüntülərin amplitudu bəzi hallarda kifayət qədər çox olur və mayenin yığılması və atılması ilə əlaqədar olduğundan, demək olar ki, dövrü xarakter daşıyır.

Qeyd olunan sualtı boru kəmərlərinin işinin təhlili, rəşional iş rejimlərinin qurulması üçün onların hidravlik hesablamalarının aparılması zamanı relyef və məhsulun sulaşması amilinin də nəzərə alınması zəruridir. Məhsulun sulaşmasının quyu-yığılma sistemində hidravlik müqavimətin xeyli artması artıq təsdiq olunmuş faktıdır. Lakin neft-qaz-su qarışığı nəqli edən boru kəmərlərinin hidravlik hesablanmasına həsr olunan işlər (əsasən isə sualtı dəniz kəmərləri üçün) çox azdır. Qeyd olunanları nəzərə alaraq, aşağıda Xəzər dənizində istismarda olan Günəşli neft yatağının yığılma-nəqli sistemində uzunluğu  $L=1000$  m, diametri  $D=0.3$  m olan 5→2 sualtı boru kəməri timsalında neft-qaz-suyun birgə nəqli zamanı kəmərin hesablanması nümunəsi verilmişdir (5→2-5-ci dəniz özlülündən 2-ci özlülə çəkilən kəməri göstərir).

Baxılan sualtı yığılma kəməri ilə separasiyanın 1-ci pilləsindən sonra ilkin məlumatlara görə birgə nəql olunan neft, qaz və suyun sərfi 1320; 88600 və 319 m<sup>3</sup>/gün təşkil etdiyi üçün nəql olunan qazlı emulsiyanın sulaşma faizi  $W_{su} = Q_{su} / Q_{em} = 319 / 1639 = 20\%$  olacaqdır. Nəql olunan neft, qaz və suyun sıxlığı standart şəraitdə  $\rho_n^{st} = 890$ ,  $\rho_q^{st} = 0.8$  və  $\rho_{su} = 1030$  kq/m<sup>3</sup> təşkil edir. Orta nəqli temperaturu  $T_{or} = 283$  K, kəmərin başlanğıcındakı təzyiqli isə  $p_{bas} = 1.65$  MPa qəbul etmək olar. Boru xəttinin dənizə enən və dəniz özlülünə qalxan hissələrinin uzunluğu  $h_{en} = 119$  m və  $h_{qal} = 108$  m təşkil edir.

Verilənlərə əsasən nəql olunan neft, qaz və emulsiyanın standart şəraitdə həcm sərfələri 0.0153; 10.254 və 0.019 m<sup>3</sup>/s təşkil edəcəkdir. Standart şəraitdə ümumi qaz amili  $G_{z,q} = 4.6 + 533.3 = 538$  m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> (10.185/0.0191 = 533.3 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> əlavə olunur), neftin həcmi genişlənmə əmsalı isə  $b_n = 1.005$  təşkil edir. Neftin və qazlı neftin nəqli şəraiti üçün hesab-

lanmış sıxlıqları isə uyğun olaraq  $\rho_n = 896$  kq/m<sup>3</sup> və  $\rho_{q,n} = 892$  kq/m<sup>3</sup> olmuşdur.

Qeyd olunan sualtı kəmərin hesablanması hal-hazırda mövcud olan metodikalar və kəmərin xüsusiyyətləri nəzərə alınmaqla aşağıdakı ardıcılıqla aparılmışdır [1–4].

Qazlı emulsiyanın sıxlığı, sulaşma dərəcəsi nəzərə alınmaqla hesablanır

$$\rho_{q,em} = \rho_{q,n}(1 - W_{su}) + \rho_{su}W_{su} = 892(1 - 0.2) + 1030 \cdot 0.20 = 919 \text{ kq/m}^3.$$

Həcm sərfi təyin edilir

$$Q_{q,em} = Q_{em}[(1 - W_{su})(b_n - 1) + 1] = 0.019[(1 - 0.2) \times (1.005 - 1) + 1] = 0.0191 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Dinamik və kinematik özlülüklər qəbul edilir

$$m_{q,em} = 0.085 \text{ Pa} \cdot \text{s} \text{ və } \nu_{q,em} = 0.000093 \text{ m}^2/\text{s}.$$

Reynolds ədədi hesablanır

$$Re_{q,em} = \frac{4Q_{q,em}}{\pi D \nu_{q,em}} = \frac{4 \cdot 0.0191}{3.14 \cdot 0.3 \cdot 0.000093} = 872.$$

Hərəkət rejimi laminar olduğu üçün ( $Re < 2300$ ) rejim göstəriciləri  $\xi = 4.15$ ;  $m = 1$  qəbul edilir.

