

UDC 542.73

DOI 10.52171/2076-0515_2024_16_01_79_86

Optimization of the Well Production Mode Based on Retro-analysis of the Power Features of Subsea Fluid Pipelines

(on the Example of the “Gunashli” Field)

G.G. Ismayilov¹, Sh.Z. Ismayilov¹, Sh.Z. Ismayilov², A.V. Sultanova³

¹*Azerbaijan State University of Oil and Industry (Azadlig ave., 16/21, Baku, AZ 1010, Azerbaijan)*

²*"Azneft" Production Association (Neftçiler ave., 73, Baku, AZ1004, Azerbaijan)*

³*SRI "Geotechnological problems of oil, gas and chemistry" (D. Aliyeva st., 227, Baku, AZ1010, Azerbaijan)*

For correspondence:

Sultanova Arzu / e-mail: arzu-sultanova@rambler.ru

Abstract

An experience in the operation of subsea pipelines, which are part of the existing offshore collection system, shows that for trouble-free and efficient operation of the collector-transport system and its individual subsea pipelines, it is important to choose the optimal operating modes. In the article, based on known calculation methods and considering the characteristics of heterogeneous well products, an analytical method for hydraulic calculation and determination of the optimal operating mode of liquid pipelines is developed, which is tested at the Gunashli field.

Keywords: production well, liquid pipeline, optimal mode, hydraulic calculation, analytical method.

Received 13.10.2021

Revised 09.02.2024

Accepted 12.02.2024

For citation:

G.G. Ismayilov, Sh.Z. Ismayilov, Sh.Z. Ismayilov, A.V. Sultanova

[Optimization of the Wells Production Mode Based on Retro-analysis of the Power Features of Subsea Fluid Pipelines]

Herald of the Azerbaijan Engineering Academy, 2024, vol. 16, no. 1, pp. 79-86 (in Azerbaijani)

Sualtı flüid kəmərlərinin energetik xüsusiyyətlərinin retro-təhlili əsasında hasilat quyularının iş rejimlərinin optimallaşdırılması (“Günəşli” yatağının təmsalında)

Q.Q. İsmayılov¹, Ş.Z. İsmayılov¹, Ş.Z. İsmayılov², A.V. Sultanova³

¹ Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti (Azadlıq pr. 16/21, Bakı, AZ1010, Azərbaycan)

² “Azneft” İstehsalat Birliyi (Neftçilər pr. 73, Bakı, AZ1004, Azərbaycan)

³ “Neftin, qazın geotexnoloji problemləri və kimya” ETİ (D. Əliyeva küç. 227, Bakı, AZ1010, Azərbaycan)

Yazışma üçün: Sultanova Arzu / e-mail: arzu-sultanova@rambler.ru

Xülasə

Dəniz yataqlarının mövcud yığım sisteminə daxil olan sualtı boru kəmərlərinin istismar təcrübəsi göstərir ki, yığım-nəql sistemi və bura daxil olan ayrı-ayrı sualtı kəmərlərin qəzasız və səmərəli işləməsi üçün onların optimal iş rejimlərinin düzgün seçilməsi vacibdir. Məqalədə məlum hesablama üsullarına istinad etməklə və heterogen quyu məhsullarının xüsusiyyətləri nəzərə alınmaqla flüid kəmərlərinin hidravlik hesablanması və optimal iş rejiminin təyini üçün analitik üsul işlənmiş və “Günəşli” yatağında sınaqdan çıxarılmışdır.

Açar sözlər: hasilat quyusu, flüid kəməri, optimal rejim, hidravlik hesablama, analitik üsul.

