

İNFORMATİKA

UDK 622.276.1/4.001.57

TÜKƏNMƏ REJİMLİ QEYRİ-BİRCİNS QAZKONDENSAT
LAYININ SÜZÜLMƏ-TUTUM PARAMETRLƏRİNİN
İDENTİFİKASİYALI TƏYİNİ

M.S.XƏLİLOV

*Bakı Dövlət Universiteti**khalilov_mubariz@mail.ru*

Təqdim olunan işdə tükənmə rejimli qeyri-bircins qazkondensat layının süzülmə-tutum parametrlərinin identifikasiyalı təyini tədqiq olunmuşdur.

Açar sözlər: qeyri-bircins, qaz-kondensat, lay, identifikasiya, parameter.

Karbohidrogen yataqlarının məhsuldar horizontları, bir qayda olaraq, mürəkkəb bir quruluşa malikdir və onun kollektor xassələri layın həm kəsilişi üzrə həm də onun uzunluq sahəsi üzrə dəyişir. Layın işlənilməsinin texnoloji göstəricilərinin proqnozlaşdırılması onun qeyri-bircinsliliyindən kəskin asılıdır. Buna görə də onların mümkün təyini məsələsi karbohidrogen yataqların işlənməsi nəzəriyyəsi və praktikasının vacib problemlərindəndir.

Fərz edək ki, keçirməz səthlərlə məhdudlanan R_k radiuslu H hündürlüklü qeyri-bircins lay onu tam açan r_c radiuslu hasilat quyusu $p_c(z, t)$ quyudibi təzyiqi ilə işləyir. İşlənilməyə qədər layın başlanğıc təzyiqi və kondensatla-doyumluluğu uyğun olaraq p_0, S_{k0} qəbul edilir. Lay üzrə $p(r, z, t)$ təzyiqinin və digər fiziki parametrlərin tapılması tələb olunur.

Məsələ aşağıdakı tənliklər sisteminin həllinə gətirilir [9-13]:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left\{ rk(r, z) \left(\frac{F_z(s_z) p \beta [1 - c(p) \bar{\gamma}(p)]}{\mu_z(p) z(p) p_{at}} + \frac{F_k(s_k) S_k(p)}{\mu_k(p) a_k(p)} \right) \frac{\partial p}{\partial r} \right\} +$$

$$+ \frac{\partial}{\partial z} \left\{ k(r, z) \left(\frac{k F_z(s_z) p \beta [1 - c(p) \bar{\gamma}(p)]}{\mu_z(p) z(p) p_{at}} + \frac{k F_k(s_k) S_k(p)}{\mu_k(p) a_k(p)} \right) \frac{\partial p}{\partial z} \right\} =$$

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

$$\begin{aligned} & \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left\{ rk(r, z) \left(\frac{F_k(s_k)}{\mu_k(p)a_k(p)} + \frac{F_z(s_z)c(p)\beta}{\mu_z(p)z(p)p_{at}} \right) \frac{\partial p}{\partial r} \right\} + \\ & + \frac{\partial}{\partial z} \left\{ k(r, z) \left(\frac{kF_k(\rho_k)}{\mu_k(p)a_k(p)} + \frac{kF_z(\rho_k)pc(p)\beta}{\mu_z(p)z(p)p_{at}} \right) \frac{\partial p}{\partial z} \right\} = \\ & = \frac{\partial}{\partial t} \left\{ m \left(\frac{s_k}{a_k(p)} + (1-s_k) \frac{p\beta c(p)}{z(p)p_{at}} \right) \right\}, \quad (r, z) \in D, \quad t \in (0, T), \quad (2) \end{aligned}$$

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

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

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

burada $k(r, z)$ - layın keçiriciliyinin həm en kəsiyi, həm də sahəsi üzrə qeyri-bircinsliliyini təsvir edir. Digər parametrlər isə əvvəlki paragraflardan məlumdur.

