

# Mürəkkəb relyefli yığım neft-qaz kəmərlərinin optimal iş rejimlərinin qurulması əsasında "quyu-yığım" sisteminin işinin yaxşılaşdırılması

Q.Q. İsmayılov, t.e.d.<sup>1</sup>, Ş.Z. İsmayılov, t.e.n.<sup>1</sup>,  
Şd.Z. İsmayılov<sup>2</sup>, A.V. Sultanova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti,  
<sup>2</sup>"Azneft" İB

**Açar sözlər:** "quyu-yığım" sistemi, neft-qaz qarışığı, optimal rejim, hidravlik hesablama, fiziki-kimyəvi xassələr.

e-mail: asi\_zum@mail.ru

DOI.10.37474/0365-8554/2022-04-37-45

Улучшение работы системы "скважина-сбор" на основе разработки оптимальных режимов работы нефтегазосборных трубопроводов в сложных рельефных условиях

Improvement of operation of the "well-collection" system on the development of optimum regimes of collection oil-gas pipelines with complicated relief

G.G. Исмаилов, д.т.н.<sup>1</sup>, Ш.З. Исмаилов, к.т.н.<sup>1</sup>, Шд.З. Исмаилов<sup>2</sup>,  
А.В. Султанова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности,  
<sup>2</sup>ПО "Азнефть"

G.G. Ismayilov, Dr. in Tech. Sc.<sup>1</sup>, Sh.Z. Ismayilov, Cand. in Tech. Sc.<sup>1</sup>,  
Shd.Z. Ismayilov<sup>2</sup>, A.V. Sultanova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Azerbaijan State University of Oil and Industry,  
<sup>2</sup>"Azneft" PU

**Ключевые слова:** система "скважина-сбор", нефтегазовая смесь, оптимальный режим, гидравлический расчет, физико-химические свойства.

**Keywords:** "well-collection" system, oil-gas mixture, optimum regime, hydraulic calculation, physical-chemical properties.

Известно, что сбор продукции морских нефтяных скважин осуществляется в сложных рельефных (с восходящим и нисходящим потоками) и термобарических условиях. С целью анализа конкретных эксплуатационных характеристик подводных нефте- и газопроводов, работающих в таких условиях, для обеспечения их рациональной эксплуатации была разработана и апробирована программная методика на месторождении Гюнешли с учетом геологических и физико-химических свойств транспортируемых систем в соответствии с международными стандартами. Согласно разработанной методике, очень важно улучшить работу системы "скважина-сбор" для корректного определения оптимальных режимов работы сборных трубопроводов.

It is known that the collection of products from offshore oil wells is carried out in complicated relief (with upward and downward flows) and thermobaric conditions. With the purpose of analysis of specific operational characteristics of the subsea oil-gas pipelines operated in such conditions, to provide their rational service a software method in "Guneshli" field considering the geological and physical-chemical properties of a transported system following international standards has been developed, and tested. According to the developed method, it is essential to improve the operation of the "well-collection" system for a specific definition of optimum regimes of collection pipelines.

Dəniz karbohidrogen yataqlarının istismar təcrübəsi göstərir ki, multifazlı və çoxkomponentli quyu məhsullarının yığımı və nəqlini həyata keçirən "quyu-yığım" sistemi şəbəkəsinin fəaliyyəti əksər hallarda rəşional olmadığı üçün enerji xərcləri çoxalır, istismar çətinlikləri və mürəkkəbləşmələrin sayı artır.

Bu baxımdan yığım şəbəkəsinin işinə operativ nəzarətin olması və boru kəmərlərinin energetik xüsusiyyətlərinin təhlili çox vacibdir.

Neft-qaz qarışığı nəql edən sualtı dəniz flüid boru kəmərlərinin energetik xüsusiyyətlərinin diaqnostikası və optimal iş rejiminin qurulması, kəmərlərin hidravlik hesablanması aparılmadan mümkün deyil. Maye-qaz qarışığı nəql edən boru kəmərlərinin hidravlik hesablanmasına, onların optimal iş rejimlərinin tapılmasına həsr olunmuş çoxlu tədqiqat işləri mövcuddur [1-10].

Hazırda kompüter texnologiyalarının geniş inkişaf etdiyi bir zamanda tədqiq olunan sualtı kəmərlərin həndəsi və istismar xüsusiyyətləri nəzərə alınmaqla məlum olan hesablama üsullarına bəzi əlavələr və dəyişikliklər etməklə proqram təminatlı üsul işlənmişdir. Belə ki, mövcud olan hesablama üsullarına daxil olan və nəql olunan sistemlərin fiziki-kimyəvi xüsusiyyətlərini və kəmərin rejim göstəricilərini xarakterizə edən bir çox parametrlər əksər hallarda qrafik və qrafoanalitik üsullarla təyin edildiyi üçün hesabları

və proqramlaşdırma əməliyyatlarının çətinləşdirməklə yanaşı, onların etibarlılıq dərəcəsini də azaldır.

Dəniz boru kəmərlərinin istismar təcrübəsi, quyu məhsullarının yığılı və nəqli sisteminin işinin təhlili göstərir ki, yeni-yeni quyuların işə salınması və ya dayanması halları digər istismar çətinlikləri baş verdiyindən kəmərlərin energetik xüsusiyyətlərinin dəyişməsinə operativ nəzarət edilməsi mümkün deyil. Bu hallar əsasən kompüter modelinə əsaslanan üsulların olmaması ilə bağlı olur.