Оптимизация режима работы добывающих скважин на основе ретро-анализа энергетических особенностей подводных флюидопроводов (на примере месторождения «Гюнешли»)

Г.Г. Исмаилов¹, Ш.З. Исмаилов¹, Ш.З. Исмаилов², А.В. Султанова³

¹ Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности (пр. Азадлыг, 16/21, Баку, AZ1010, Азербайджан)

² ПО «Азнефть» (пр. Нефтяников, 73, Баку, AZ1004, Азербайджан)

³ НИИ «Геотехнологические проблемы нефти, газа и химия» (ул. Д.Алиевой, 227, Баку, AZ1010, Азербайджан)

Для переписки: Султанова Арзу / e-mail: arzu-sultanova@rambler.ru

Аннотация

Опыт эксплуатации подводных трубопроводов, которые являются частью существующей морской системы сбора, показывает, что для безаварийной и эффективной работы коллекторно-транспортной системы и входящих в нее отдельных подводных трубопроводов важно выбрать оптимальные режимы работы. В статье на основе известных методов расчета и с учетом характеристик неоднородных продуктов скважин разработан аналитический метод гидравлического расчета и определения оптимального режима работы жидкостных трубопроводов, который был испытан на месторождении «Гюнешли».

Ключевые слова: эксплуатационная скважина, жидкостный трубопровод, оптимальный режим, гидравлический расчет, аналитический метод.

Giriş

Məlumdur ki, Xəzər dənizində karbohidrogen yataqlarının istismarı ayrı-ayrı dəniz özüllərindən qazılmış quyular, quyu məhsullarının yığılması və nəqli isə mürəkkəb relyef və termobarik şəraitdə işləyən sualtı boru kəmərləri vasitəsi ilə həyata keçirilir. Relyeflə əlaqədar əsas çətinliklər onunla bağlıdır ki, hasilat quyuları və onların məhsuldarlığının qurğuları müxtəlif özüllərdə yerləşir. Əksər hallarda özüllərarası yığım kollektorlarında aşağıdan yuxarı və əksinə yuxarıdan aşağı axınlar mövcud olur. Məhz relyef və termobarik şəraitlərin dəyişməsi ilə bağlı sualtı flüid kəmərlərində nəql şəraitinin və qaz-neft axınlarının struktur formalarının dəyişməsi hesabına sistemdə təzyiqli döyüntüləri baş verir, qəza hallarının ehtimalı çoxalır. Mədəndaxili boru kəmərlərinin işinin təhlili göstərir ki, əksər hallarda onların optimal iş rejimləri təmin olunmur [1-3].

İstismar prosesində bu və ya digər səbəblərdən baş vermiş dəyişikliklərin (quyuların işdən dayanması, yeni quyuların işə düşməsi, boru xətlərində baş verən neft-qaz sızmaları və digər mürəkkəbləşmələr) sualtı boru kəmərlərinin energetik xüsusiyyətlərinə edəcəkləri təsirlər isə demək olar ki, xüsusi tədqiqat obyektidir. Quyu məhsullarının yığılması və nəqlini həyata keçirən sualtı kəmərlər (neft-qaz və ya flüid kəmərləri) quyuağzı təzyiqli altında işlədiyi üçün onların iş rejimlərinin düzgün qurulması çox vacibdir. Təhlil göstərir ki, əsas problemlər neft-qaz (flüid kəmərlərinin) istismarı ilə bağlı yaranır. Odur ki, mürəkkəb şəraitdə istismar olunan sualtı dəniz neft-qaz kəmərlərinin energetik xüsusiyyətlərinin təhlilinin aparılması, onların rəşional iş rejimlərinin təmin olunması hasilat quyularının optimal iş rejimlərinin təmini, eko-istismar

göstəricilərinin yaxşılaşdırılması baxımından xüsusi əhəmiyyət kəsb edir.

