

İNFORMATİKA

UDK 548.544.45

QAZKONDENSAT QARIŞIĞININ QEYRİ-XƏTTİ DEFORMASIYA OLUNAN LAYDA QUYUYA RADİAL AXINI MƏSƏLƏSİNİN ƏDƏDİ HƏLLİ

M.S.XƏLİLOV

Bakı Dövlət Universiteti

Khalilov@bsu.az

Məqalədə süxurları qeyri-xətti deformasiyaya məruz qalan qazkondensat yatağında qazkondensat qarışıqının quyuya radial axını məsələsinin ədədi həlli verilmiş və hesablamalar yolu ilə qazkondensat qarışıqının quyuya radial axını səciyyələndirən bəzi əsas dinamik göstəricilər qiymətləndirilmişdir.

Açar sözlər: qazkondensat qarışığı, qeyri-xətti deformasiya, ədədi həll, qovma üsulu

Ölkəmizin yanacaq enerjisinə olan tələbatlarının ödənilməsində qazkondensat yataqlarının xüsusi çəkisi getdikcə artmaqdadır. Bununla əlaqədar olaraq, qazkondensat yataqlarının səmərəli işlənilmə layihələrinin tərtibi müvafiq işlənilmə göstəricilərinin mümkün qədər etibarlı və dəqiq təyini ilə birbaşa əlaqəli olduğundan, belə olan şəraitdə qazkondensat yataqlarında qazkondensat qarışıqının layda hərəkət xüsusiyyətlərinə müxtəlif fiziki amillərin təsirinin öyrənilməsi mühüm elmi-təcrübi əhəmiyyət kəsb edir. Bu amillər arasında layı təşkil edən süxurlarda baş verən deformasiya prosesləri mühüm yer tutur.

Məlum olduğu kimi, yataqları təşkil edən süxurlar işlənilmə prosesində müəyyən dərəcədə deformasiyaya uğrayırlar və bu deformasiya prosesinin işlənilmə məsələlərinin həlli zamanı nəzərə alınması ilə bağlı elmi ədəbiyyatda

xeyli sayda müvafiq elmi-tədqiqat işlərinə rast gəlinir [1-3, 5 və b.].

Bu tədqiqat işlərinin təhlili göstərir ki, süxurların müxtəlif deformasiya modellərini nəzərə almaqla neft, qaz və qazkondensat yataqlarının işlənilmə məsələlərinin həlli zamanı ədədi həll üsullardan istifadə edilməsinə son zamanlar daha çox diqqət yetirilir [6,7 və b.].

Qeyd olunanlarla bağlı olaraq, məqalədə süxurları qeyri-xətti deformasiyaya uğrayan qazkondensat yatağında qazkondensat qarışığının quyuya radial axını məsələsinin ədədi həllinə baxılmışdır.

Qəbul edilir ki, süxurları qeyri-xətti deformasiyaya uğrayan qazkondensat yatağında quyü qazın q debiti ilə istismar edilir. Qazkondensat qarışığının quyuya radial oxa simmetrik qərarlaşmamış axını şəraitində süxurun məsaməliyinin təzyiqdən asılı eksponensial dəyişmə qanununun qəbul olunması çərçivəsində təzyiq funksiyasının, məsaməliyin, kondensatla doymanın və b. göstəricilərin təyin olunması tələb olunur. Məsələnin riyazi qoyuluşu belədir:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(\left(\frac{k(p)F_q(\rho_k)p\beta(1-c(p)\bar{\gamma}(p))}{\mu_q(p)z(p)p_{at}} + \frac{k(p)F_k(\rho_k)s_k(p)}{\mu_k(p)a_k(p)} \right) \frac{\partial p}{\partial r} \right) = \frac{\partial}{\partial t} \left(m \left(\frac{(1-\rho_k)p\beta(1-c(p)\bar{\gamma}(p))}{z(p)} + \frac{\rho_k s_k(p)}{a_k(p)} \right) \right) \quad (1)$$