$k(r, z)$ -məlum olduqda $p(x, z, t)$, $s_k(x, z, t)$ həllərinin (1)-(5) şərtləri daxilində tapılması üçün aşağıdakı sonlu fərqlər sxemindən istifadə edilir:

$$\begin{aligned} & e^{-2x_i} \left\{ \frac{1}{\Delta x_i} \left[k_{i+1/2, j}^n \cdot \Psi_{i+1/2, j}^{n+1} \frac{P_{i+1, j}^{n+1} - P_{i, j}^{n+1}}{\Delta x_{i+1/2}} - k_{i-1/2, j}^n \cdot \Psi_{i-1/2, j}^{n+1} \cdot \frac{P_{i, j}^{n+1} - P_{i-1, j}^{n+1}}{\Delta x_{i-1/2}} \right] \right\} + \\ & + \frac{1}{\Delta z_j} \left[k_{i, j+1/2}^n \cdot \Psi_{i, j+1/2}^{n+1} \frac{P_{i, j+1}^{n+1} - P_{i, j}^{n+1}}{\Delta z_{j+1/2}} - k_{i, j-1/2}^n \cdot \Psi_{i, j-1/2}^{n+1} \cdot \frac{P_{i, j}^{n+1} - P_{i, j-1}^{n+1}}{\Delta z_{j-1/2}} \right] - \\ & - A_{i, j}^n \left\{ e^{-2x_i} \left[\frac{1}{\Delta x_i} \left(k_{i+1/2, j}^n \cdot \Phi_{i+1/2, j}^{n+1} \frac{P_{i+1, j}^{n+1} - P_{i, j}^{n+1}}{\Delta x_{i+1/2}} - k_{i-1/2, j}^n \cdot \Phi_{i-1/2, j}^{n+1} \cdot \frac{P_{i, j}^{n+1} - P_{i-1, j}^{n+1}}{\Delta x_{i-1/2}} \right) \right] \right\} + \\ & + \frac{1}{\Delta z_j} \left[k_{i, j+1/2}^n \cdot \Phi_{i, j+1/2}^{n+1} \frac{P_{i, j+1}^{n+1} - P_{i, j}^{n+1}}{\Delta z_{j+1/2}} - k_{i, j-1/2}^n \cdot \Phi_{i, j-1/2}^{n+1} \cdot \frac{P_{i, j}^{n+1} - P_{i, j-1}^{n+1}}{\Delta z_{j-1/2}} \right] \left\} = \\ & = \left[(Q'_{i, j}{}^n - A_{i, j}^n M'_{i, j}{}^n) + s_{ki, j} (N'_{i, j}{}^n - A_{i, j}^n B'_{i, j}{}^n) \right] \frac{P_{i, j}^{n+1} - P_{i, j}^n}{\Delta \tau}, \quad (6) \end{aligned}$$

$$e^{-2x_i} \left\{ \frac{1}{\Delta x_i} \left[k_{i+1/2,j}^n \cdot \Phi_{i+1/2,j}^{n+1} \frac{p_{i+1,j}^{n+1} - p_{i,j}^{n+1}}{\Delta x_{i+1/2}} - k_{i-1/2,j}^n \cdot \Phi_{i-1/2,j} \cdot \frac{p_{i,j}^{n+1} - p_{i-1,j}^{n+1}}{\Delta x_{i-1/2}} \right] \right\} +$$

$$+ \frac{1}{\Delta z_j} \left[k_{i,j+1/2}^n \cdot \Phi_{i,j+1/2}^{n+1} \frac{p_{i,j+1}^{n+1} - p_{i,j}^{n+1}}{\Delta z_{j+1/2}} - k_{i,j-1/2}^n \cdot \Phi_{i,j-1/2} \cdot \frac{p_{i,j}^{n+1} - p_{i,j-1}^{n+1}}{\Delta z_{j-1/2}} \right] -$$

$$- \left[M_{i,j}^n + s_{ki,j}^n B'_{i,j} \right] \frac{p_{i,j}^{n+1} - p_{i,j}^n}{\Delta \tau} = B_{i,j}^n \frac{s_{ki,j}^{n+1} - s_{ki,j}^n}{\Delta \tau}, \quad (7)$$

$$p_{i,j}^0 = p_{0i,j}, \quad s_{ki,j}^0 = s_{k0} = 0, \quad i = \overline{0, N_x}, \quad j = \overline{0, N_z}, \quad (8)$$

$$p_{0,j}^n = p_{cj}^n, \quad j = \overline{0, N_z}, \quad (9)$$

$$p_{N_x,j}^n = p_{N_x j}^n; \quad p_{i,0}^n = p_{i,1}^n; \quad p_{i,N_z}^n = p_{i,N_z+1}^n; \quad i = \overline{1, N_x}, \quad (10)$$

burada

$$\Psi(p, s_k) = \left[\frac{F_2(s_2) p \beta [1 - C(p) \gamma(p)]}{\mu_z(p) z(p) p_{at}} + \frac{F_k(s_k) S_k(p)}{\mu_k(p) a_k(p)} \right],$$