Qazlı emulsiyanın hərəkəti zamanı boru kəmərinə sürtünməyə sərf olunan təzyiqli itkisi təyin edilir:

$$\Delta p_{q,em}^{str} = \xi \frac{\rho_{q,em}^2 \nu_{q,em} L p_{q,em} g}{D^{5-m}} 10^{-6} = 4.15 \cdot \frac{0.0191 \cdot 0.000093 \cdot 1100 \cdot 919 \cdot 9.81 \cdot 10^{-6}}{(0.3)^4} = 0.009 \text{ MPa}.$$

Hesablama kəmərin sonunda olan təzyiqli görə aparıldığından  $p_{son} = 1.42$  MPa qəbul edilir və qazın sıxlıma əmsalı tapılır.

$$z = 1 - 0.02 \cdot p_{son} = 1 - 0.02 \cdot 1.42 = 0.97.$$

Sərbəst qazın nəqli şəraitində sıxlığı hesablanır.

$$\rho_q = \frac{\rho_q^{st}(p_{son} + 0.1)293}{0.1T_{or}z} = \frac{0.8(1.42 + 0.1)293}{0.1 \cdot 283 \cdot 0.97} = 13 \text{ kq/m}^3.$$

Nəql şəraitinə uyğun emulsiyadan ayrılan qaz sərfi hesablanır. Bu zaman kəmərin sonunda standart şəraitdə qaz amili  $G_a^{st} = 6 \text{ m}^3/\text{m}^3$  olduğu nəzərə alınır.

$$Q_q^n = (1 - W_{su}) Q_{em} G_a^{st} \cdot \frac{T_{or} z}{10(p_{son} + 0.1) 293} =$$

$$= (1 - 0.2) 0.019 \cdot 6 \cdot \frac{283 \cdot 0.97}{10(1.42 + 0.1) \cdot 293} =$$

$$= 0.0056 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Girişdə qaz sərfi  $10.254 \text{ m}^3/\text{s}$  olduğu üçün nəql şəraitində həmin sərf  $(10.254 \cdot 283 \cdot 0.97) / 10 \times (1.42 + 0.1) \cdot 293 = 0.632 \text{ m}^3/\text{s}$  təşkil edəcək. Onda sərbəst qazın nəql şəraitində sərfi aşağıdakı kimi olacaq:

$$Q_q^n = 0.0056 + 0.632 = 0.6376 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Qarışıqın sərfi müəyyən edilir;

$$Q_{qar} = Q_{q,em} + Q_q^n = 0.0191 + 0.6376 = 0.6567 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Qarışıq üçün orta həcmi sürət təyin edilir;

$$v_{qar} = \frac{4Q_{qar}}{\pi D^2} = \frac{4 \cdot 0.6567}{3.14 \cdot (0.3)^2} = 9.3 \text{ m/s}.$$

Frud ədədi hesablanır;

$$Fr_{qar} = \frac{v_{qar}^2}{gD} = \frac{(9.3)^2}{9.81 \cdot 0.3} = 29.$$

Qazlılıq təyin edilir;

$$\beta = \frac{Q_q}{Q_{qar}} = \frac{0.6376}{0.6567} = 0.97.$$

$\beta_q = 0.97 < 0.988$  olduğu üçün Frud ədədinin böhran qiyməti dəqiqləşdirilir. ( $Fr^* = 19$ ) və  $Fr_{qar} > Fr^*$  olduğu üçün hərəkət rejimi tıxaclı axın qəbul edilir.

Qarışıqın həqiqi qazlılığı müəyyənəldirilir:

$$\varphi = 0.81 \cdot \beta \cdot \left[ 1 - \exp(-2.2 \sqrt{Fr_{qar}}) \right] =$$

$$= 0.81 \cdot 0.97 \left[ 1 - \exp(-2.2 \sqrt{29}) \right] = 0.78.$$

Qarışıq üçün həqiqi qazlılığın qiyməti təyin edilir. Qazın özlülüyü  $\beta_q = 104 \cdot 10^{-7} \text{ Pa} \cdot \text{s}$  olduğu üçün həqiqi qazlılıq aşağıdakı kimi olacaq:

$$\varphi = \beta \cdot \left( \frac{\mu_q}{\mu_{q,em}} \right)^{0.0475} = 0.97 \left( \frac{104 \cdot 10^{-7}}{0.085} \right)^{0.0475} = 0.63.$$

Qazlı emulsiyanın və qaz fazasının həqiqi orta sürətləri hesablanır

$$v_{q,em} = \frac{4Q_{q,em}}{\pi D^2 (1 - \varphi)} =$$

$$= \frac{4 \cdot 0.0191}{3.14 \cdot (0.3)^2 \cdot (1 - 0.63)} = 0.73 \text{ m/s},$$

$$v_q = \frac{4Q_q}{\pi D^2 \varphi} = \frac{4 \cdot 0.6376}{3.14 \cdot (0.3)^2 \cdot 0.63} = 14.3 \text{ m/s}.$$

Həqiqi sürətlərə əsasən fazaların nisbi sürəti təyin edilir

$$v_n = v_q - v_{q,em} = 14.3 - 0.7 = 13.6 \text{ m/s}.$$

Nisbi sürətə uyğun Reynolds ədədi hesablanır

$$Re_{v_n} = \frac{v_n D}{\nu_{q,em}} = \frac{13.6 \cdot 0.3}{0.000093} = 43870.$$

Hərəkət rejimi turbulent (hamar sürtünmə) olduğu üçün  $m=0.25$  qəbul edilir.

