

Lay-quyu sistemində qaz-kondensat qarışığının axın prosesinin modelləşdirilməsi

S.A. Səlimova

Neft və Qaz İnstitutu

Açar sözlər: lay-quyu sistemi, qazohidrodinamik model, kondensatlaşdırma, təzyiç, keçiricilik.

DOI.10.37474/0365-8554/2023-04-17-21

e-mail: salimova.sonaxanim@mail.ru

Моделирование процесса течения газоконденсатной смеси в системе пласт–скважина

С.А. Салимова

Институт нефти и газа

Ключевые слова: система пласт–скважина, газогидродинамическая модель, конденсатонасыщенность, давление, проницаемость.

В статье с учетом динамической связи системы пласт–скважина предложено газогидродинамическое моделирование процесса разработки газоконденсатного пласта в режиме истощения на основе уравнений движения газожидкостной смеси в пласте и стволе скважины, и на его основе разработан алгоритм расчета, позволяющий с известными значениями устьевых параметров определить забойное и пластовое давления, технико-технологические показатели разработки пласта. По данным конкретной модели оценивались технологические показатели процесса.

The modeling of the flow process of gas-condensate mixture in the formation–well system

S.A. Salimova

Institute for Oil and Gas

Keywords: formation-well system, gas-hydrodynamic model, condensate saturation, pressure, permeability.

The gas-hydrodynamic modeling of the exploration process of a gas-condensate formation in the depletion mode based on the equations of the movement of gas-condensate mixture in formation and borehole is offered; on its basis, a calculation algorithm enabling to define bottomhole and formation pressure, as well as the technical-technological parameters of the reservoir production with known wellhead parameters are developed. Technological parameters of the process were estimated according to the data of a specific model.

Anomal yüksək təzyiçə (AYT) malik neft-qaz yataqlarında quyudibi təzyiçin və lay parametrlərinin qiymətlərinin ölçülməsi üçün aparılacaq əməliyyatlar böyük çətinliklərlə bağlı olur. Ona görə də AYT neft və qaz yataqlarının işlənməsində quyuağzı istismar parametrləri əsasında lay-quyu sisteminin dinamik əlaqəsi nəzərə alınmaqla quyudibi təzyiçin nəzəri yollarla təyini istismar prosesində texniki təhlükəsizliyə ciddi riayət etməyi və quyudibi təzyiçin ölçülməsi üçün nəzərdə tutulan dərinlik ölçmə əməliyyatlarının aradan qaldırılmasını təmin etmiş olar. Bu baxımdan maye və qaz sisteminin quyu lüləsində kəsilməz axın tənliklərinin birgə həlli əsasında ölçülə bilən quyuağzı göstəricilərə görə quyudibi və lay təzyiçinin təyininin reallaşdırılması aktualıq kəsb edən məsələlərdən sayılır [1–3].

Lay-quyu sisteminin dinamik əlaqəsi nəzərə alınaraq quyu lüləsində qaz-maye qarışığının hərəkət tənlikləri bazasında qaz-kondensat layının tükənmə rejimində işlənməsi prosesinin modelləşdirilməsi məsələsinə baxılmışdır.

Qəbul edilir ki, keçiriciliyə görə qeyri-bircins və xarici sərhədi keçirməz olan lay R_k radiuslu dairəvi formaya malikdir. Layın xarici sərhədində konsentrasiya mərkəzlik olaraq verilən r_c radiuslu istismar quyusu açılma

Azərbaycan Milli
kitabxanası

dərəcəsi baxımından tamamlanmış hesab edilir. Başlanğıc lay təzyiqi və kondensatladoyma uyğun olaraq p_0 və s_0 qiymətləri ilə təyin edilir.

İşlənilmə zamanının ilk anından quyuağzı və quyudibində təzyiq ani olaraq $p_{q,a}$ və p_c -ə qədər azalır və sonradan t -dən asılı olaraq dəyişir. Quyudibi təzyiq və işlənilmənin digər texnoloji göstəricilərinin proqnozlaşdırılması tələb olunur.