Nəql olunan qaz-neft qarışığının ilkin parametrlərinin, neft və qaz fazalarını səciyyələndirən kəmiyyətlərin doyma təzyiqində, ondan aşağı və ya yuxarı təzyiqlərdə beynəlxalq standartlara (inkişaf etmiş neft şirkətlərinin təcrübəsinə əsaslanaraq) uyğun olaraq təyin edilməsi, onların etibarlılıq dərəcəsini artırmaqla yanaşı proqram moduluna daxil edilməklə hesablamaların alqoritmini də sadələşdirməyə imkan verir.

#### Neft-qaz qarışığının fiziki xassələrinin təyini

Aşağıda neft-qaz qarışığı nəql edən boru kəmərlərinin hidravlik hesablanmasına daxil olan ilkin kəmiyyətlərin (qazın sıxılma əmsalı və özlülüyü, neftin həcmi genişlənmə əmsalı, həll olmuş qaz amili, neftin özlülüyü, qaz-neft sisteminin həcmi genişlənmə əmsalı) beynəlxalq təcrübəyə uyğun olaraq tapılması üsulları verilmişdir.

#### Qazın sıxılma (inhiraf) əmsalının hesablanması

Qazın sıxılma əmsalı gətirilmiş sıxlıq, təzyiq və ya temperaturdan asılı olaraq aşağıdakı kimi təyin edilir [5, 6]:

$$Z = \frac{0.27 p_g}{\rho_g T_g}, \quad (1)$$

burada  $Z$  – qazın sıxılma əmsalı;  $\rho_g$  – qazın gətirilmiş sıxlığı;  $p_g, T_g$  – uyğun olaraq, gətirilmiş təzyiq və temperaturdur.

Qazın gətirilmiş sıxlığı iterasiya üsulu ilə aşağıdakı ardıcılıqla hesablanır:

1-ci addım: a – gətirilmiş təzyiq və temperaturun verilmiş qiymətlərinə görə qazın gətirilmiş sıxlığının ilkin qiyməti hesablanır:

$$\rho_{go} = \frac{0.27 p_g}{T_g}, \quad (2)$$

b – gətirilmiş təzyiq, temperatur və sıxlıqdan asılı olan funksiya və onun törəməsi hesablanır:

$$f(\rho_g) = A\rho_g^6 + B\rho_g^3 + C\rho_g^2 + D\rho_g + E\rho_g^3 (1 + F\rho_g^2) \exp(-F\rho_g^2) - G$$

$$f'(\rho_g) = 6A\rho_g^5 + 3B\rho_g^2 + 2C\rho_g + D + E\rho_g^2 [3 + F\rho_g^2 (3 - 2F\rho_g^2)] \exp(F\rho_g^2)$$

burada A, B, C, D, E, F və G əmsalları aşağıdakı ifadələrdən tapılır:

$$A = 0.06423; B = 0.5353T_g - 0.6123; C = 0.3151T_g - 1.0467 - 0.5783/T_g^2; D = T_g;$$

$$E = 0.6816/T_g^2; F = 0.6845; G = 0.27p_g.$$

c – qazın gətirilmiş sıxlığının sonrakı qiymətləri aşağıdakı ifadədən hesablanır:

$$\rho_{gi+1} = \rho_{gi} - \frac{f(\rho_{gi})}{f'(\rho_{gi})}.$$

2-ci və sonrakı addımlarda  $b$  və  $c$  bəndləri təkrar olunur. Hesablama o vaxta kimi aparılır ki, qazın gətirilmiş sıxlığının sonuncu və ondan əvvəlki addımlarda tapılmış qiymətləri arasındakı fərq 0.0001-dən kiçik olsun.

d – qazın gətirilmiş sıxlığının sonuncu qiyməti (2) ifadəsində yerinə qoyularaq, qazın sıxılma (inhiraf) əmsalı hesablanır.

Hesablanma gətirilmiş təzyiq və temperaturun aşağıdakı hədlərində etibarlı nəticələr verir:

$$0 < p_g < 30; 0 < T_g < 3.0$$

## Qazın özlülüyünün hesablanması

Qazın hal tənliyindən hesablanmış sıxlığına əsasən özlülüyü aşağıdakı kimi təyin edilir [6, 7]:

$$\mu_q = A \exp(B \rho_q^C) \quad (3)$$
$$A = \frac{(16.92 + 1.0427 \cdot \gamma_q) \cdot T^{1.5}}{(209 + 550.316 \cdot \gamma_q + 1.8 \cdot T) 10^4}; B = 3.5 + \frac{548}{T} + 0.28964 \cdot \gamma_q; C = 2.4 - 0.2B; \rho_q = \frac{PM}{ZRT};$$

burada  $\mu_q$  – qazın özlülüyü, mPa·s;  $\rho_q$  – qazın sıxlığı, kq/m<sup>3</sup>;  $p$  – təzyiq, MPa;  $\gamma_q$  – qazın nisbi sıxlığı;  $R = 8.31$  kC/(kmol·K) – universal qaz sabiti,  $T$  – temperatur, K;  $M$  – qazın molekulyar kütləsidir.