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(\left(\frac{k(p)F_q(\rho_k)p\beta c(p)}{\mu_q(p)z(p)p_{at}} + \frac{k(p)F_k(\rho_k)}{\mu_k(p)a_k(p)} \right) \frac{\partial p}{\partial r} \right) = \frac{\partial}{\partial t} \left(m \left(\frac{(1-\rho_k)p\beta c(p)}{z(p)} + \frac{\rho_k}{a_k(p)} \right) \right) \quad (2)$$

$$r_q < r < r_k, \quad t > 0$$

$$m = m_0 e^{\beta_s(p-p_0)} \quad (3)$$

$$p(r,0) = p_0; \quad \rho_k(r,0) = 0; \quad m(r,0) = m_0$$

$$\left\{ 2\pi r h \left(\frac{k(p)F_q(\rho_k)p\beta(1-c(p)\bar{\gamma}(p))}{\mu_q(p)z(p)p_{at}} + \frac{k(p)F_k(\rho_k)s_k(p)}{\mu_k(p)a_k(p)} \right) \right\} \frac{\partial p}{\partial r} \Big|_{r=r_q} = q(t) \quad (4)$$

$$\frac{\partial p}{\partial r} \Big|_{r=r_k} = 0.$$

Burada $p = p(r,t)$, $m = m(r,t)$, $r_q \leq r \leq r_k$, $t \geq 0$; p , m , ρ_k və k - müvafiq olaraq cari təzyiq, məsaməlik, kondensatla doyma və mütləq keçiricilik; p_0 və m_0 - müvafiq olaraq başlanğıc lay təzyiqi və başlanğıc məsaməlik; F_q və F_k - müvafiq olaraq qaz və kondensata görə nisbi faza keçiricilikləri; $a_k(p)$ və $s_k(p)$ - müvafiq olaraq maye fazasının həcm əmsalı və maye fazasında həll olmuş qazın miqdarı; $c(p)$ - kondensatın qaz fazasında miqdarı; $\bar{\gamma}(p)$ - normal şəraitdə maye və qaz fazalarındakı kondensatın həcmi çəkirlərinin nisbəti; $\mu_q(p)$ və $\mu_k(p)$ - müvafiq olaraq qazın və maye fazasının özlülüyü; p_{at} - atmosfer təzyiqi; h - layın hündürlüyü; β_s - süxurun elastiki sıxılma əmsalı; β - qaz üçün temperatur düzəlişi; r_k - quyunun drenaj radiusu; r_q - quyunun radiusudur.

(1)-(4) məsələnin ədədi həllini almaq məqsədilə r dəyişənindən $\xi = \ln \frac{r}{r_q}$ kimi təyin olunan ξ dəyişəninə keçək. Onda məsələnin r və t dəyişənləri üzrə kəsilməz təyin oblastı müvafiq olaraq

$$\{(\xi_i, t_j) : \xi_i = \ln \frac{r_i}{r_q}; t_j = j\tau; i = 0,1,2,\dots,N; j = 0,1,2,\dots\},$$

$$N = \frac{1}{\Delta\xi} \cdot \ln \frac{r_k}{r_q}$$

diskret şəbəkə oblastı ilə əvəzlənmiş olar. Burada $\Delta\xi$ - ξ -yə görə inteqrallama addımı; τ - zaman addımıdır.

Bu diskret oblastda təzyiqin qiymətlərinin qovma üsulu vasitəsilə təyini üçün aşağıdakı iterasiya münasibətləri alınmışdır:

$$p_{i-1}^{j+1,\nu} = A_{i-1}^{j+1,\nu} p_i^{j+1,\nu} + C_{i-1}^{j+1,\nu}, \quad i = N-1, \dots, 1, \quad j = 0,1,2,\dots, \quad \nu = 1,2,\dots \quad (5)$$

$$p_i^{j+1,0} = p_i^j, \quad \sigma_i^{j+1,0} = \sigma_i^j, \quad p_i^0 = p_0, \quad m_i^0 = m_0, \quad \rho_{ki}^0 = 0$$