Məsələnin həlli aşağıdakı alt məsələlərin birgə həllini tələb edir:

– qaz-kondensat sisteminin layda süzülmə tənlikləri, onun başlanğıc və sərhd şərtləri [4, 5]

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left\{ r \left(\frac{kF_q(s_k) p \beta [1 - c(p) \bar{\gamma}(p)]}{\mu_q(p) z(p) p_{am}} + \frac{kF_k(s_k) S_k(p)}{\mu_k(p) a_k(p)} \right) \frac{\partial p}{\partial r} \right\} + \frac{\partial}{\partial z} \left\{ \left(\frac{kF_q(s_k) p \beta [1 - c(p) \bar{\gamma}(p)]}{\mu_q(p) z(p) p_{am}} + \frac{kF_k(s_k) S_k(p)}{\mu_k(p) a_k(p)} \right) \frac{\partial p}{\partial z} \right\} = \frac{\partial}{\partial t} \left\{ m \left(\frac{(1 - s_k) p \beta [1 - c(p) \bar{\gamma}(p)]}{z(p) p_{am}} + s_k \frac{S_k(p)}{a_k(p)} \right) \right\}, \quad (r, z) \in D, \quad t \in (0, T), \quad (1)$$

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left\{ r \left(\frac{kF_k(s_k)}{\mu_k(p) a_k(p)} + \frac{kF_q(s_k) c(p) \beta}{\mu_q(p) z(p) p_{am}} \right) \frac{\partial p}{\partial r} \right\} + \frac{\partial}{\partial z} \left\{ \left(\frac{kF_k(s_k)}{\mu_k(p) a_k(p)} + \frac{kF_q(s_k) p c(p) \beta}{\mu_q(p) z(p) p_{am}} \right) \frac{\partial p}{\partial z} \right\} = \frac{\partial}{\partial t} \left\{ m \left(\frac{s_k}{a_k(p)} + (1 - s_k) \frac{p \beta c(p)}{z(p) p_{am}} \right) \right\}, \quad (r, z) \in D, \quad t \in (0, T), \quad (2)$$

$$p(r, z, t)|_{t=0} = p_0, \quad s_k(r, z, t)|_{t=0} = s_{k0}, \quad (r, z) \in D, \quad (3)$$

$$p|_{r=r_c} = p_c(t), \quad t \in (0, T), \quad (4)$$

$$\frac{\partial p(r, z, t)}{\partial r} \Big|_{r=R_k} = 0, \quad \frac{\partial p(r, z, t)}{\partial z} \Big|_{z=0;H} = 0, \quad t \in (0, T), \quad (5)$$

– qaz-kondensat sisteminin quyu lüləsində axın tənlikləri, onun başlanğıc və sərhd şərtləri [2, 3, 6, 7]:

$$\frac{\partial^2 u_q}{\partial t^2} + \frac{Q_0^*}{\varphi_q f} \frac{\partial^2 u_q}{\partial t \partial z} = \frac{\delta(z-0)}{\rho_q} p_c(t) - \frac{\delta(z-l)}{\rho_q} p_{q,a}(t) + \theta_q^{0^*} \frac{\partial^2 u_q}{\partial z^2} + \frac{4}{3} v_q^0 \frac{\partial^3 u_q}{\partial t \partial z^2} - \left(2h_q + \frac{K}{\rho_q} \right) \frac{\partial u_q}{\partial t} + \frac{K}{\rho_q} \frac{\varphi_m}{\varphi_q} \frac{\partial u_m}{\partial t}, \quad (6)$$

$$\frac{\partial^2 u_m}{\partial t^2} + \frac{Q_0^*}{\varphi_m f} \frac{\partial^2 u_m}{\partial t \partial z} = \frac{\delta(z-0)}{\rho_m} p_c(t) - \frac{\delta(z-l)}{\rho_m} p_{q,a}(t) + \theta_m^{0^*} \frac{\partial^2 u_m}{\partial z^2} + \frac{4}{3} v_m^0 \frac{\partial^3 u_m}{\partial t \partial z^2} - \left(2h_m + \frac{K}{\rho_m} \right) \frac{\partial u_m}{\partial t} + \frac{K}{\rho_m} \frac{\varphi_q}{\varphi_m} \frac{\partial u_q}{\partial t}, \quad (7)$$

$$\frac{\partial u_q}{\partial t} \Big|_{t=0} = 0, \quad \frac{\partial u_m}{\partial t} \Big|_{t=0} = 0, \quad u_q \Big|_{z=0} = u_m \Big|_{z=0} = 0, \quad (8)$$

$$\frac{\partial u_q}{\partial z} \Big|_{z=l} = 0, \quad \frac{\partial u_m}{\partial z} \Big|_{z=l} = 0, \quad u_q \Big|_{z=0} = u_m \Big|_{z=0} = 0, \quad (9)$$