Neft-qaz qarışığı nəql edən flüid kəmərləri üçün optimal iş rejimi xüsusi enerji sərfinin ($\Delta P/Q$) minimum qiymətinə uyğun gələn hal hesab olunmaqla, bir qayda olaraq, qrafiki üsulla $Q=f(\Delta P)$ asılılığına koordinat başlanğıcından çəkilmiş toxunanla müəyyənləşdirilir [4]. Toxunanla $\Delta P=f(Q)$ əyrisinin toxunma nöqtəsinə uyğun gələn ΔP və Q -nin qiymətləri kəmərin optimal iş rejiminin göstəriciləri kimi qəbul edilir. Eyni ilə xüsusi enerji sərfinin sərfindən asılı olaraq qurulmuş qrafikində xüsusi enerji sərfinin minimal qiymətinə uyğun gələn sərf göstəricisi optimal rejim göstəricisi deməkdir. Aparılan təhlil göstərir ki, heç də həmişə qeyd olunan qrafiki üsullarla kəmərlərin optimal iş rejimini dəqiq müəyyənləşdirmək mümkün olmur. Qeyd olunanları nəzərə alaraq, aşağıda flüid kəmərlərinin energetik xüsusiyyətlərinin təhlilini aparmaq, onların optimal iş rejimini təyin etmək üçün aşağıdakı analitik üsulun işlənməsinə baxılmışdır.

Neft-qaz qarışığını nəql edən boru kəmərlərində ümumi təzyiqli itkiləri, qravitasiya itkiləri də nəzərə alınmazsa, aşağıdakı kimi təyin edilir [4, 5]:

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

burada λ_{qar} – qarışığın hidravlik müqavimət əmsalı; ρ_{qar} , v_{qar} – uyğun olaraq, qarışığın sıxlığı (kg/m^3) və orta axın sürəti (m/s); L və D – uyğun olaraq, boru kəmərinin uzunluğu və diametri (m); h_{qal} , h_{en} – uyğun olaraq, boru kəmərinin aşağıdan yuxarı qalxan və yuxarıdan aşağı enən hissəsinin uzunluğu (m); ρ_{qal} , ρ_{en} – uyğun olaraq, qalxan və enən hissələrdə qarışığın sıxlığıdır, kg/m^3 .

Qarışığın orta sürətinin:

$$v_{qar} = \frac{4Q_{nq}}{86400(1-\beta)\pi D^2}$$

ifadəsini (1)-də nəzərə alsaq, flüid kəmərinin hidravlik (sərf) xarakteristikası üçün aşağıdakı ifadəni alırıq [5]:

$$\Delta p = aQ_{nq}^2 + b \quad (2)$$

$$a = 1.08693 \cdot 10^{-10} \frac{\lambda_{qar} \rho_{qar}}{(1-\beta)^2} \cdot \frac{L}{D^5}$$

$$b = \sum_{i=1}^n h_{qali} g \rho_{qali} - \sum_{i=1}^n h_{eni} g \rho_{eni}$$

Burada β – qarışığın həcmi sərf qazlılığı;

Q – qarışığın sərfidir, m³/gün.

Flüid kəmərlərinin sərf xarakteristikasına əsasən onların optimal iş rejiminin təyini üçün analitik üsulun işlənilməsinə həm xüsusi enerji sərfinin minimal qiyməti, həm də toxunan üsulu nəzərə alınmaqla baxılmışdır.

Xüsusi enerji sərfinə görə analitik üsulun işlənməsi

(2) tənliyinin hər iki tərəfini Q -yə bölsək, qazlı neftləri nəql etmək üçün xüsusi enerji sərfinin boru kəmərinin rejim göstəricilərindən asılılığını alırıq:

$$\frac{\Delta P}{Q_{nq}} = aQ_{nq} + \frac{b}{Q_{nq}} \quad (3)$$

Nəzəri və riyazi-təcrübə tədqiqatlarına əsaslanaraq, a və b əmsallarının sərfdən asılılıqlarını, praktiki olaraq qəbul olunan dəqiqliklə, aşağıdakı ifadələrlə müəyyən etmək olar [6]:

$$\begin{cases} a = A_1 Q_{nq}^{B_1} \\ b = e^{A_2 \ln^2(Q_{nq}) + B_2 \ln(Q_{nq}) + C_2} \end{cases} \quad (4)$$