Su-hava ( $\sigma_{su,hava} = 0.072 \text{ N/m}$ ) və emulsiya - qaz ( $\sigma_{em,q} = 0.031$ ) sərhədində səthi gərilmələrə əsasən götürülmüş hidravlik müqavimət əmsalı təyin edilir.

$$\psi = \left( 0.284 - 0.156 \cdot \frac{\sigma_{em,q}}{\sigma_{su,hava}} \right) \cdot Re_{v_n}^{0.25} =$$

$$= \left( 0.284 - 0.156 \cdot \frac{0.031}{0.072} \right) \cdot 43870^{0.25} = 3.138.$$

Qarışıqın horizontal axını üçün sürtünməyə sərf olunan təzyiqli itkisi hesablanır.

$$\Delta p_{qar}^{str} = \Delta p_{q,em}^{str} \cdot \frac{\psi}{\sqrt{(2 - \varphi)^{2-m}}} \left[ 1 + \frac{\rho_q (1 - \varphi)}{\rho_{q,em} \left( \frac{\varphi}{\beta} - \varphi \right)} \right] =$$

$$= 0.009 \cdot \frac{3.138}{\sqrt{(1 - 0.63)^{2-0.25}}} \left[ 1 + \frac{13 \cdot (1 - 0.63) \cdot 0.63}{919 \cdot \left( \frac{0.63}{0.97} - 0.63 \right)} \right] =$$

$$= 0.078 \text{ MPa}.$$

Qarışıqın aşağıdan yuxarı və yuxarıdan aşağı şaquli axınları üçün həqiqi qazlılıq aşağıdakı kimi qəbul edilir:

$$\varphi \uparrow = \varphi = 0.63$$

$$\varphi \downarrow = 0.81 \cdot \beta = 0.81 \cdot 0.97 = 0.78.$$

Aşağıdan yuxarı və yuxarıdan aşağı şaquli

axınlar üçün qarışıqın sıxlığı hesablanır

$$\rho_{qar} \uparrow = (1 - \varphi \uparrow) \rho_{q,em} + \varphi \uparrow$$

$$\rho_{qar} \uparrow = 919(1 - 0.63) + 0.63 \cdot 13 = 348 \text{ kq/m}^3;$$

$$\rho_{qar} \downarrow = (1 - \varphi \downarrow) \rho_{q,em} + \varphi \downarrow$$

$$\rho_{qar} \downarrow = 919(1 - 0.78) + 0.78 \cdot 13 = 212 \text{ kq/m}^3.$$

Qarışıqın aşağıdan yuxarı şaquli hərəkəti zamanı sürtünmədən yaranan təzyiqli itkisini hesablamaq üçün əvvəlcə  $L = h_{qal}$  qəbul etməklə maye fazası (qazlı emulsiya) üçün təzyiqli itkisi təyin edilir.

$$\Delta p_{q,em} \uparrow = \xi \frac{Q_{q,em}^m v_{q,em}^m h_{qal} \rho_{q,em} g 10^{-6}}{D^{5-m}} =$$

$$= 4.15 \frac{0.0191 \cdot 0.000093 \cdot 108 \cdot 919 \cdot 9.81 \cdot 10^{-6}}{(0.3)^4} =$$

$$= 0.001.$$

Onda qarışıqın aşağıdan yuxarı hərəkəti üçün horizontal axına uyğun aşağıdakıları alırıq:

$$\Delta p_{qar} \uparrow = 0.001 \cdot \frac{3.138}{\sqrt{(1 - 0.63)^{2-0.25}}} \times$$

$$\times \left[ 1 + \frac{13 \cdot (1 - 0.63) \cdot 0.63}{919 \cdot \left( \frac{0.63}{0.97} - 0.63 \right)} \right] = 0.009 \text{ MPa}.$$

Yuxarıdan aşağı hərəkət zamanı sürtünmə itkilərini təyin etmək üçün əvvəlcə analoji olaraq qazlı emulsiyanın hərəkəti zamanı sürtünmədən yaranan təzyiqli itkisi hesablanır. Bu məqsədlə  $L = h_{em} = 119 \text{ m}$  qəbul edilir.