– laydan quyu lüləsinə daxil olan qaz-kondensat sisteminin ümumi debitinin dəyişmə tənliyi [7, 8]

$$2\pi r_c \int_0^H k \left[\Psi(s_k, p) + \Phi(s_k, p) \right] \frac{\partial p}{\partial r} \Big|_{r=r_c} dz = -Q_0^*(r_c, t), \quad (10)$$

$$\frac{F_q(s_k) p \beta [1 - c(p) \bar{\gamma}(p)]}{\mu_q(p) z(p) p_{am}} + \frac{F_k(s_k) S_k(p)}{\mu_k(p) a_k(p)} = \Psi(s_k, p), \quad \frac{F_k(s_k)}{\mu_k(p) a_k(p)} + \frac{F_q(s_k) c(p) \beta}{\mu_q(p) z(p) p_{am}} = \Phi(s_k, p),$$

burada $p(r, z, t)$ – təzyiq; $s_k(r, z, t)$ – kondensatladoyma; $F_q(s_k)$ və $F_k(s_k)$ – qaz və maye fazalarına uyğun olaraq nisbi faza keçiricilikləri; $c(p)$ – qaz fazasında kondensatın miqdarı; $\bar{\gamma}(p)$ – normal şəraitdə maye və qaz fazalarında kondensatın xüsusi çəkirlərinin nisbəti; $S_k(p)$ – mayədə həll olunan qazın miqdarı; $a_k(p)$ – maye fazanın həcm əmsalı; m – məsələlik; k – keçiricilik; t – zaman; p_{am} – atmosfer təzyiqi; β və $z(p)$ – uyğun olaraq temperatur düzəlişi və qaz fazasının sıxılma əmsalları; $\mu_q(p)$ və $\mu_k(p)$ – uyğun olaraq qaz və maye fazaların özlülüyü; r_c – quyunun radiusu; D – süzülmə oblastı; u_q və u_m – uyğun olaraq quyu lüləsinin istənilən en kəsiyində qaz və maye fazalarının yerdəyişmə deformasiyası; a_q və a_m – uyğun olaraq qaz və maye fazalarında səs dalğasının yayılma sürəti; ρ_q, ρ_m – uyğun olaraq üfqi lülədə qaz və maye fazalarının sıxlığı; $p_c(t), p_{q,a}(t)$ – quyudibi və quyuağzı təzyiq; f – üfqi lülənin en kəsiyinin sahəsi; φ_q, φ_m – üfqi lülədə olan qarışıqda qaz və maye fazalarının həcmi konsentrasiyası; v_q, v_m – üfqi lülədə qaz və maye fazalarının kinematik özlülüyü; K – üfqi lülədə qaz və maye fazalararası qarşılıqlı təsir əmsalları; l – quyu lüləsinin uzunluğu; h_q, h_m – qaz və maye fazalarının müqavimət əmsalıdır.