Burada A_1 , A_2 və B_1 , B_2 və C_2 – verilən boru kəməri üçün sabit kəmiyyətlərdir. a və b -nin ifadələrini (2) tənliyində nəzərə alsaq, alırıq:

$$\frac{\Delta p}{Q} = A_1 Q^{B_1+1} + Q^{-1} \cdot e^{A_2 \ln^2(Q) + B_2 \ln(Q) + C_2} \quad (5)$$

Sonuncu ifadənin hər tərəfindən Q -yə görə törəmə alaraq, sifira bərabər edib Q -yə görə həll etsək, boru kəmərinə axan neft-qaz qarışığının optimal sərfini hesablamaq üçün ifadəni almaq olar:

$$\begin{aligned} K_1 Q^{K_2} &= e^{A_2 \ln^2(Q) + B_2 \ln(Q) + C_2} \\ K_1 &= \frac{A_1 (B_1 + 1)}{1 - 2A_2 \ln(Q) - B_2}, \quad K_2 = B_1 + 2 \end{aligned} \quad (6)$$

(6) ifadəsinin hər iki tərəfini natural loqarifmləsək və $\ln(Q)$ -yə görə alınan kvadrat tənliyi həll etsək, optimal sərfin hesablanması üçün aşağıdakı ifadəni alırıq:

$$Q_{opt} = e^{\frac{-(B_2 - K_2) + \sqrt{(B_2 - K_2)^2 - 4A_2(C_2 - \ln(K_1))}}{2A_2}} \quad (7)$$

Sonuncu ifadəyə daxil olan K_1 əmsalı da Q -dən asılı olduğu üçün bu ifadədən optimal sərfin qiyməti 0.001% dəqiqliklə hesablanır. Bunun üçün 1-ci addımda Q -nin qiyməti borudan faktiki axan qarışığın sərfinə bərabər qəbul edilir, K_{1i} və $Q_{opt,i}$ hesablanır. Sonrakı addımlarda K_{1i} qiymətini hesablamaq üçün Q -nin qiyməti $Q_{opt,(i-1)}$ -in qiymətinə bərabər edilir. Lazımi dəqiqlik alınandan sonra optimal sərfin $Q_{opt,i}$ -in son qiymətinə bərabər qəbul edilir.

Beləliklə, (7) ifadəsinə əsasən xüsusi enerji sərfinin qiymətləndirilməsi əsasında flüid kəmərinin optimal sərfini hesablamaq olar.

Toxunan üsuluna əsasən qiymətləndirmə

Toxunan üsulu ilə qiymətləndirməyə əsasən flüid kəmərinin optimal sərfinin təyini üçün analitik üsulun işlənməsi məqsədilə toxunma nöqtəsində $(\Delta p)' = k$ olduğunu qəbul edək. Bu nöqtə toxunanla $\Delta P=f(Q)$ əyrisinin orta nöqtəsidir. Onda aşağıdakı ifadəni alırıq:

$$(\Delta p)' = k = A_1(B_1 + 2)Q^{B_1+1} + (2A_2Q^{-1} \times \ln(Q) + B_2Q^{-1})e^{A_2\ln^2(Q)+B_2\ln(Q)+C_2} \quad (8)$$