$$A_i^{j+1,\nu} = \frac{K_{1i}^{j+1,\nu}}{K_{1i}^{j+1,\nu} + K_{2i}^{j+1,\nu} (1 - A_{i-1}^{j+1,\nu}) + \Phi_1^j - \Phi_0^j \Phi_2^j},$$

$$C_i^{j+1,\nu} = \frac{K_{2i}^{j+1,\nu} C_{i-1}^{j+1,\nu} + p_i^j (\Phi_1^j - \Phi_0^j \Phi_2^j) - (m_i^{j+1} - m_i^j) \cdot (\Phi_3^j - \Phi_0^j \Phi_4^j)}{K_{1i}^{j+1,\nu} + K_{2i}^{j+1,\nu} (1 - A_{i-1}^{j+1,\nu}) + \Phi_1^j - \Phi_0^j \Phi_2^j},$$

$$i = 1, 2, \dots, N - 1 \quad (6)$$

$$A_0^{j+1,\nu} = 1, \quad C_0^{j+1,\nu} = -\frac{q^{*j+1} \cdot \Delta \xi}{F_{1q_0}^{j+1,\nu-1} + F_{1k_0}^{j+1,\nu-1}},$$

Qovma üsulumun sxeminə uyğun olaraq, əvvəlcə, hər bir zaman addımında radial koordinat nöqtələri üzrə düz gedişlə A və C qovma əmsalları, sonra isə əks gedişlə sərhəd şərtləri nəzərə alınmaqla təzyiğin qiymətləri ardıcıl olaraq hesablanır [4].

Bu zaman məsaməliyin hesablanması

$$m_i^{j+1} = m_0 e^{\beta_s (p_i^{j+1,\nu-1} - p_0)}, \quad (7)$$

kondensatla doymanın hesablanması isə

$$\sigma_i^{j+1} = \sigma_i^j - \frac{\Psi_{2i}^j}{\Phi_{5i}^j} - \frac{\Phi_{2i}^j \Psi_{3i}^j}{\Phi_{5i}^j (\Phi_{1i}^j - \Phi_{0i}^j \Phi_{2i}^j)} - \frac{\Phi_{4i}^j}{\Phi_{5i}^j} (m_i^{j+1} - m_i^j) \quad (8)$$

iterasiya düsturları ilə aparılır; burada

$$K_{1i}^{j+1,\nu} = \frac{e^{-2\xi_i} \tau}{(\Delta \xi)^2 r_q^2} (F_{1q_{i+1/2}}^{j+1,\nu-1} + F_{1k_{i+1/2}}^{j+1,\nu-1}) + \frac{e^{-2\xi_i} \tau}{(\Delta \xi)^2 r_q^2} \Phi_0^j (F_{2q_{i+1/2}}^{j+1,\nu-1} + F_{2k_{i+1/2}}^{j+1,\nu-1});$$

$$K_{2i}^{j+1,\nu} = \frac{e^{-2\xi_i} \tau}{(\Delta \xi)^2 r_q^2} (F_{1q_{i-1/2}}^{j+1,\nu-1} + F_{1k_{i-1/2}}^{j+1,\nu-1}) + \frac{e^{-2\xi_i} \tau}{(\Delta \xi)^2 r_q^2} \Phi_0^j (F_{2q_{i-1/2}}^{j+1,\nu-1} + F_{2k_{i-1/2}}^{j+1,\nu-1});$$

$$F_{1q_i}^{j+1,\nu} = \frac{k(p_i^{j+1,\nu}) F_q(\rho_{ki}^{j+1,\nu}) p_i^{j+1,\nu} \beta (1 - c(p_i^{j+1,\nu}) \bar{\gamma}(p_i^{j+1,\nu}))}{\mu_q(p_i^{j+1,\nu}) z(p_i^{j+1,\nu}) p_{at}};$$

$$F_{1k_i}^{j+1,\nu} = \frac{k(p_i^{j+1,\nu}) F_k(\rho_{ki}^{j+1,\nu}) s_k(p_i^{j+1,\nu})}{\mu_k(p_i^{j+1,\nu}) a_k(p_i^{j+1,\nu})};$$

