

# Üfüqi quyuya qərarlaşmış rejimdə qaz axını prosesinin modelləşdirilməsi

**S.D. Məhərrəmovə**

Neft və Qaz İnstitutu

**Açar sözlər:** üfüqi quyuy, qazın sıxılma əmsali, keçiricilik, təzyiç, qərarlaşmış rejim.

DOI.10.37474/0365-8554/2023-02-21-26

e-mail: meherremisamire80@mail.ru

## Моделирование процесса стационарного течения газа к горизонтальной скважине

С.Д. Магеррамова  
Институт нефти и газа**Ключевые слова:** горизонтальная скважина, коэффициент сжимаемости газа, проницаемость, давление, стационарный режим.

Процесс разработки газовой залежи в стационарном режиме горизонтальной скважиной моделировался в рамках совместной комбинации уравнений фильтрации газа в пласте, течения газа в стволе скважины и балансового уравнения поступления газа из пласта в горизонтальный ствол и оценено влияние геолого-технологических факторов на выбор оптимальной конструкции, обеспечивающей эффективность разработки. При перемещении горизонтального ствола от подошвы пласта к его центральной части установлена динамика увеличения дебита скважины и в направлении от центральной части к сводовой части пласта – динамика снижения. Показано, что при одних и тех же данных геологических условий, и свойств пласта максимальный дебит горизонтальной скважины получается в изотропных пластах, и после определенного значения длины ствола скважины её удлинение не влияет на дебит скважины.

## The modeling of the process of stationary gas flow to the horizontal well

S.D. Maharramova  
Institute for Oil and Gas**Keywords:** horizontal well, gas deviation factor, permeability, pressure, stationary mode.

The development process of a gas deposit in the stationary mode with a horizontal well was modeled within combined equations of gas filtration in the formation, as well as the gas flow in the borehole and balance equation of gas intake from formation into the horizontal shaft and the effect of the geological-technological aspects on the selection of an optimum structure providing the efficiency of development was estimated. During the displacement of the horizontal shaft from the formation bottom towards its central part, the dynamics of the increase of well flow rate, and from the central part to the attic zone the dynamics of decrease of flow rate have been set. It is shown that in the same data of geological conditions, and formation properties, the maximum flow rate of a horizontal well is achieved in the isotropic layers, and after a definite length of wellbore, its extension does not affect the well flow rate.

Neft və qaz yataqlarının üfüqi quyuların tətbiqlə istismarı üsulu hasilatın artırılması baxımından neftqazçıxarma sənayesinin ən vacib prioritet istiqamətlərindən hesab edilir. Üfüqi quyuların tətbiqindən çətin çıxarılabılən neft-qaz və qaz-kondensat ehtiyatlarının, enerji resursları tükənməkdə olan yataqların istismarında və ümumiyyətlə, şaquli quyuların tətbiqlə lazım olan karbohidrogen ehtiyatlarını əldə etmək mümkün olmadıqda istifadə olunur.

Üfüqi quyuların tətbiqlə bağlı neft və qaz yataqlarının işlənməsi üzrə müəyyən qoyuluşlu hidrodi-

namik məsələlər həll edilmiş və səmərəli təkliflər verilməklə praktikada tətbiqi üçün təqdim olunmuşdur [1–6].

Praktiki olaraq qaz və qaz-kondensat laylarına qazılmış horizontal lüləyə axın məsələləri demək olar ki, araşdırılmamışdır.