Verilən ifadələrdən qazın özlülüyünün etibarlı təyin olunması qazın sıxılma əmsalının təyin olunma hədləri daxilində, təzyiq və temperaturun aşağıdakı hədlərində mümkündür:

$$277.5 < T < 763 \text{ K}; 0.1 < p < 69.0 \text{ MPa}$$

## Neftin həcmi genişlənmə əmsalının hesablanması

Qazla doyma təzyiqindən yuxarı təzyiqlərdə neftin həcmi genişlənmə əmsalı aşağıdakı düsturdan hesablanır [6-8]:

$$B_{oy} = B_{od} \exp(\beta_{to}(p_{od} - p)). \quad (4)$$

Qazla doyma təzyiqindən aşağı təzyiqlərdə neftin həcmi genişlənmə əmsalı isə aşağıdakı düsturdan hesablanır:

$$B_{oda} = 1 + A(1.8T - 28) \left( \frac{141500}{\rho_n \gamma_q} - \frac{131.5}{\gamma_q} \right) + 5.615 \left[ B + C(1.8T - 28) \left( \frac{141500}{\rho_n} - 131.5 \right) \frac{1}{\gamma_q} \right] R_{hd}, \quad (5)$$

burada  $B_{oy}$ ,  $B_{od}$  və  $B_{oda}$  – uyğun olaraq, doyma təzyiqindən yuxarı, doyma təzyiqinə bərabər və ondan aşağı təzyiqlərdə neftin həcmi genişlənmə əmsalları, m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>;  $p_{to}$  – neftin izotermik sıxılma əmsalı, 1/MPa;  $p_a$  və  $p$  – uyğun olaraq, doyma təzyiqi və cari təzyiq, MPa;  $p_n$  – neftin standart şəraitdə sıxlığı, kq/m<sup>3</sup>;  $R_{hd}$  – doyma təzyiqində həll olmuş qaz amilidir, m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>.

$A$ ,  $B$  və  $C$  əmsallar olub aşağıdakı qiymətlərə malikdir:

$p_n > 876$  kq/m<sup>3</sup> olduqda:

$$A = 1.751 \cdot 10^{-5}; B = 4.677 \cdot 10^{-4}; C = -1.811 \cdot 10^{-8};$$

$p_n < 876$  kq/m<sup>3</sup> olduqda:

$$A = 1.100 \cdot 10^{-5}; B = 4.670 \cdot 10^{-4}; C = 1.337 \cdot 10^{-9}.$$

Etibarlı nəticələr dəyişənlərin aşağıdakı hədlərində alınır:

$$297 < T < 238 \text{ K}; 0.2 < p < 3.7 \text{ MPa}; 740 < p_n < 964 \text{ kq/m}^3.$$

Neftin qazla doyma təzyiqindən yuxarı təzyiqlərdə:

$$0.511 < p_q < 1.351; 0.8 < p < 31.3 \text{ MPa}.$$

Neftin qazla doyma təzyiqindən aşağı təzyiqlərdə isə  $873 < p_n < 964$  kq/m<sup>3</sup> olduqda:

$$0.511 < p_q < 1.351; 0.1013 < p < 31.3 \text{ MPa}.$$

$740 < p_n < 873 \text{ kq/m}^3$  olduqda:

$0.530 < p_q < 1.259$ ;  $0.1013 < p < 41.6 \text{ MPa}$ .

#### Həll olmuş qaz amilinin hesablanması

Doyma təzyiqindən aşağı təzyiqlərdə həll olmuş qaz amilini ( $R_{ha}$ ) aşağıdakı düsturdan qiymətləndirmək olar [6, 8]:

$$R_{ha} = 5.6146A\gamma_q(14.5p)^B \exp[C(141500/\rho_n - 131.5)/(1.8T)], \quad (6)$$

burada  $p_n < 880 \text{ kq/m}^3$  olduqda:  $A = 0.0362$ ;  $B = 1.0937$ ;  $C = 25.7240$ .

$p < 880 \text{ kq/m}^3$  olduqda:  $A = 0.0178$ ;  $B = 1.1870$ ;  $C = 23.9310$

Düsturun etibarlılığı onlara daxil olan kəmiyyətlərin aşağıdakı hədlərində təmin olunur:

$97 < T < 238.5 \text{ K}$ ;  $0.2 < p < 3.7 \text{ MPa}$ .

$880 < p < 964 \text{ kq/m}^3$  olduqda:  $0.511 < p_q < 1.351$ ;  $0.1013 < p < 31.3 \text{ MPa}$

$741 < p < 873 \text{ kq/m}^3$  olduqda:  $0.530 < p_q < 1.259$ ;  $0.1013 < p < 41.6 \text{ MPa}$

#### Neftin özlülüyünün hesablanması

Stabil və qazlı neftlərin doyma təzyiqində, ondan yuxarı və aşağı təzyiqlərdə özlülüklerinin hesablanması aşağıdakı kimi keçirilir:

Stabil neftin özlülüyü aşağıdakı düsturlara əsasən hesablanır [6, 7]:

$$\mu_{sn} = 10^A - 1, \quad (7)$$

burada  $A = B(1.8T + 32)^{-1.163}$ ;  $B = 10^C$ ;  $C = 3.0324 - 0.02023 \cdot \left( \frac{141500}{\rho_n} - 131.5 \right)$ .

Qazlı neftin özlülüyü:

- doyma təzyiqindən yuxarı təzyiqlərdə:

$$\mu = \mu_d(p/p_d)^A, \quad (8)$$

burada  $A = 62.16p^{1.187} \exp[-130.21(10^{-4}p - 11.513)]$ ;

- doyma təzyiqindən aşağı təzyiqlərdə:

$$\mu_{da} = A\mu_{sn}^B, \quad (9)$$

burada  $A = 10.715(5.614R_{ha} + 100)^{-0.515}$ ;  $B = 5.44(5.614R_{ha} + 150)^{-0.338}$

Doyma təzyiqində neftin özlülüyü ( $\mu_d$ ) qaz amilinin doyma təzyiqindəki qiymətinə ( $R_{hd}$ ) əsasən (9) düsturundan hesablanır.