$$\Phi(p, s_k) = \left[\frac{F_2(s_2) p C(p) \beta}{\mu_z(p) z(p) p_{at}} + \frac{F_k(s_k)}{\mu_k(p) a_k(p)} \right],$$

$$B(p) = m \left[\frac{1}{a_k(p)} - \frac{p \beta c(p)}{z(p) p_{at}} \right], \quad M(p) = m \frac{p \beta c(p)}{z(p) p_{at}},$$

$$N(p) = m \left[\frac{S_k(p)}{a_k(p)} - \frac{p \beta [1 - c(p) \bar{\gamma}(p)]}{z(p) p_{at}} \right], \quad Q(p) = m \frac{p \beta [1 - c(p) \gamma(p)]}{z(p) p_{at}},$$

$$A(p) = \frac{N(p)}{B(p)}, \quad x = \ln r, \quad x_c = \ln r_c, \quad x_k = \ln R_k,$$

$$(x_i, z_j, t_n) = (x_i, \quad 0 = x_0 < x_1 < \dots < x_{N_x} = L_x,$$

$$z_j, \quad 0 = z_0 < z_1 < \dots < z_{N_z} = L_z, \quad t_n, \quad 0 = t_0 < t_1 < \dots < t_{N_\tau} = T),$$

$$L_x, \quad L_z - \text{layın mütləq ölçüləri}, \quad \Delta \tau = \frac{t_n}{n}, \quad n = 1, 2, 3, \dots, N_\tau,$$

$$x_{i+1/2} = x_i + \frac{1}{2} \Delta x_{i+1/2}, \quad \Delta x_{i+1/2} = x_{i+1} - x_i, \quad i = \overline{1, N_x}, \quad z_{j+1/2} = z_j + \frac{1}{2} \Delta z_{j+1/2},$$

$$\Delta z_{j+1/2} = z_{j+1} - z_j, \quad j = \overline{1, N_z}, \quad \Delta x_i = \frac{1}{2} (\Delta x_{i+1/2} + \Delta x_{i-1/2}), \quad i = \overline{0, N_x};$$

$$x_1 = 0, \quad x_{N_x+1} = x_k, \quad N_{x1} = N_x + 1, \quad \Delta z_j = \frac{1}{2} (\Delta z_{j+1/2} + \Delta z_{j-1/2}),$$

$$j = \overline{0, N_z}; \quad z_1 = 0, \quad z_{N_z+1} = H, \quad N_{z1} = N_z + 1,$$

$$\begin{aligned}\Phi_{i,j}^{n+1} &= C_{1i,j}^{n+1} F_{2i,j}^n + C_{2i,j}^{n+1} F_{ki,j}^n, \quad \Psi_{i,j}^{n+1} = C_{3i,j}^{n+1} F_{aij}^n + C_{4i,j}^{n+1} F_{ki,j}^n, \\ C_{1i,j}^{n+1} &= \frac{p_{i,j}^{n+1} c(p_{i,j}^{n+1}) \beta}{\mu_z(p_{i,j}^{n+1}) z(p_{i,j}^{n+1})}, \quad C_{2i,j}^{n+1} = \frac{1}{\mu_k(p_{i,j}^{n+1}) a_k(p_{i,j}^{n+1})}, \\ C_{3i,j}^{n+1} &= \frac{p_{i,j}^{n+1} [1 - c(p_{i,j}^{n+1}) \bar{\gamma}(p_{i,j}^{n+1})] \beta}{\mu_z(p_{i,j}^{n+1}) z(p_{i,j}^{n+1})}, \quad C_{4i,j}^{n+1} = \frac{S_k(p_{i,j}^{n+1})}{\mu_k(p_{i,j}^{n+1}) a_k(p_{i,j}^{n+1})}.\end{aligned}$$

Layın keçiriciliyinə görə qeyri-bircinsliliyini təyin etmək üçün (1)-(5) tənliklər sisteminə əlavə olaraq

$$2\pi \int_0^H k(x, z) (\Psi(p, \rho_k) + \Phi(p, \rho_k)) \frac{\partial p}{\partial x} \Big|_{x=x_c} dz = Q_c(t), \quad r = e^x, \quad t \in (0, T), \quad (11)$$

şərti qoşulmalıdır.