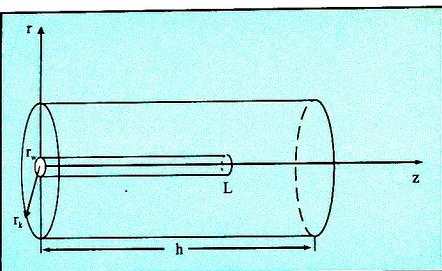
İstismar quyusunun rejimi və işlənmə göstəricilərinin proqnozlaşdırılmasının əsaslandırılmasında layın məhsuldarlığı (quyu debiti) əsas sayılır. Quyu debiti ilə layda depressiya (quyudibi təzyiq) arasındakı əlaqənin öyrənilməsi üzrə aparılan tədqiqatların nəticələrinə görə müəyyən edilir. Məlum debit və qazılma dərəcəsinə görə lülədə təzyiqlərinin minimallaşdırılması zəruriliyi nəzərə alınmaqla qoruyucu kəmərin və fontan lüləsinin konstruksiyası seçilir. Üfüqi quyunun istifadəsində də lülənin üfüqi hissəsinin uzunluğu, endirilən fontan dək təzyiqlə itkisi həmin itkiyə əlavə olunur. Bu itkilər lülənin üfüqi hissəsinin uzunluğu, endirilən fontan lüləsinin uzunluğu və diametri, uyğun layçıqların açılma xüsusiyyəti, layın daban və tavanına nəzərən lülənin süzgec hissəsinin paylanması və quyuağzı təzyiqlərinin seçilməsinin əsaslandırılması yolu ilə aşağı salına bilər.

Üfüqi quyunun optimal konstruksiyasının təyin edilməsində məhsuldarlığa təsir edən əsas amillər üç qrupa bölünür: geoloji, texniki və texnoloji [7].

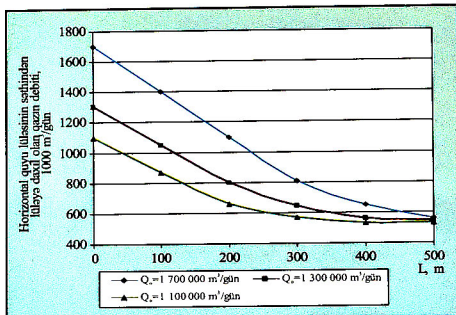
Üfüqi qaz quyularının məhsuldarlığına təsir edən ən vacib amillər aşağıdakılardır: üfüqi qaz quyusunun drenaj zonası; drenaj zonasının verilmiş formasından asılı qidalanma konturunun şərti radiusu; layın açılma xüsusiyyəti; hər bir layın açılma dərəcəsi; qidalanma konturuna və layın hündürlüyü üzrə üfüqi lülənin yerləşməsi; üfüqi lülənin yerləşmə vəziyyətini və ağırlıq qüvvəsini nəzərə almaqla lay təzyiqinin qiyməti, layın keçiriciliyi, anizotropiya parametrləri, qoruyucu kəmərin və fontan borusunun diametri və uzunluğu, quyudibi təzyiqi.

Üfüqi quyunun məhsuldarlığına quyu lüləsinin profili, lülənin uzunluğu üzrə perforasiya və süzgec hissələrinin paylanması, lülədə bütün növ hidravlik müqavimətlərin təsirləri öyrənilməmişdir.

Bu səbəbdən üfüqi quyuların tətbiqlə bağlı qaz və qaz-kondensat yataqlarının işlənilməsi üzrə daha geniş sınıf hidroqazodinamik məsələlərə baxılması xüsusi aktualıq kəsb edir.



Şəkil 1. Layın üfüqi quyu ilə istismarının təsvir sxemi



Şəkil 2. Üfüqi quyu lüləsinin səthindən lüləyə daxil olan qazın debiti

Qərarlaşmış rejimdə birincins dairəvi anizotrop layda, layın daban müstəvisindən müəyyən  $r_0 (0 \leq r_0 \leq 2r_k)$  məsafədə yerləşən müstəvi üzərində, lülənin uzunluğu, ümumi halda  $L$  olan üfüqi quyuya qaz axını (şəkil 1) aşağıdakı tənliklər sistemi ilə modelləşdirilir:

– kəsilməzlik tənliyi

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r k_r p \beta \frac{\partial p}{\partial r}) + \frac{\partial}{\partial z} (k_z p \beta \frac{\partial p}{\partial z}) = 0, D = (r_w \leq r \leq r_k, 0 \leq z \leq h), \quad (1)$$

– laydan quyu lüləsinə daxil olan qazın debitinin tənliyi

$$2\pi r_w \int_0^z k_r p \beta \frac{\partial p(r, z)}{\partial r} dz = -Q^w(z), \quad (2)$$