(7), (8) və (9) ifadələrinin etibarlılığı onlara daxil olan kəmiyyətlərin aşağıdakı hədlərində ödənilir:

- doyma təzyiqindən yuxarı təzyiqlərdə

$741 < p_n < 964 \text{ kq/m}^3$ ;  $0.511 < p_q < 1.351$ ;  $7.65 < p < 65.4 \text{ MPa}$

- doyma təzyiqində və ondan aşağı təzyiqlərdə

$3.56 < R_{ha} < 369 \text{ m}^3/\text{m}^3$ ;  $0.1013 < p < 36.3 \text{ MPa}$ ;  $294 < T < 419 \text{ K}$ ;  $747 < p_n < 960 \text{ kq/m}^3$ .

## İkifazlı qaz-neft sisteminin həcmi genişlənmə əmsalının hesablanması

İkifazlı qazlı mayenin doyma təzyiqində, ondan yuxarı və aşağı təzyirlərdə həcmi genişlənmə əmsalı qaz və neftin həcmi genişlənmə əmsallarına əsasən aşağıdakı düsturla hesablanır [6, 9]:

- doyma təzyiqindən yuxarı təzyiqlərdə

$$B_{dy} = B_{od} \exp[\beta_{to}(p_d - p)];$$

- doyma təzyiqindən aşağı təzyiqlərdə

$$B_{oda} = B_{od} + (R_{hd} - R_{ha})/B_{oq}$$

Etibarlı nəticə dəyişənlərin aşağıdakı hədlərində alınır:

$$297 < T < 338 \text{ K}; 0.2 < p < 3.7 \text{ MPa}; 740 < p_n < 964 \text{ kq/m}^3.$$

Neftin qazla doyma təzyiqindən yuxarı təzyiqlərdə:

$$0.511 < p_q < 1.351; 0.8 < p < 31.3 \text{ MPa}.$$

Neftin qazla doyma təzyiqindən aşağı təzyiqlərdə:

$$873 < p_n < 964 \text{ kq/m}^3 \text{ olduqda}; 0.511 < p_q < 1.351; 0.1013 < p < 31.3 \text{ MPa}$$

$$740 < p_n < 873 \text{ kq/m}^3 \text{ olduqda}; 0.530 < p_q < 1.259; 0.1013 < p < 41.6 \text{ MPa}$$

## Flüid kəmərlərinin iş rejiminin seçilməsi

Qeyd olunduğu kimi, qaz-neft qarışığı nəql edən boru kəmərləri üçün optimal iş rejimi xüsusi enerji sərfinin ( $\Delta p/Q$ ) minimum qiymətinə uyğun gələn hal hesab olunmaqla, bir qayda olaraq, qrafik üsulla  $\Delta p=f(Q)$  asılılığına koordinat başlanğıcından çəkilmiş toxunanla müəyyənləşdirilir. Toxunanla  $\Delta p=f(Q)$  əyrisinin toxunma nöqtəsinə uyğun gələn  $\Delta p$  və  $Q$ -nin qiymətləri kəmərin optimal iş rejiminin göstəriciləri kimi qəbul edilir. Aparılan təhlil göstərir ki, heç də həmişə toxunan üsulu ilə kəmərlərin optimal iş rejimlərini müəyyən edəcək təmas nöqtəsinə dəqiq müəyyənləşdirmək mümkün olmur.

Qeyd olunanları nəzərə almaqla neft-qaz kəmərlərinin energetik xüsusiyyətlərinin təhlilini aparmaq, xüsusi enerji sərfinə ( $\Delta p/Q=f(Q)$  asılılığına) əsasən kəmərin optimal iş rejimini tapmaq üçün üsulun işlənməsinə baxaq.

Məlumdur ki, neft-qaz qarışığı nəql edən boru kəmərlərində ümumi təzyiq itkisi, inersiya qüvvələrindən yaranan itki nəzərə alınmazsa, aşağıdakı kimi tapılır:

$$\Delta p = \frac{\lambda_{qar} \rho_{qar} v_{qar}^2 L}{2D} + \sum_{i=1}^n h_{qali} g \rho_{qali} - \sum_{i=1}^n h_{eni} g \rho_{eni}, \quad (10)$$

burada  $\lambda_{qar}$  – qarışığın hidravlik müqavimət əmsalı;  $\rho_{qar}$ ,  $v_{qar}$  – uyğun olaraq, qarışığın sıxlığı,  $\text{kq/m}^3$  və orta sürəti,  $\text{m/s}$ ;  $L$  və  $D$  – uyğun olaraq, boru kəmərinin uzunluğu və diametridir,  $\text{m}$ .