Toxunma nöqtəsində toxunanın və $\Delta P=f(Q)$ əyrisinin ümumi nöqtəsinin ordinatları bərabər olduğunu nəzərə alsaq:

$$\begin{aligned} \Delta p &= A_1Q^{B_1+2} + e^{A_2\ln^2(Q)+B_2\ln(Q)+C_2} = kQ \\ &= Q[A_1(B_1 + 2)Q^{B_1+1} + (2A_2Q^{-1}\ln(Q) + \\ &+ B_2Q^{-1})e^{A_2\ln^2(Q)+B_2\ln(Q)+C_2}] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_1Q^{B_1+2} + e^{A_2\ln^2(Q)+B_2\ln(Q)+C_2} &= \\ = A_1(B_1 + 2)Q^{B_1+2} + (2A_2\ln(Q) + \\ + B_2)e^{A_2\ln^2(Q)+B_2\ln(Q)+C_2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_1Q^{B_1+2} - A_1(B_1 + 2)Q^{B_1+2} &= \\ = 2A_2\ln(Q) + B_2 - 1)e^{A_2\ln^2(Q)+B_2\ln(Q)+C_2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_1(B_1 + 1)Q^{B_1+2} &= (2A_2\ln(Q) + \\ + B_2 - 1)e^{A_2\ln^2(Q)+B_2\ln(Q)+C_2} \end{aligned}$$

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

Sonuncu ifadə (6) tənliyi ilə eyni alındığından, sonrakı əməliyyatları aparmadan flüid kəmərinə sərfin optimal qiymətini

hesablamaq üçün (7) ifadəsi ilə eyni olan aşağıdakı düsturu alırıq:

$$Q_{opt} = e^{\frac{-(B_2 - K_2) + \sqrt{(B_2 - K_2)^2 - 4A_2(C_2 - \ln(K_1))}}{2A_2}} \quad (9)$$

Göründüyü kimi (7) və (9) analitik ifadələri eynidir. Yəni hər iki üsulla hesablanmış neft-qaz qarışığının optimal sərfinin qiyməti eyni olacaqdır.

Flüid kəmərlərinin energetik xüsusiyyətlərinin təhlili məqsədilə “Günəşli” yatağının timsalında retrospektiv məlumatlar əsasında flüid kəmərləri üçün [3, 4, 7-10] hidravlik hesablamalar aparmaq üçün Microsoft Excel sistemində makroslardan istifadə etməklə xüsusi proqram tərtib olunmuş və 15 və 5-ci özüllər arası “15-5”, 5 və 2-ci özüllər arası “5-2” və 8 ilə 13-cü özüllər arası “8-13” sualtı flüid kəmərləri üçün sınaqdan keçirilmişdir.

Həmin kəmərlərin həndəsi ölçüləri və faktiki rejim göstəriciləri cədvəl 1-də verilmişdir. Flüid kəmərlərinin hidravlik hesablanması nəticələri isə cədvəl 2-də göstərilmişdir.

İşlənən proqram təminatlı diaqnostik metodikaya əsasən aparılmış hesablamaların nəticələrinə görə flüid kəmərləri üçün $\Delta P=f(Q)$, $\Delta P/Q=f(Q)$ asılılıqları qurulmuş, onların optimal və faktiki iş rejimləri müqayisə edilmiş və yüklənmə dərəcələri müəyyənləşdirilmişdir.