– quyu lüləsində hərəkət tənliyi

$$\frac{\partial p^w(z)}{\partial z} = FQ^w(z), p(r_w, z) = p^w(z), z \in \Gamma, \quad (3)$$

burada  $r, z$  – fəza koordinatları;  $k_r, k_z$  – məsaməli mühitin  $r$  və  $z$  üzrə mütləq keçiricilikləri,  $(10^{-12} \text{ m}^2)$ ;  $\mu$  – qazın özlülük əmsalı,  $\text{mPa} \cdot \text{s}$ ;  $D$  – qazın süzülmə sahəsi;  $r_w$  – üfüqi quyu konturunun radiusu,  $m$ ;  $h$  – qidalanma konturunun uzunluğu,  $m$ ;  $r_k$  – layın hündürlüyünün yarısını ifadə edir ( $r_k = h/2$ ),  $m$ ;  $p(r, z)$  və  $p^w(z)$  – layda və quyu lüləsində təzyiqlər,  $\text{MPa}$ ;  $\Gamma = (z_{\min}, z_{\max})$  – axının daxil olduğu quyunun  $L = z_{\max} - z_{\min}$

lüləsinin səthi;  $Q^w(z)$  – quyunun  $L$  lüləsinin səthindən daxil olan qazın hasilatı,  $\text{m}^3/\text{gün}$ ;  $F = \frac{8\mu}{\pi r_w^4}$  – sür-

tümmə funksiyası;  $\beta = \frac{T}{T_{at}}$  – temperatur düzəliş əmsalı;  $T, T_{at}$  – məhsuldar layın cari və atmosfer şəraitinə

uyğun olan temperatur;  $Z$  – qazın sıxılma əmsalıdır.

Qəbul olunur ki, qazın layda süzülməsi xətti Darsi qanununa tabedir və quyu lüləsində axın laminardır.

(1)-(3) tənliklər sistemi aşağıdakı sərhəd şərtləri daxilində həll edilməklə

$$2\pi h \frac{k_z p \beta}{\mu Z p_{at}} \frac{\partial p}{\partial z} \Big|_{z=0, h} = 0, \quad (4)$$

$$p(r_k, z) = p_k(z), \quad (5)$$

$$Q^w(z) \Big|_{z=0} = Q_0, \quad (6)$$

naməlum  $p(r, z), p^w(z)$  və  $Q^w(z)$  funksiyaları təyin edilir. Burada  $Q(z) - L$  lüləsinin  $\Gamma$  səthinin vahid uzunluğundan daxil olan qazın hasilatıdır,  $\text{m}^3/\text{gün}$ .

(1)-(3) sisteminin (4)-(6) sərhəd şərtləri daxilində həlli aşağıdakı sonlu fərqli tənliklər sisteminin həllindən alınır [8, 9]:

$$\frac{1}{r_i} \frac{1}{\Delta r_i} \left[ r_{i+1/2} k_{r_{i+1/2, j}} \phi_{i+1/2, j} \frac{P_{i+1, j} - P_{i, j}}{\Delta r_{i+1/2}} - r_{i-1/2} k_{r_{i-1/2, j}} \phi_{i-1/2, j} \frac{P_{i, j} - P_{i-1, j}}{\Delta r_{i-1/2}} \right] + \frac{1}{\Delta z_j} \left[ k_{z_{i+1/2, j}} \phi_{i+1/2, j} \frac{P_{i, j+1} - P_{i, j}}{\Delta z_{i+1/2}} - k_{z_{i-1/2, j}} \phi_{i-1/2, j} \frac{P_{i, j} - P_{i, j-1}}{\Delta z_{i-1/2}} \right] = 0, \quad (7)$$

$$Q_j^w(z_j) = -2\pi r_w \int_0^{z_j} k_r \phi_{i, j} \frac{P_{i+1, j} - P_{i, j}}{\Delta r_i} dz_j, \quad (8)$$

$$P_{i, j+1}^w = P_{i, j}^w + \Delta z_j F Q_j^w, \quad (9)$$

$$2\pi h k_{z_0} \phi_{i, 0} \frac{P_{i, 1} - P_{i, 0}}{\Delta z_1} = 0, \quad 2\pi h k_{z_{N_z}} \phi_{i, N_z} \frac{P_{i, N_z+1} - P_{i, N_z}}{\Delta z_{N_z}} = 0, \quad (10)$$