$$\Delta p_{q,em} \downarrow =$$

$$= 4.15 \frac{0.0191 \cdot 0.000093 \cdot 119 \cdot 919 \cdot 9.81 \cdot 10^{-6}}{(0.3)^4} =$$

$$= 0.001 \text{ MPa}.$$

Yuxarıdan aşağı hərəkət zamanı  $\varphi \downarrow = 0.78$  olduğunu nəzərə alaraq həqiqi sürətlər üçün horizontal axına analoji olaraq dəqiqləşdirilir.

$$v_q = \frac{4 \cdot 0.6376}{3.14 \cdot (0.3)^2 \cdot 0.78} = 11.5 \text{ m/s}$$

$$v_{q,em} = \frac{4 \cdot 0.0191}{3.14 \cdot (0.3)^2 \cdot (1 - 0.78)} = 1.2 \text{ m/s}$$

Onda nisbi sürət  $v_n = 11.5 - 1.2 = 10.3 \text{ m/s}$ . Deməli,  $Re_{v_n} = (10.3 \cdot 0.3) / 0.000093 = 33225$  olduğu üçün rejim turbulent (hamar zona) qəbul edilir ( $m=0.25$ ).

Gətirilmiş hidravlik müqavimət əmsalı Reynolds ədədinin yeni qiymətinə uyğun olaraq aşağıdakı qiyməti alacaq:

$$\psi = \left( 0.284 - 0.156 \cdot \frac{0.031}{0.072} \right) \cdot 33225^{0.25} = 2.927$$

Yuxarıdan aşağı hərəkət zamanı sürtünmədən yaranan təzyiqli itkisi aşağıdakı kimi olacaq:

$$\Delta p_{qar} = 0.001 \cdot \frac{2.927}{\sqrt{(1 - 0.78)^{2-0.25}}} \times$$

$$\times \left[ 1 + \frac{13 \cdot (1 - 0.78) \cdot 0.78}{919 \cdot \left( \frac{0.78}{0.97} - 0.78 \right)} \right] = 0.012 \text{ MPa}$$

Aşağıdan yuxarı və yuxarıdan aşağı vertikal axınlar üçün qravitasiyadan yaranan təzyiqli itkiləri uyğun olaraq aşağıdakı kimi təyin edilir:

$$\Delta p_{qar} \uparrow = 348 \cdot 9.81 \cdot 108 \cdot 10^{-6} = 0.368 \text{ MPa}$$

$$\Delta p_{qar} \downarrow = 212 \cdot 9.81 \cdot 119 \cdot 10^{-6} = 0.247 \text{ MPa}$$

Beləliklə, baxılan 5 və 2-ci SDÖ-lər arası (5→2) sualtı neft-qaz kəmərinə ümumi təzyiqli itki aşağıdakı kimi olacaq:

$$\Sigma \Delta p = \Delta p_{qar}^{str} + \Delta p_{q,em} \uparrow + \Delta p_{q,em} \downarrow + \Delta p_{qar} \uparrow - \Delta p_{qar} \downarrow =$$

$$= 0.078 + 0.009 + 0.012 + 0.368 - 0.247 = 0.22 \text{ MPa}$$

Faktiki təzyiqli itkisi  $\Delta p_{fak} = p_{bas} - p_{son} = 1.65 - 1.42 = 0.23 \text{ MPa}$  olduğunu nəzərə alsaq, hesablamamızın xətası 4.3 % təşkil edəcək ki, bu da mühəndis hesablamaları üçün qəbul ediləndir.

Hesablamaların nəticələrindən göründüyü kimi, sürtünmədən yaranan təzyiqli itkisi ilə müqayisədə qravitasiya qüvvəsindən yaranan itkilər daha çoxdur.

Beləliklə, mövcud hesablama üsulları əsasında trasın relyefi, fazaların sürüşməsi və məhsulun sulanması nəzərə alınmaqla dəniz sualtı neft-qaz kəmərlərinin hidravlik hesablanması zamanı alınan nəticələrin mühəndis hesablamaları üçün qəbul edilən olduğu göstərilmişdir.

**Ədəbiyyat siyahısı**

1. *Мамаев В.А., Одишария Г.Э., Клатчук О.В. и др.* Движение газожидкостных смесей в трубах. – М.: Недра, 1978, 270 с.
2. *Гужов А.И.* Совместный сбор и транспорт нефти и газа. – М.: Недра, 1973, 280 с.
3. *Саттаров Р.М., Киясбейли Т.Н. и др.* Методика гидравлического расчета параметров оптимального режима работы морских подводных трубопроводов при совместном движении нефти и газа. – Баку: Азинефтехим, 1990, 20 с.
4. *Гриценко А.И., Клатчук О.В., Харченко Ю.А.* Гидродинамика газожидкостных смесей в скважинах и трубопроводах. – М.: Недра, 1994, 238 с.