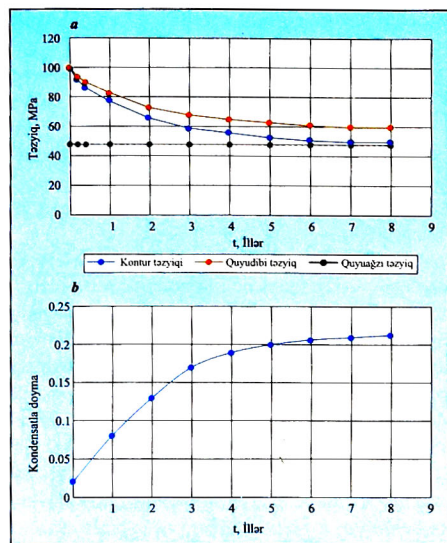
Quyuağzındakı $p_{q,a}$ təzyiqin qiyməti məlum hesab edilir. İlk zaman anında quyuuya daxil olan qaz-kondensat qarışığının və quyuağzında hasil olunan qaz-maye qarışığının $Q_0^*(r_c, t)$ qiyməti məlum qəbul edilir. Sonra başlanğıc p_0 təzyiq və s_k^0 kondensatladoyma verilənləri və məlum $Q_0^*(r_c, t)$ qiyməti, həmçinin qaz-kondensat qarışığının fiziki xassələrini xarakterizə edən parametrlərin məlum qiymətinə görə (10) tənliyindən $p_c(t)$ -in qiyməti təyin edilir. Sonra (1) – (5) və (6) – (9) sistem tənlikləri sonlu fərqlər sxeminin tətbiqi ilə həll edilərək yeni zaman addımı üçün $p, s_k, u_{q,a}$ və u_m ədədi qiymətləri tapılır. Novbəti zaman anlarında Q_0^* -in qiyməti

$$Q_0^*(r_c, t) = f \left(\varphi_q \frac{\partial u_q}{\partial t} + \varphi_m \frac{\partial u_m}{\partial t} \right)$$

ifadəsinə əsasən təyin olunur və hər bir zaman anında (10) tənliyindən qaz-kondensat qarışığının həmin zaman anına uyğun fiziki xassələrini xarakterizə edən parametrlərin qiymətləri nəzərə alınmaqla uyğun $p_c(t)$ təyin edilir və hesablama analoji olaraq təkrarlanır [7, 8].

Qaz və kondensatın fiziki xassələrini xarakterizə edən parametrlərinin təzyiqdən və nisbi faza keçiriciliklərinin kondensatladoyumluluqdan asılılığı, həmçinin başlanğıc lay parametrləri ədəbiyyatdan götürülmüşdür [7, 8]:

$$\begin{aligned} \mu_q(p) &= 0.0126 + 0.257 \cdot 10^{-4}(p/p_0) + 0.1633 \cdot 10^{-7}(p/p_0)^2, \\ \mu_k(p) &= 0.6 - 0.3295 \cdot 10^{-2}(p/p_0) + 0.1044 \cdot 10^{-4}(p/p_0)^2 - 0.1558 \cdot 10^{-7}(p/p_0)^3 + 0.85 \cdot 10^{-11}(p/p_0)^4, \\ z(p) &= 1.0 - 0.1162 \cdot 10^{-2}(p/p_0) + 0.3744 \cdot 10^{-5}(p/p_0)^2 - 0.2965 \cdot 10^{-8}(p/p_0)^3 + 0.1975 \cdot 10^{-11}(p/p_0)^4, \\ c(p) &= 0.637 \cdot 10^{-4} - 0.5057 \cdot 10^{-6}(p/p_0) + 0.6265 \cdot 10^{-8}(p/p_0)^2 - 0.1595 \cdot 10^{-10}(p/p_0)^3 + 0.13 \cdot 10^{-13}(p/p_0)^4, \\ a_k(p) &= 1.116 + 0.1157 \cdot 10^{-2}(p/p_0) + 0.23674 \cdot 10^{-6}(p/p_0)^2, \\ S_k(p) &= 0.814286(p/p_0) = 194.899 - 0.42974 \cdot 10^{-1}(p/p_0) + 0.1335 \cdot 10^{-4}(p/p_0) - 0.6053 \cdot 10^{-6}(p/p_0)^3 + \\ &+ 0.622 \cdot 10^{-9}(p/p_0)^4, \\ F_q(s_k) &= 2.0833s_k^4 + 4.9167s_k^3 - 5.5708s_k^2 - 0.277s_k + 0.882, \\ F_k(s_k) &= 1.8864s_k^2 + 0.1889s_k + 0.0005, \\ p_0 &= 100 \text{ MPa}, p_{q,a} = 48 \text{ MPa}, s_{k0} = 0, H = 20 \text{ m}, r_c = 0.1 \text{ m}, R_k = 900 \text{ m}, \\ \beta &= 0.81, k = 0.05 \text{ mkm}^2, m = 0.2, \rho_q = 400 \text{ kq/m}^3, \rho_m = 0.748 \text{ kq/m}^3, \\ h_q &= 0.005 \text{ (l/s)}, h_m = 0.05 \text{ (l/s)}, \varphi_q = 0.8, \varphi_m = 0.2, K = 0.001 \text{ kq/(m}^3 \cdot \text{s)}, \\ l &= 6000 \text{ m}, d = 0.06 \text{ m}, v_q = 0.5 \cdot 10^{-6} \text{ (m}^2/\text{s)}, v_m = 670 \cdot 10^{-6} \text{ (m}^2/\text{s)}, \\ a_q &= 100 \text{ (m/s)}, a_m = 2500 \text{ (m/s)}. \end{aligned}$$