$$P_{N_r, j}^w = P_{k, j}^w, \quad (11)$$

$$Q_0^w = Q_0, \quad (12)$$

burada  $\phi_{i, j} = \frac{P_{i, j} \beta}{\mu_j Z_{i, j} p_{at}}$ ,  $\Delta r_i = \frac{1}{2} (\Delta r_{i+1/2} + \Delta r_{i-1/2})$ ,  $i = 1, N_r$ ,  $r_i = r_w, r_{N_r} = r_k$ ,

$$N_{r_i} = N_r + 1, \Delta r_{i+1/2} = \frac{1}{2}(\Delta r_{i+1} + \Delta r_i), i = \overline{1, N_r},$$

$$\Delta z_j = \frac{1}{2}(\Delta z_{j+1/2} + \Delta z_{j-1/2}), j = \overline{0, N_z}, z_1 = 0, z_{N_z} = l_z, N_{z_1} = N_z + 1,$$

$$\Delta z_{j+1/2} = \frac{1}{2}(\Delta z_{j+1} + \Delta z_j), j = \overline{1, N_z}.$$

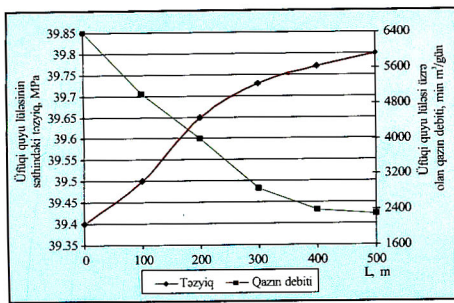
(7)-(12) sisteminin həll algoritmi aşağıdakı ardıcılıqla yerinə yetirilir: layda təzyiğin paylanması (7) tənliklərindən nöqtəli Gauss üsulu ilə tapılır, sonra isə (8) tənliyindən üfqi quyu lüləsinin səthində lüləyə daxil olan qazın debiti, (9) tənliyindən üfqi quyu lüləsinin səthində təzyiç aşkar şəkildə təyin edilir [8].

Təklif olunan hesablama algoritmi əsasında layın və üfqi quyunun parametrlərinin aşağıda verilən məlum qiymətləri daxilində

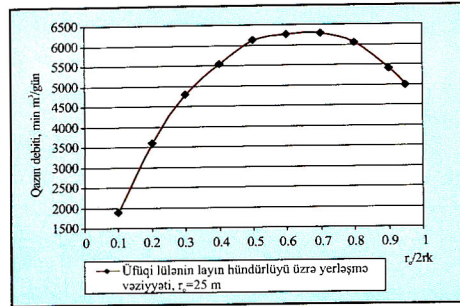
$$r_k = 25 \text{ m}, r_w = 0.1, h = 1000 \text{ m}, r_0 = 25 \text{ m}, m = 0.15, k_r = k_z = 0.1 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2, \\ p_{at} = 0.1 \cdot 10^6 \text{ Pa}, p_k = 40 \text{ MPa} = 40 \cdot 10^6 \text{ Pa}, T_{at} = 20 + 273 = 293^\circ \text{ K}, Z = 0.9,$$

$$\mu = 0,012 \cdot 10^6 \text{ Pa} \cdot \text{s}, \beta = \frac{T_{at}}{T} = 0.854, L \in [0, 500],$$

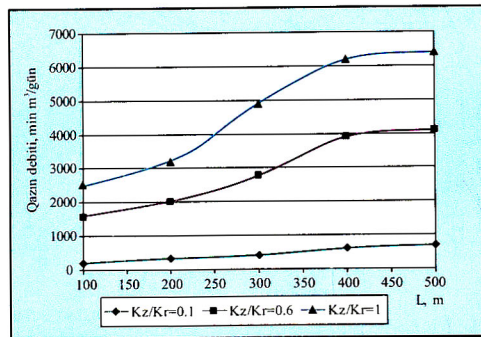
üfqi qaz quyusu lüləsinin səthi üzrə təzyiğin və üfqi lülənin səthindən lüləyə daxil olan qazın debitinin paylanması və digər texnoloji göstəricilər təyin edilmiş və nəticələr şəkil 2-5-də təqdim edilmişdir.