Qarışığın orta sürətinin  $v_{qar} = 4Q_{nq}/86400(1 - \beta)\pi D^2$  ifadəsini (10)-da nəzərə alsaq:

$$\Delta p = 1.08693 \cdot 10^{-10} \frac{\lambda_{qar} \rho_{qar}}{(1 - \beta)^2} \frac{L}{D^5} Q_{nq}^2 + \sum_{i=1}^n h_{qali} g \rho_{qali} - \sum_{i=1}^n h_{eni} g \rho_{eni}. \quad (11)$$

Əgər  $a = 1.08693 \cdot 10^{-10} \frac{\lambda_{qar} \rho_{qar}}{(1 - \beta)^2} \frac{L}{D^5}$  və  $b = \sum_{i=1}^n h_{qali} g \rho_{qali} - \sum_{i=1}^n h_{eni} g \rho_{eni}$  qəbul etsək, onda (11) ifadəsi

aşağıdakı kimi olar

$$\Delta p = a Q_{nq}^2 + b, \quad (12)$$

burada  $\beta$  – qarışığın həcmi sərf qazlılığı;  $Q_{nq}$  – qarışığın sərfidir,  $\text{m}^3/\text{gün}$ .

(12) tənliyinin hər iki tərəfini  $Q_{nq}$ -yə bölsək, qazlı neftləri nəql etmək üçün xüsusi enerji sərfinin boru kəmərinin rejim göstəricilərindən asılılığını alarıq.

$$\frac{\Delta p}{Q_{nq}} = a Q_{nq} + \frac{b}{Q_{nq}}. \quad (13)$$

(12) və (13) tənliklərinə daxil olan  $a$  və  $b$  əmsallarının təhlili göstərir ki, bu əmsallar  $Q_{nq}$ -dən asılıdır. Nəzəri və riyazi təcrübə tədqiqatlarına əsaslanaraq  $a$  və  $b$  əmsallarının sərfdən asılılıqlarını, praktiki olaraq qəbul olunan dəqiqliklə, aşağıdakı ifadələrlə müəyyən etmək olar [11]:

$$\begin{cases} a = A_1 Q_{nq}^{B_1} \\ b = e^{A_2 \ln^2(Q_{nq}) + B_2 \ln(Q_{nq}) + C_2} \end{cases} \quad (14)$$

burada  $A_1, A_2$  və  $B_1, B_2, C_2$  verilən boru kəməri üçün sabit kəmiyyətlərdir.  $a$  və  $b$  -ni (12) tənliyində nəzərə alsaq:

$$\Delta p = A_1 Q^{B_1} Q^2 + e^{A_2 \ln^2(Q) + B_2 \ln(Q) + C_2} = A_1 Q^{B_1+2} + e^{A_2 \ln^2(Q) + B_2 \ln(Q) + C_2} \quad (15)$$

Tənliyin hər tərəfini  $Q$ -yə bölək:

$$\frac{\Delta p}{Q} = A_1 Q^{B_1+1} + Q^{-1} \cdot e^{A_2 \ln^2(Q) + B_2 \ln(Q) + C_2}$$

Bu ifadənin hər tərəfindən  $Q$ -yə görə törəmə alaraq, sıfıra bərabər edib  $Q$ -yə görə həll etsək, boru kəmərinə axan neft-qaz qarışığının optimal sərfini hesablamaq üçün ifadəni alırıq:

$$\begin{aligned} \left( \frac{\Delta p}{Q} \right)' &= A_1 (B_1 + 1) Q^{B_1} - Q^{-2} e^{A_2 \ln^2(Q) + B_2 \ln(Q) + C_2} + Q^{-1} (2A_2 Q^{-1} \ln(Q) + B_2 Q^{-1}) e^{A_2 \ln^2(Q) + B_2 \ln(Q) + C_2} = \\ &= A_1 (B_1 + 1) Q^{B_1} + (Q^{-2}) (-1 + 2A_2 \ln(Q) + B_2) e^{A_2 \ln^2(Q) + B_2 \ln(Q) + C_2} = 0 \\ \frac{A_1 (B_1 + 1)}{1 - 2A_2 \ln(Q) - B_2} Q^{B_1+2} &= e^{A_2 \ln^2(Q) + B_2 \ln(Q) + C_2} \end{aligned}$$

Bu ifadədə  $K_1 = \frac{A_1 (B_1 + 1)}{1 - 2A_2 \ln(Q) - B_2}$ ,  $K_2 = B_1 + 2$  qəbul etsək,  $K_1 Q^{K_2} = e^{A_2 \ln^2(Q) + B_2 \ln(Q) + C_2}$  alırıq.

Tənliyin hər iki natural loqarifm əsasında loqarifmləsək

$$\begin{aligned} \ln K_1 + K_2 \ln Q &= A_2 \ln^2(Q) + B_2 \ln(Q) + C_2 \\ A_2 \ln^2(Q) + (B_2 - K_2) \ln(Q) + (C_2 - \ln(K_1)) &= 0 \text{ alırıq.} \end{aligned}$$

Göründüyü kimi, bu  $\ln(Q)$ -yə görə kvadrat tənlikdir və həlli olacaqdır:

$$\ln(Q) = \frac{-(B_2 - K_2) + \sqrt{(B_2 - K_2)^2 - 4A_2(C_2 - \ln(K_1))}}{2A_2},$$