Quyu-ağzi təzyiqini qiymətini sabit saxlamaqla quyu-dibi və kontur təzyiqinin (a) və kondensatladoymanın (b) zamandan asılı olaraq dəyişməsi

Hesablama nəticələri şəkildə təqdim edilmişdir. Şəkil a-dan görüldüyü kimi, işlənmənin ilk illərində layın konturunda və quyu-dibində təzyiqin azalması intensiv xarakter daşıyır, lakin işlənilmə zamanının sonrakı anında azalma tendensiyası zəifləyir və layın kondensatladoyumluğu işlənilmənin ilkin anlarından kəskin artır və işlənilmənin müəyyən müddətindən sonra onun artımı zəif xarakterli olur (bax: şəkil b). İşlənilmə zamanının ilk anında qaz fazasında həll olan maye-kondensat-qaz fazasından ayrılaraq layda intensiv olaraq çökür və hərəkətsiz olur. Nəticədə məsələlərin maye faza ilə doyumluluğunun artması qaz fazasının quyuaya daxil olmasına müqavimət göstərir, qazın quyuaya axını zəifləyir və quyunun məhsuldarlığı tədricən həm qaza, həm də maye-kondensata görə azalır.

Beləliklə, yüksək termobarik şəraitli (yüksək təzyiq və temperatur şəraitli) neft və qaz laylarının ölçülə bilən quyu-ağzi təzyiqinə görə quyu-dibi təzyiqi, lay təzyiqini və işlənilmənin texniki-texnoloji göstəricilərini təyin etməyə imkan verən lay və quyu lüləsində maye və qaz sisteminin kəsilməz axını tənzimlərinin birgə həlli əsasında qazohidrodinamik hesablama modeli təklif edilmiş və konkret lay modeli verilənlərinə görə tükənmə rejiminin kontur, quyu-dibi təzyiqi və kondensatladoymanın işlənilmə müddətindən asılı olaraq dəyişmə dinamikası təyin edilmişdir.

Nəticə

1. Lay-quyu sisteminin dinamik əlaqəsi nəzərə alınmaqla quyu-dibi və lay təzyiqini, layın işlənilməsinin texniki-texnoloji göstəricilərini quyu-ağzi parametrlərin məlum qiymətlərinə görə hesablamağa imkan verən qaz-kondensat sisteminin ikifazlı süzülməsinin qazohidrodinamik modeli və onun hesablanmış alqoritmi işlənilmişdir.

2. Konkret lay modelinin verilənlərinə görə quyu-ağzi təzyiqin qiymətinə uyğun kontur, quyu-dibi təzyiqi və kondensatladoymanın dəyişmə dinamikası qiymətləndirilmişdir.