Şəkil 3. Qaz debiti və təzyiğin üfqi quyu lüləsinin uzunluğu üzrə paylanması



Şəkil 4. Qaz debitinin üfqi quyu lüləsinin layın hündürlüyü üzrə yerləşmədən asılılığı



Şəkil 5. Layın anizotropiyasının müxtəlif qiymətlərində üfqi quyu debitinin lülənin uzunluğundan asılılığı

Şəkil 2-dən görünür ki, üfqi quyu lüləsinin uzunluğu artdıqca lülənin səthindən ona daxil olan qazınləbiti azalır və lülənin uzunluğunun müəyyən qiymətindən sonra lülənin uzanması quyunun debitinə əhəmiyyətli dərəcədə təsir etmir.

Şəkil 3-də qazın debiti və təzyiğin üfqi quyu lüləsinin uzunluğu üzrə paylanması göstərilmişdir. Üfqi lülənin başlanğıcından sonuna doğru lülə səthində təzyiçlər fərqi təcridən azalması və buna uyğun olaraq üfqi lüləyə daxil olan qazın debitinin aşağı düşməsi baş verir.

Şəkil 4-də üfqi lülənin layın hündürlüyü üzrə yerləşmədən asılı olaraq quyunun qaza görə debitinin dəyişmə dinamikası göstərilmişdir. Hündürlük üzrə üfqi lülənin yerinin layın dabanından başlayaraq mərkəzi hissəsinə yerdəyişməsi zamanı qaz hasilatının dinamikasında artma, mərkəzindən tavana doğru isə azalma baş verir.

Şəkil 5-dən görünür ki, üfqi quyunun maksimal debiti izotrop laylarda alınır, yəni anizotropiya əmsalı vahidə bərabər olduqda alınır. Layın anizotropiya əmsalının 0.1 və 0.6 qiymətlərində geoloji şəraitin və layın süzülmə-tutum xassələrinin eyni verilənləri üçün üfqi quyunun məhsuldarlığı izotrop layın məhsuldarlığı ilə müqayisədə 10.08 və 1.4 dəfə azalır.

Bələliklə, qaz layının üfqi quyu ilə işlənilməsi prosesi qazın layda süzülmə, quyu lüləsində axın, laydan üfqi lüləyə daxil olmasının balans tənliyinin birgə kombinasiyası çərçivəsində modelləşdirilmiş və işlənilmənin effektivliyini təmin edən optimal konstruksiyanın seçilməsində zəruri olan bir sıra geoloji və texnoloji amillərin təsirləri qiymətləndirilmişdir.

### Nəticə

1. Anizotrop qaz layında üfqi quyuya axın məsələsinin hesablanma üsulu işlənilmişdir. Müəyyən olunmuşdur ki, üfqi quyunun maksimal debiti izotrop laylarda alınır, yəni anizotropiya əmsalı vahidə bərabər olduqda alınır. Layın anizotropiya əmsalının 0.1 və 0.6 qiymətlərində geoloji şəraitin və layın süzülmə-tutum xassələrinin eyni verilənləri üçün bu quyunun məhsuldarlığı izotrop layın məhsuldarlığı ilə müqayisədə 10.08 və 1.4 dəfə azalır.

2. Müəyyən uzunluqda seçilmiş üfqi lülənin layın hündürlüyü üzrə yerləşmədən asılı olaraq quyu hasilatının dəyişmə dinamikası tədqiq edilmişdir. İşlənilmədə üfqi lülənin lay tavanından onun mərkəzi hissəsinə yerdəyişməsi zamanı quyu hasilatının dinamikasında artma, mərkəzindən tavana doğru isə azalma müəyyən edilmişdir.

3. Üfqi quyu lüləsinin uzunluğu artdıqca lülənin səthindən ona daxil olan qazın debiti azalır və lülənin uzunluğunun müəyyən qiymətindən sonra lülənin uzanması quyu debitinə təsir etmir.