(1)-(5), (11) tərs məsələdir və onun effektiv və dayanıqlı həll üsulunun işlənilməsi üçün onu ekvivalent varyasiya məsələsinə çevirmək (transfer etmək) lazımdır. Bu cür yanaşma uyğun tərs məsələni şərti ekstremum məsələsinə, xüsusi halda

$$J(u) = \int_0^T \left[\int_0^H 2\pi k(x, z) (\Psi(p, \rho_k) + \Phi(p, \rho_k)) \frac{\partial p}{\partial x} \Big|_{x=x_c} dz - Q_c(t) \right]^2 dt \quad (12)$$

funksionalının (1)-(5) şərtləri daxilində minimumuna gətirir.

Praktiki nöqtəyi-nəzərdən lay keçiriciliyinin layın hündürlüyü üzrə (şaqlı kəsiyi üzrə) dəyişməsinin təyini əhəmiyyətli məsələlərdəndir. $k(r, z)$ parametri üçün

$$k(r, z) = k(z) = k_0 e^{bz/H}, \quad (13)$$

nəzəri asılılığı istifadə edilə bilər [1-9]. Burada H - məhsuldar layın ümumi hündürlüyü, b - keçiriciliyin maksimal k_{\max} qiymətinin onun minimal k_0 qiymətinə nisbətinin loqarifmidir.

(12) funksionalının minimumunun tapılması üçün qradiyentlər üsulundan istifadə edilir.

Təklif olunan hesablama sxemi və algoritmi əsasında ədədi eksperimentlər aparılmışdır. Alınan həllin etalon olaraq etibarlılığını yoxlamaq üçün qazkondensat quyusunun sabit təzyiqlə istismara buraxılmasının düz məsələsinin həllinin tapılmasına baxılmış və nəticədə uyğun tərs məsələ həll edilmişdir.

Düz məsələ aşağıdakı ilkin verilənlər əsasında həll edilmişdir:

$$\begin{aligned}r_c &= 0.1m, \quad R_k = 900m, \quad H = 40m, \quad p_0 = 45MPa, \quad p_c(z, t) = p_k(t) - \delta, \quad \delta = 1,5MPa \\ m &= 0.192, \quad b = 4.38, \quad k_0 = 0.037mkm^2\end{aligned}$$

Qazkondensat sisteminin fiziki xassələrini təsvir edən parametrlərin təzyiqdən və fazalara görə nisbi keçiriciliklərin kondensatla doymadan asılılığı altıncı fəslin ikinci paraqrafında daxil edilən formaya uyğun seçilmişdir.

Hesablama nəticələri cədvəl 1-3-də təqdim edilmişdir. Cədvəl 1-də $p_c(z,t)$ şərti daxilində keçiriciliyə görə qeyri-bircinslilik (13) şəklində seçildikdə b və k_0 -in konkret qəbul olunmuş qiymətlərində quyunun $Q_c(t)$ hasilatının işlənilmə zamanından asılılığı gətirilmişdir. İdentifikasiya məsələsi isə $Q_c(t)$ və $p_c(z,t)$ verilənlərinə görə qeyd olunan b və k_0 əmsallarının qiymətlərinin bərpa olunmasına gətirilmişdir.

İdentifikasiya məsələsinin $b = 4.38$, və $k_0 = 0.18 \text{ mkm}^2$ başlanğıc qiymətlərinə uyğun hesablama nəticələri cədvəl 2 -də gətirilmişdir. b və k_0 -in tapılan hesablama qiymətlərində ilkin verilən məlumatlar əsasında yenidən düz məsələ həll edilmiş və nəticələr cədvəl 3 -də təqdim edilmişdir.

Qeyri-bircins layın identifikasiya olunan parametrlərinin alınan qiymətləri quyunun məhsuldarlığının zamana görə proqnoz məlumatlarının böyük dəqiqliklə dəyişməsinə təmin edir. Bu da təklif olunan identifikasiya üsulunun yüksək dəqiqliyini göstərir.

Cədvəl 1

Quyunun debitinin işlənilmə müddətindən asılılığı

t, gün	10	100	500	1000	2000
$Q_c(t) \cdot 10^3 \text{ m}^3 / \text{gün}$	941,75	867,65	756,95	683,95	621,7

Cədvəl 2

b və k_0 parametrlərinin identifikasiyası

Parametrlər	Dəqiq qiyməti	Hesablanmış qiyməti
b	4.38	4.35
k_0	0.037	0.0373

Cədvəl 3

b və k_0 parametrlərinin müxtəlif qiymətlərində quyunun debitinin işlənilmə müddətinə görə dəyişməsi

İşlənilmə müddəti, gün	$Q_c(t) \cdot 10^3 \text{ m}^3 / \text{gün}$	
	$k_0 = 0.037; b = 4.38$	$k_0 = 0.0374; b = 4.35$
10	941,75	941.42
100	867,65	867.57
500	756,95	756.83
1000	683,95	684.03
2000	621,7	621.54

Nəticə

Qeyri-bircins qazkondensat layının parametrlərinin təklif olunan identifikasiya üsulu quyunun məhsuldarlığının işlənmə müddətinə görə dəyişməsinin proqnozunda yüksək dəqiqliyi təmin edir.