buradan

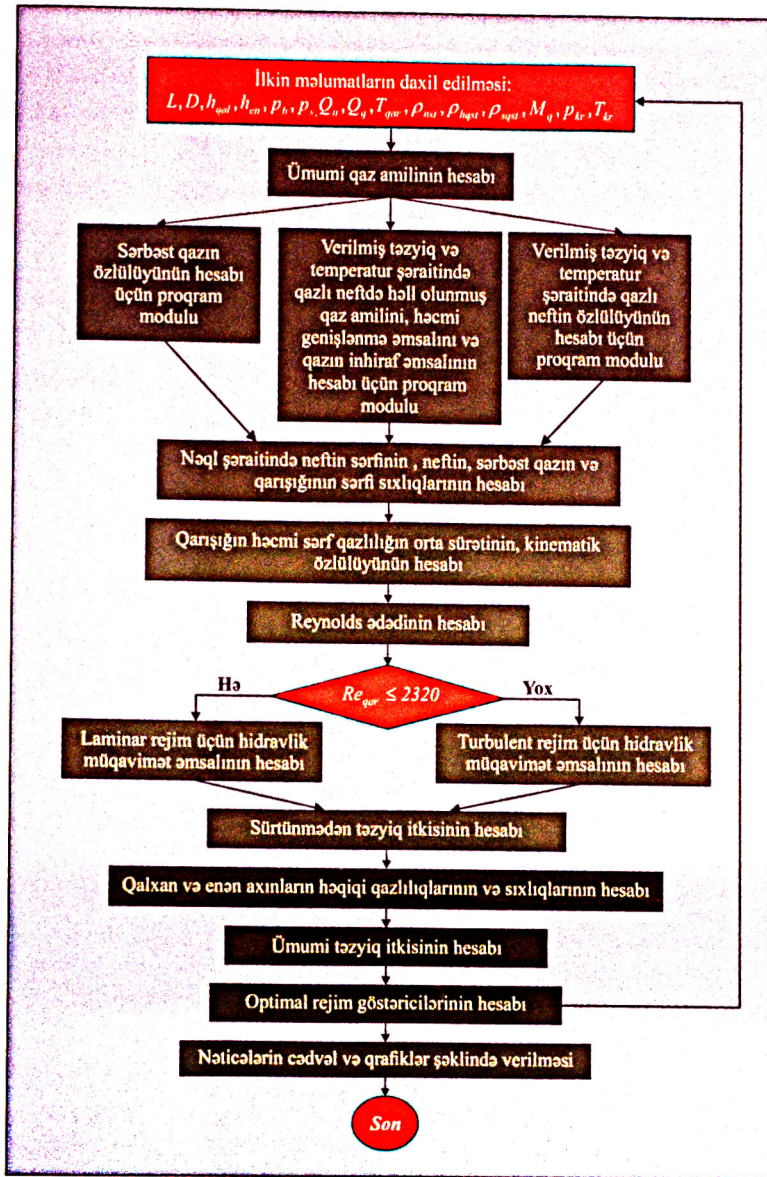
$$Q_{opt} = e^{\frac{-(B_2 - K_2) + \sqrt{(B_2 - K_2)^2 - 4A_2(C_2 - \ln(K_1))}}{2A_2}} \quad (16)$$

Lakin  $K_1$  də  $Q$ -dən asılı olduğu üçün bu ifadədən optimal sərfin qiyməti 0.001 % dəqiqliklə hesablanır. Bunun üçün 1-ci addımda  $Q$ -nün qiyməti boru ilə faktiki axan neft-qaz qarışığının qiymətinə bərabər qəbul edilir,  $K_{1i}$  və  $Q_{opt1}$  hesablanır. Sonrakı addımlarda  $K_{1i}$  qiymətini hesablamaq üçün  $Q$ -nün qiyməti  $Q_{opt(i-1)}$ -in qiymətinə bərabər edilir  $Q_{opti}$ . Lazımı dəqiqlik alınandan sonra optimal sərfin  $Q_{opti}$ -in son qiymətinə bərabər qəbul edilir.

Neft-qaz qarışığı nəql edən dəniz boru kəmərlərinin energetik xüsusiyyətlərinin təhlili məqsədilə yuxarı

rida qeyd olunanlara əsasən hesablamalar aparmaq üçün Microsoft Excel sistemində makroslardan istifadə etməklə xüsusi proqram tərtib olunmuş və sınaqdan keçirilmişdir.

Proqramın blok-sxemi şəkildə verilmişdir.



**Neft-qaz qarışığı nəql edən boru kəmərlərinin energetik xüsusiyyətlərinin təyininin blok-sxemi**

Blok-sxemə əsasən hesablamalar aşağıdakı ardıcılıqla aparılır: 1) boru kəmərləri üçün aşağıdakı ilkin məlumatlar daxil edilir.

Həndəsi ölçüləri: uzunluğu ( $L$ , m); diametri ( $D$ , m); qalxma ( $h_{qal}$ ) və enmə ( $h_{en}$ ) hündürlükləri (m); başlanğıc ( $p_b$ ) və sonrakı ( $p_s$ ) təzyiqlər, (MPa); neftin sərfi ( $Q_n$ , t/gün) və qazın sərfi ( $Q_q$ , m<sup>3</sup>/gün); orta nəql temperaturu ( $T_{or}$ , K); neftin standart şəraitində sıxlığı ( $\rho_{nst}$ , kq/m<sup>3</sup>); sərbəst ( $\rho_{qst}$ ) və neftdə həll olunmuş ( $\rho_{hqst}$ ) qazların standart şəraitdə sıxlıqları (kq/m<sup>3</sup>); sərbəst qazın molekulyar kütləsi (kq/kmol), böhran təzyiç (MPa) və böhran temperaturu (K);

2) ümumi qaz amili ( $R_a$ , m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>) hesablanır -  $R_a = Q_q / Q_n$  ( $Q_q$  və  $Q_n$  – uyğun olaraq, qazın və neftin standart şəraitdə sərfəlidir, m<sup>3</sup>/gün);