### Ədəbiyyat siyahısı

1. Алиев З.С., Сомов Б.Е., Чекушин Б.Ф. Обоснование конструкции горизонтальных и многоствольно-горизонтальных скважин для освоения нефтяных месторождений. – М.: "Техника", ООО "Тума групп", 2001, 192 с.
2. Алиев З.С., Шеремет В.В. Определение производительности горизонтальных скважин, вскрывших газовые и газонефтяные пласты. – М.: Недра, 1995, 131 с.
3. Алиев З.С., Бондаренко В.В. Исследование горизонтальных скважин. – М.: Изд-во "Нефть и газ", 2004, 300 с.
4. Басниев К.С., Алиев З.С., Черных В.В. Методы расчета дебитов горизонтальных скважин. – М.: ИРЦ "Газпром", 1999, 215 с.
5. Закиров С.Н. Разработка газовых, газоконденсатных и нефтегазоконденсатных месторождений. – М.: Струна, 1998, 628 с.
6. Оруджалиев Ф.Г., Джалалов Г.И., Маггеррамов Э.С. К моделированию притока жидкости к горизонтальным скважинам // Изв. АН Азербайджана, сер. Наука о Земле, 1995, № 1-3, с. 33-39.
7. Байскова О.В., Гроиская А.А. Сопротивление методов моделирования изменения продуктивности газовых скважин, обусловленного явлением динамической конденсации на примере месторождения / Сборник докладов 6-ой региональной научно-технической конференции молодых специалистов ОАО "ТомскНИПИнефть". – Томск: ТМЛ-Пресс, 2013, 330 с.
8. Азиз Х., Сеттару Э. Математическое моделирование пластовых систем: пер. с английского. – М.: Недра, 1982, 407 с.
9. Feyzullayev X.A., Məhərrəmov S.D. Tükənmə rejimində bir neçə tədris edilmiş qaz layının eyni quyular şəbəkəsi ilə istismarı prosesinin modelləşdirilməsi // Azərbaycan neft təsərrüfatı, 2016, № 12, s. 24-29.

## References

1. Aliyev Z.S., Somov B.E., Chekushin B.F. Obosnovanie konstruksii gorizonta'l'nykh i mnogostvol'no-gorizonta'l'nykh skvazhin dlya osvoyeniya neftyanykh mestorozhdeniy. – M.: "Tekhnika", OOO "Tuma grupp", 2001, 192 s.
2. Aliyev Z.S., Sheremet V.V. Opredelenie proizvoditel'nosti gorizonta'l'nykh skvazhin, vskryvshikh gazovye i gazoneftyanye plasty. – M.: Nedra, 1995, 131 s.
3. Aliyev Z.S., Bondarenko V.V. Issledovanie gorizonta'l'nykh skvazhin. – M.: Izd-vo "Nef't' i gaz", 2004, 300 s.
4. Basniyev K.S., Aliyev Z.S., Chernykh V.V. Metody raschyota debitov gorizonta'l'nykh skvazhin. – M.: IRTS "Gazprom", 1999, 215 s.
5. Zakirov S.N. Razrabotka gazovykh, gazokondensatnykh i neftegazokondensatnykh mestorozhdeniy. – M.: Struna, 1998, 628 s.
6. Orudzhaliev F.G., Dzhalalov G.I., Magerramov E.S. K modelirovaniyu pritoka zhidkosti k gorizonta'l'nykh skvazhinam // Izv. AN Azerbaidzhana, ser. Nauka o Zemle, 1995, No 1-3, s. 33-39.
7. Bayskova O.V., Groiskaya A.A. Soprotivlenie metodov modelirovaniya izmeneniya produktivnosti gazovykh skvazhin, obuslovlennogo yavleniyem dinamicheskoy kondensatsii na primere mestorozhdeniya / Sbornik dokladov 6-oy regional'noy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii molodykh spetsialistov, OAO "TomskNIPIneft". – Tomsk: TML-Press, 2013, 330 s.
8. Aziz Kh., Settari E. Matematicheskoe modelirovanie plastovykh sistem: per. s angliyskogo. – M.: Nedra, 1982, 407 s.
9. Feyzullayev Kh.A., Maharramova S.D. Tukenme rezhiminde bir neche tedrij edilmish gaz layinin cyni guyular shebekesi ile istismariy prosesinin modelleshdirilmesi // Azerbajjan neft teserrufaty, 2016, No 12, s. 24-29.