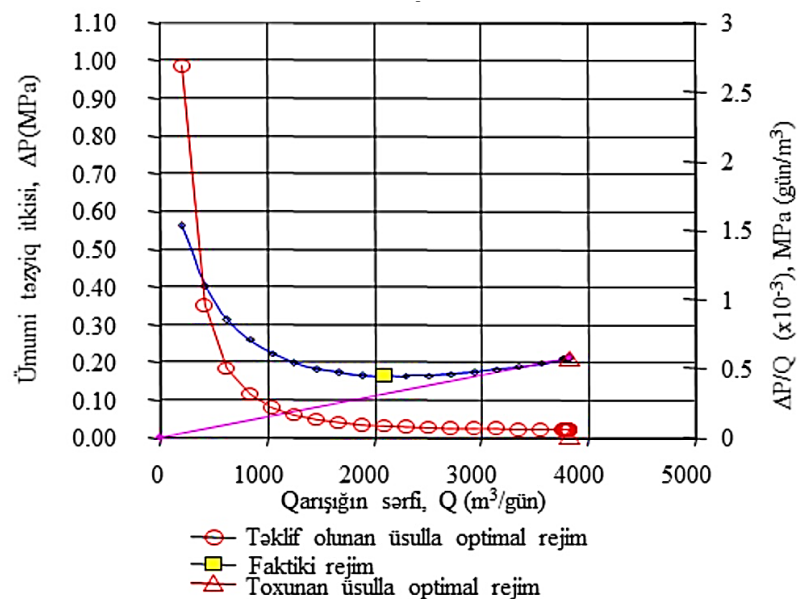
Qeyd olunan asılılıqlar uyğun olaraq, şəkil 1-3-də göstərilmişdir. Həmin şəkillərdə yuxarıda qeyd olunan analitik üsula əsasən təyin edilmiş sərfin optimal qiyməti müvafiq əyrilər üzərində qeyd olunmuşdur. Həmin qrafiklərdə həmçinin sualtı flüid kəmərlərinin faktiki sərf göstəriciləri də verilmişdir. Şəkillərdən göründüyü kimi, baxılan kəmərlərin heç biri optimal iş rejimində işləmir (yüklənmə dərəcələri aşağıdır).

Cədvəl 1 – “Günəşli” yatağının sualtı flüid kəmərlərinin həndəsi ölçüləri və faktiki rejim göstəriciləri
Table 1 – Geometrical dimensions and actual regime indicators of the underwater fluid pipelines of “Gunashli” field

Özüllər arası kəmərlər	Flüid kəmərlərinin həndəsi ölçüləri				Təzyiq		Sərflər	
	uzunluğu	diametri	qalxma hündürlüyü	enmə hündürlüyü	başlanğıc	son	neft	qaz
	L	D	h_{qal}	h_{en}	p_b	p_s	Q_n	Q_q
	m	m	m	m	MPa	MPa	m ³ /gün	m ³ /gün
15-5	1200	0.325	122	119	2.13	1.67	2000	780000
5-2	1100	0.325	119	108	1.67	1.33	536	252050
8-13	1600	0.325	159	160	2.79	2.28	258	35000

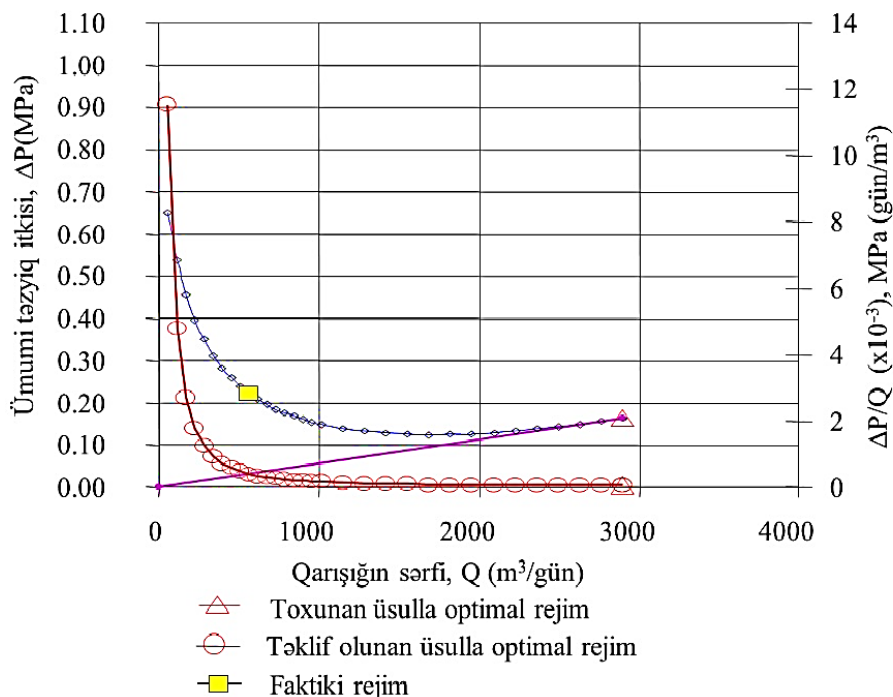
Cədvəl 2 – Sualtı flüid kəmərlərinin hidravlik hesablanması nəticələri
Table 2 – Results of hydraulic calculation of underwater fluid pipelines