ƏDƏBİYYAT

1. Абасов М.Т., Стреков А.С., Эфендиев Г.М. Повышение эффективности ограничения водопритоков в нефтяных скважинах. Баку: Nafta-Press, 2009, 256 с.
2. Азиз Х., Сеттари Э. Математическое моделирование пластовых систем: Пер. с английского. М.: Недра, 1982, 407 с.
3. Ентов В.М., Зазовский А.Ф. Гидродинамика процессов повышения нефтеотдачи. М.: Недра, 1989, 232с.
4. Старковский В.А. Обоснование технологии селективной изоляции притока воды в добывающих скважинах на нефтяных месторождениях композициями на основе щелочных силикатных гелей: Автореферат дис. канд.тех.наук. ОАО “ВНИИнефть”, 2013, 25 с.
5. Фейзуллаев Х.А. Особенности влияния неоднородности коллектора на процесс обработки призабойных зон газоконденсатных скважин “сухим” газом // Изв. НАН Азерб., серия Наук о Земле, 2008, №3, с.43-51
6. Фейзуллаев Х.А., Халилов М.С., Кулиев Э.А., Магеррамов С.Д. Моделирование газового воздействия на газоконденсатный пласт на завершающей стадии разработки // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. Москва ОАО, ВНИИОЭНГ, М., 2018, №8, с.48-52
7. Зайдель Я.М. Исследование методом « частиц в ячейке» процесса переноса химвеществ в неоднородных пластах / Тезисы докладов Всесоюзного семинара “Современные проблемы и математические методы теории фильтрации”. М.: Недра, 1984, с.56-57
8. Feyzullayev Kh.A., Khalilov M.S. Identification of heterogeneous stratum parameters in gas-condensate mixture filtration. 18th IFAC CONFERENCE on Technology Culture and International Stability/ Baku 2018, 13-15 september, 51-30(2018) pp.27-30 (Springer.Elsevier)(TomsonRouyer)
9. Яковлев В. В., Калугин А. Ю. Увеличение коэффициента конденсатоизвлечения на газоконденсатных месторождениях при различных режимах разработки на основании математического моделирования//Техника и технологии, 2012, с.42-47
10. Яковлев В. В., Калугин А. Ю. Увеличение коэффициента конденсатоизвлечения на газоконденсатных месторождениях при различных режимах разработки на основании математического моделирования//Техника и технологии, 2012, с.42-47
11. Feyzullayev Kh.A., Khalilov M.S. Identification of heterogeneous stratum parameters in gas-condensate mixture filtration. 18th IFAC CONFERENCE on Technology Culture and International Stability/ Baku 2018, 13-15 september, 51-30(2018) pp.27-30 (Springer.Elsevier)(TomsonRouyer)
12. Зайдель Я.М. Исследование методом « частиц в ячейке» процесса переноса химвеществ в неоднородных пластах / Тезисы докладов Всесоюзного семинара “Современные проблемы и математические методы теории фильтрации”. М.: Недра, 1984, с.56-57.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ НЕОДНОРОДНЫХ ГАЗОКОНДЕНСАТНЫХ ПЛАСТОВ В РЕЖИМЕ ИСТОЩЕНИЯ

М.С.ХАЛИЛОВ

РЕЗЮМЕ

В представленной работе исследуется идентификационное определение фильтрационно-емкостных параметров неоднородного газоконденсатного пласта с режимом истощения.

Ключевые слова: неоднородность, газоконденсат, пласт, идентификация, параметр.

IDENTIFICATION OF PARAMETERS OF INHOMOGENEOUS GAS-CONDENSATE FORMATIONS IN DEPLETION MODE

M.S.KHALILOV

SUMMARY

In the presented work, the identification determination of the reservoir parameters of a heterogeneous gas condensate formation with a depletion mode is investigated.

Key words: heterogeneity, gas condensate, reservoir, identification, parameter.