3) neftdə həll olmuş qaz amili ( $R_h$ , m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>) hesablanır (proqram modulundan istifadə edərək);

4) neftin verilən təzyiç və temperaturunda həcmi genişlənmə əmsalı ( $b_n$ , m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>) hesablanır (proqram modulundan istifadə edərək);

5) neftin sərfi nəql olunma şəraitində hesablanır –  $Q_{nq} = Q_{nbn}$ ;

6) nəql olunma şəraitində neftin sıxlığı hesablanır –  $\rho_{nq} = (\rho_{nst} + \rho_{qst} R_n) / b_n$ ;

7) sərbəst qazın sıxılma əmsalı korrelyasiya düsturlarından hesablanır (proqram modulundan istifadə edərək);

8) sərbəst qazın nəql şəraitində sıxlığı -  $\rho_q = \frac{\rho_{qst} P_{qar} T_0}{P_0 T_{qar} Z}$ ;

9) qarışığın həcmi sərf qazlılığı –  $\beta = 1 / (1 + b_v p_{qar} T_0 / (Z(R_a - R_n) p_0 T_{qar}))$ ;

10) qarışığın orta sürəti –  $v_{qar} = 4 Q_{nq} / (86400 (1 - \beta) \pi D^2)$ ;

11) qarışığın sərflə sıxlığı –  $\rho_{qar} = \rho_n (1 - \beta) + \rho_q \beta$ ;

12) qazlı neftin və qazın özlülükləri hesablanır (proqram modulundan istifadə edərək);

13) qarışığın kinematik özlülüüyü -  $\nu_{qar} = \frac{\mu_n (1 - \beta) + \mu_q \beta}{\rho (1 - \beta) + \rho_q \beta}$ ;

14) Reynolds ədədi -  $Re = v_{qar} D / \nu_{qar}$ ;

15) müqayisə edilir: Reynolds ədədinin qiymətinə görə hidravlik müqavimət əmsalı:

$Re < 2320$  olduqda,  $\lambda = 64 / Re_{qar}$ ,  $Re > 2320$  olduqda,  $\lambda = 1 / (1.8 \lg Re_{qar} - 1.5)^2$ ;

16) sürtünməyə sərf olunan təzyiq itkisi:

$$\Delta p_{sürt} = \frac{\lambda_{qar} \rho_{qar} v_{qar} L}{2D}$$

17) qalxan və düşən axınların həqiqi qazlılıqları və sıxlıqları:

$$\phi_{qal} = \frac{\beta}{1 + 1/v_{qar}}, \phi_{en} = 1 - \frac{1 - \beta}{1 + 1/v_{qar}}$$

$$\rho_{qal} = (1 - \phi_{qal}) \rho_m + \rho_q \phi_{qal}, \rho_{en} = (1 - \phi_{en}) \rho_m + \rho_q \phi_{en}$$

18) gravitasiya qüvvələri ilə əlaqədar təzyiq itkiləri:

$$\Delta p_{qr} = \sum_{i=1}^n h_{qali} \rho_{qali} - \sum_{i=1}^n h_{eni} \rho_{eni}$$

19) boru kəmərinə ümumi təzyiq itkisi:  $\Delta p = \Delta p_{sürt} + \Delta p_{qr}$ ;

20)  $A_1, B_1, A_2, B_2, C_2, K_1$  və  $K_2$  əmsalları;

21) (12) ifadəsinə daxil olan  $a$  və  $b$  əmsalları;

22) boru kəmərinin optimal rejimdəki sərflə (16) ifadəsinə əsasən;

23) optimal rejimə uyğun olan  $a_{opt}$  və  $b_{opt}$  əmsalları (14) ifadələri üzrə;

24) optimal rejimə uyğun hidravlik itkilər (14) düsturuna əsasən;

25) optimal rejimə uyğun xüsusi enerji sərflə  $\Delta p_{opt} / Q_{opt}$  hesablanır.

Özüllərərası boru kəmərlərinin şərti nömrələri	Faktiki iş rejimi göstəriciləri		Təyin olunmuş optimal iş rejimi göstəriciləri	
	$Q_{fakt}$	$\Delta p / Q$	$Q_{opt}$	$(\Delta p / Q)_{min}$
	m <sup>3</sup> /gün	MPa·gün/m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> /gün	MPa·gün/m <sup>3</sup>
15-5	2096	6.50	3828	5.49 · 10 <sup>-5</sup>
5-9	83	7.16	1017	1.20 · 10 <sup>-4</sup>
5-2	563	7.81	2898	5.61 · 10 <sup>-5</sup>
9-2	219	8.46	2389	5.62 · 10 <sup>-5</sup>
8-13	275	9.11	15001	4.69 · 10 <sup>-5</sup>
8-14	288	9.76	3345	1.22 · 10 <sup>-4</sup>
14-3a	945	10.41	4740	5.17 · 10 <sup>-5</sup>
14-3b	945	11.06	4740	5.17 · 10 <sup>-5</sup>
14-3c	945	11.71	4732	5.18 · 10 <sup>-5</sup>
13-10	1296	0.16	3533	5.89 · 10 <sup>-5</sup>
10-3	1307	0.31	4169	6.31 · 10 <sup>-5</sup>
3-6	42	0.47	5567	8.44 · 10 <sup>-5</sup>
6-4	208	0.63	1855	8.78 · 10 <sup>-5</sup>
11-4	489	0.79	3119	4.92 · 10 <sup>-5</sup>



Təklif olunan xüsusi proqrama (blok-sxemi şəklində göstərilən) əsasən işlənmiş metodika Günəşli dəniz yatağının neftin, qazın yığılması və nəqli sistemində sınaqdan çıxarılmış, sualtı dəniz flüid kəmərləri üçün hidravlik hesablamalar aparılmış və optimal iş rejimləri təyin edilmişdir. Boru kəmərlərinin faktiki iş rejimləri, optimal iş rejiminin təyin olunmuş nəticələri cədvəldə verilmişdir.