Özüllər arası kəmərlər	Neft-qaz axınlarının faktiki rejim göstəriciləri					Ümumi təzyiq itkiləri
	Nəql şəraitində qarışığın sərfi	Axının orta sürəti	Hidravlik müqavimət əmsali	$\Delta P = aQ^2 + b$ modelində a və b –nin faktiki qiymətləri		
	Q_{nq}	v_{qar}	λ	a_{fak}	b_{fak}	Δp
	m ³ /gün	m ³ /s				MPa
15-5	2096	6.50	0.0128	$1.166 \cdot 10^{-8}$	0.1101	0.161
5-2	563	2.65	0.0153	$1.996 \cdot 10^{-8}$	0.2159	0.222
8-13	275	0.22	0.0261	$0.6507 \cdot 10^{-8}$	0.9850	0.986



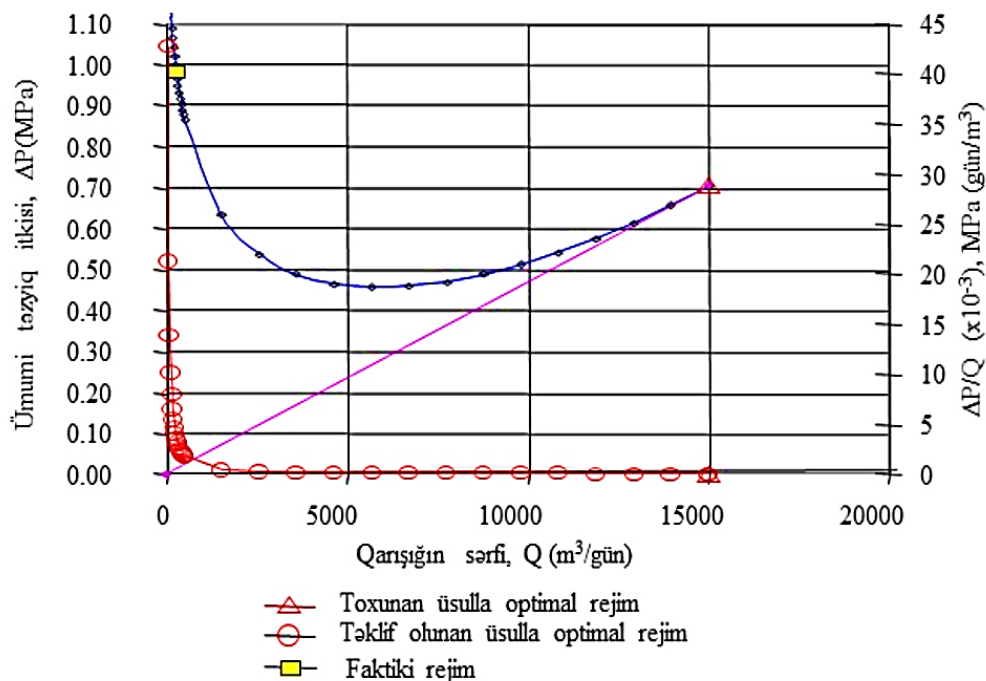
Şəkil 1 – “15-5” sayılı sualtı flüid kəmərinin optimal iş rejiminin təyini (“Günəşli” yatağı)

Figure 1 – Determination of the optimal operating mode of the underwater fluid pipelines “15-5” (“Gunashli” field)



Şəkil 2 – “5-2” sayılı sualtı flüid kəmərinin optimal iş rejiminin təyini (“Günəşli” yatağı)

Figure 2 – Determination of the optimal operating mode of the underwater fluid pipeline “5-2” (“Gunashli” field)



Qeyd: Şəkillərdəki optimal iş rejiminin göstəriciləri analitik üsulla dəqiqləşdirilmişdir.