Ədəbiyyat siyahısı

1. Фенин Г.И. Аномальные пластовые давления в зонах углеводородонакопления нефтегазоносных бассейнов // Нефтегазовая геология. Теория и практика, 2010, т. 5, № 4, http://www.ngtp.ru/rub/4/46_2010.pdf
2. Аббасов Е.М., Фейзуллаев Х.А. Математическое моделирование процессов течения газожидкостной смеси в пласте и в трубе с учетом динамической связи системы пласт-скважина // Журнал вычислительной математики и математической физики, 2016, т. 56, № 1, с. 142-154.
3. Аббасов Э.М., Фейзуллаев Х.А. Математическое моделирование процессов течений газожидкостной смеси в системе неоднородный пласт-скважина // Математическое моделирование, 2017, т. 29, № 7, с. 63-80.
4. Абасов М.Т., Гасанов Ф.Г., Оруджалиев Ф.Г. О фильтрации газоконденсатной смеси // ДАН Азерб. ССР, 1966, № 4, с. 93-99.
5. Абасов М.Т., Аббасов З.Я., Джалалов Г.И., Фейзуллаев Х.А. Моделирование процесса разработки газоконденсатных залежей // Изв. НАН Азерб., сер. Науки о Земле, 2006, № 1, с. 65-69.
6. Файзуллаев Д.Ф. Ламинарное движение многофазных сред в трубопроводах. – Ташкент: Фан, 1966, 220 с.
7. Халилов М.С. Методика прогнозирования показателей разработки глубокозалегающих газоконденсатных залежей в режиме истощения по устьевым данным скважин // Белорусия: Инженерно-физический журнал (ИФЖ), 2021, т. 94, № 4, с. 896-907.
8. Фейзуллаев Х.А. Совершенствование моделирования гидрогазодинамических основ разработки глубокозалегающих газоконденсатных месторождений. Beau Bassin: Palmarium Academic Publishing, 2018, 228 с. ISBN 978-620-2-38166-6 (my.palmarium-publishing.ru/catalogue/details/ru/978-620-2-38166-6/sovershenstvovanie-modelirovaniya-gidrogazodinamicheskikh-osnov/)

References

1. Fenin G.I. Anomal'nye plastovye davleniya v zonakh uglevodorodonakopleniya neftegazonosnykh basseynov // Neftgazovaya geologiya. Teoriya i praktika, 2010, t. 5, No 4, http://www.ngtp.ru/rub/4/46_2010.pdf
2. Abbasov E.M., Feyzullayev Kh.A. Matematicheskoe modelirovanie protsessov techeniya gazozhidkostnoy smesi v plaste i v trube s uchyotom dinamicheskoy svyazi sistemy plast-skvazhina // Zhurnal vychislitel'noy matematiki i matematicheskoy fiziki, 2016, t. 56, No 1, s. 142-154.
3. Abbasov E.M., Feyzullayev Kh.A. Matematicheskoe modelirovanie protsessov techeniya gazozhidkostnoy smesi v sisteme neodnorodnyy plast-skvazhina // Matematicheskoe modelirovanie, 2017, t. 29, No 7, s. 63-80.
4. Abasov M.T., Gasanov F.G., Oруджалиев F.G. O fil'tratsii gazokondensatnoy smesi // DAN Azerb. SSR, 1966, No 4, s. 93-99.
5. Abasov M.T., Abbasov Z.Ya., Dzhahalalov G.I., Feyzullayev Kh.A. Modelirovanie protsesssa razrabotki gazokondensatnykh zalezhey // Izv. NAN Azerb., ser. Nauki o Zemle, 2006, No 1, s. 65-69.
6. Fayzullayev D.F. Laminarnoe dvizhenie mnogofaznykh sred v truboprovodakh. – Tashkent: Fan, 1966, 220 s.
7. Khalilov M.S. Metodika prognozirovaniya pokazateley razrabotki glubokozalezgayushchikh gazokondensatnykh zalezhey v rezhime istoshcheniya po ust'yevym dannym skvazhin // Belorusiya: Inzhenerno-fizicheskiy zhurnal (IFZH), 2021, t. 94, No 4, s. 896-907.
8. Feyzullayev Kh.A. Sovershenstvovanie modelirovaniya gidrogazodinamicheskikh osnov razrabotki glubokozalezgayushchikh gazokondensatnykh mestorozhdeniy. Beau Bassin: Palmarium Academic Publishing, 2018, 228 s. ISBN 978-620-2-38166-6 (my.palmarium-publishing.ru/catalogue/details/ru/978-620-2-38166-6/sovershenstvovanie-modelirovaniya-gidrogazodinamicheskikh-osnov/)