#### Cədvəl

Cədvəldə göstərilən sualtı boru kəmərləri üzrə faktiki və optimal iş rejimlərinin müqayisələrinə əsaslanaraq onların yüklənmə dərəcələrini, hər bir boru xəttinin, eləcə də bütün yığım şəbəkəsinin energetik xüsusiyyətini yaxşılaşdırmaq üçün dəniz neft mədəninin işini pozmamaya şərti ilə planlı tədbirlər hazırlayıb həyata keçirmək olar. Onu da qeyd etmək lazımdır ki, təklif olunan analitik üsullar müqayisədə toxunan üsul ilə optimal iş rejiminin qrafik yolla təyini zamanı xətanın ehtimalı daha çox ola bilər.

#### Nəticə

Aparılan təhlil nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, Günəşli yatağının baxılan istismar dövründə (2008-ci il) yığım şəbəkəsinə daxil olan, demək olar ki, bütün sualtı boru kəmərləri rəasional olaraq yüklənməmişdir. Həmin kəmərlər üçün xüsusi enerji sərfinin azaldılması mümkündür və perspektivdə nəzərə alınmalıdır.

#### Ədəbiyyat siyahısı

1. *Альтшул А.Д.* Гидравлическое сопротивление. – М.: Недра, 1982, 221 с.
2. *Гужов А.И.* Совместный сбор и транспорт нефти и газа. – М.: Недра, 1973, 280 с.
3. *Гумбатов Г.Г.* Изучение процесса сбора, транспорта и подготовки нефтей в условиях морских месторождений Азербайджана. – Баку: Элм, 1996, 240 с.
4. *Pat. AZ I 2001 0024.* Устройство для гашения пульсации давления в газожидкостных потоках / *P.M. Саттаров, Г.Г. Исмаилов, А.А. Мовсумов и др.*
5. *Dranchuk P., Purvis R., Robinson D.* Computer Calculations of Natural Gas Compressibility Factors Using the Standing and Kats Correlation // Institute of Petroleum Technical Series, No. IP 74-008, 1974.
6. *Vasques, M., and Beggs, H.* Journal of Petroleum Technology, 1980, June, pp. 968-970.
7. *Beggs H., Robinson J.* Estimating the Viscosity of Grude Oil Systems // JPT Forum, 1975, September, pp. 1140-1141.
8. *Takacs, G.* Comparations Made for Computer Z-Factors Calculations // Oil and Gas Journal, 1996, December 20, pp. 64-66.
9. *Standing M.* Volumetric and Phase Behavior of Oil Field Hydrocarbon Systems, 1977, pp. 26-122.
10. *HEWLETT PACKARD HP-41C.* Petroleum Fluids PAC. Portable Computer Division 1000 N.E. Circle Blvd., Corvallis, OR 97330, U.S.A. Printed in Singapore 8/84
11. *Корн Г., Корн Т.* Справочник по математике (для научных работников и инженеров). – М.: Недра, 1977, 832 с.

#### References

1. *Al'tshul A.D.* Gidravlichesкое soprotivlenie. – М.: Nedra, 1982, 221 s.
2. *Guzhov A.I.* Sovmestniy sbor i transport nefi i gaza. – М.: Nedra, 1973, 280 s.
3. *Gumbatov G.G.* Izuchenie protsesssa sbora, transporta i podgotovki neftey v usloviyakh morskikh mestorozhdeniy Azerbaidzhana. – Baku: Elm, 1996, 240 s.
4. *Pat. AZ I 20010024.* Ustroystvo dlya gasheniya pulsatsii davleniya v gazozhidkostnykh potokakh / *Sattarov R.M., Ismailov G.G., Movsumov A.A. i dr.* 4 с.
5. *Dranchuk P., Purvis R., Robinson D.* Computer calculations of natural gas compressibility factors using the standing and kats correlation // Institute of Petroleum Technical Series, No. IP 74-008, 1974.
6. *Vasques, M., and Beggs, H.* Journal of Petroleum Technology, 1980, June, pp. 968-970.
7. *Beggs H., Robinson J.* Estimating the viscosity of crude oil systems // JPT Forum, 1975, September, pp. 1140-1141.
8. *Takacs, G.* Comparations made for computer Z-factors calculations // Oil and Gas Journal, 1996, December 20, pp. 64-66.
9. *Standing M.* Volumetric and phase behavior of oil field hydrocarbon Systems, 1977, pp. 26-122.
10. *HEWLETT PACKARD HP-41C.* Petroleum Fluids PAC. Portable Computer Division 1000 N.E. Circle Blvd., Corvallis, OR 97330, U.S.A. Printed in Singapore 8/84.
11. *Korn G., Korn T.* Spravochnik po matematike (dlya nauchnykh rabotnikov i inzhenerov). – М.: Nedra, 1977, 832 s.