Şəkil 3 – “8-13” sayılı sualtı flüid kəmərinin optimal iş rejiminin təyini (“Günəşli” yatağı)

Figure 3 – Determination of the optimal operating mode of the underwater fluid pipeline “8-13” (“Gunashli” field)

Nəticə

Sualtı dəniz flüid kəmərlərinin optimal iş rejiminin təyini üçün analitik üsul işlənmiş və sınaqdan çıxarılmışdır.

Retroməlumatların (2009-cu il) təhlili nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, “Günəşli” dəniz yatağının quyu məhsullarının yığılı və nəqlini həyata keçirən flüid kəmərlərinin yüklənmə dərəcələri aşağıdır və onların optimal iş rejiminin təmini üçün kəmərlər

əlavə yüklənməlidir. Həmin kəmərlər üçün xüsusi enerji sərfinin minimum qiymətə çatması, yəni, iş rejiminin optimallaşdırılması, hasilat quyularının iş rejimlərinin optimallaşdırılması üçün çox vacibdir.

Maraqlar münaqişəsi

Müəlliflər bu məqalədə araşdırılması tələb olunan maraqlar münaqişəsinin olmadığını qeyd edirlər.

REFERENCES

1. **Mirzadzadzade A.X., Suleymanov A.B.** Morskoy nefti – bolşoe budujee. *İzv.vuzov. Neft i qaz*, 1989, №6, s.37-40 (in Russian)
2. **Suleymanov A.B.** i dr. Eksplyuatsiya morskix nefteqazovix mestorojdeniy. M.: Nedra, 1986, 284 s. (in Russian)
3. **Sattarov R.M., Kiyasbeyli T.N. İsmayilov Q.Q. i dr.** Metodika qidravliceskoqo rasceta parametrov optimalnoqo rejima raboti morskix podvodnix truboprovodov pri sovmeştnom dvijenii nefti i qaza. Baku: Azinefteximia, 1990, 20 s. (in Russian)
4. **Qujov A.İ.** Sovmeştny sbor i transport nefti i qaza. M.: Nedra, 1973, 280 s. (in Russian)
5. **İsmailova F.B.** Ob odnom sposobe analiza raboti truboprovodov v slojnoj seti sbora produkcii skvajin /69-aya Mejdunarodnaya Molodejnaya Konferensiya «Neft i qaz – 2015». M., 14-16 aprely 2015, 345s. (in Russian)
6. **Korn Q., Korn T.** Spravocnik po matematike (dlya naucnix rabotnikov i injenerov). M.: Nedra, 1977, 832 s. (in Russian)
7. **Standing M.** Volumetric and Phase Behavior of oil Field Hydrocarbon Systems, 1977, p. 26-122 (in English)
8. **Basniev K.S., Dimitriev N.M., Rozenberq Q.D.** Nefteqazovaya qidromexanika. Ucebnoye posobiye dlya vuzov. M.-İjevsk. Institut kompyuternix issledovaniy. 2005, 544 s. (in Russian)
9. **Qricenko A.N., Klapcuk O.V. Xarcenko Y.A.** Qidrodinamika qazojdkostnix smesey v skvajinax i truboprovodax. M.:Nedra, 1994, 279 s. (in Russian)
10. **Ismayilov G.G., Adigezalova M.B., Ismayilova F.B., Zeynalova G.A.** Study of the effect of ballast on the macroscopic parameters of oil mixtures. *Herald of the Azerbaijan Engineering Academy*, 2020, vol. 12, № 1, s. 51-59 (in English)