$$F_{2q_i}^{j+1,\nu} = \frac{k(p_i^{j+1,\nu}) F_q(\rho_{ki}^{j+1,\nu}) p_i^{j+1,\nu} \beta c(p_i^{j+1,\nu})}{\mu_q(p_i^{j+1,\nu}) z(p_i^{j+1,\nu}) p_{at}}; \quad F_{2k_i}^{j+1,\nu} = \frac{k(p_i^{j+1,\nu}) F_k(\rho_{ki}^{j+1,\nu})}{\mu_k(p_i^{j+1,\nu}) a_k(p_i^{j+1,\nu})};$$

$$\Phi_0^j = \frac{\frac{s_k(p_i^j)}{a_k(p_i^j)} - \frac{p_i^j \beta (1 - c(p_i^j)) \bar{\gamma}(p_i^j)}{z(p_i^j) \cdot p_{at}}}{\frac{1}{a_k(p_i^j)} - \frac{p_i^j \beta c(p_i^j)}{z(p_i^j) \cdot p_{at}}};$$

$$\Phi_1^j = \frac{m_i^j (1 - \rho_{ki}^j)}{z^2(p_i^j) p_{at}} \left[\beta z(p_i^j) (1 - c(p_i^j)) \bar{\gamma}(p_i^j) - p_i^j (c'(p_i^j) \bar{\gamma}(p_i^j) + c(p_i^j) [\bar{\gamma}'(p_i^j)]) \right] +$$

$$+ \frac{s'_k(p_i^j) a_k(p_i^j) - s_k(p_i^j) a'_k(p_i^j)}{a_k^2(p_i^j)} m_i^j \rho_{ki}^j;$$

$$\Phi_2^j = \frac{m_i^j (1 - \rho_{ki}^j)}{z^2(p_i^j) p_{at}} \left[\beta z(p_i^j) (c(p_i^j) + p_i^j c'(p_i^j)) - \beta p_i^j z'_k(p_i^j) \right] - \frac{a'_k(p_i^j)}{a_k^2(p_i^j)} m_i^j \rho_{ki}^j;$$

$$\Phi_3^j = \frac{\beta p_i^j (1 - c(p_i^j)) \bar{\gamma}(p_i^j) (1 - \rho_{ki}^j)}{z(p_i^j) p_{at}} + \frac{s_k(p_i^j) \rho_{ki}^j}{a_k(p_i^j)};$$

$$\Phi_4^j = \frac{\beta p_i^j c(p_i^j) (1 - \rho_{ki}^j)}{z(p_i^j) p_{at}} + \frac{\rho_{ki}^j}{a_k(p_i^j)}; \quad \Phi_5^j = \frac{m_i^j}{a_k(p_i^j)} - \frac{m_i^j p_i^j \beta c(p_i^j)}{z(p_i^j) p_{at}};$$

$$\Psi_{1i}^j = \frac{e^{-2\xi_i \tau}}{(\Delta \xi)^2 r_q^2} (F_{1q_{i+1/2}}^j + F_{1k_{i+1/2}}^j) (p_{i+1}^j - p_i^j) - \frac{e^{-2\xi_i \tau}}{(\Delta \xi)^2 r_q^2} (F_{1q_{i-1/2}}^j + F_{1k_{i-1/2}}^j) (p_i^j - p_{i-1}^j);$$

$$\Psi_{2i}^j = \frac{e^{-2\xi_i \tau}}{(\Delta \xi)^2 r_q^2} (F_{2q_{i+1/2}}^j + F_{2k_{i+1/2}}^j) (p_{i+1}^j - p_i^j) - \frac{e^{-2\xi_i \tau}}{\tau (\Delta \xi)^2 r_q^2} (F_{2q_{i-1/2}}^j + F_{2k_{i-1/2}}^j) (p_i^j - p_{i-1}^j);$$

$$\Psi_{3i}^j = \Psi_{1i}^j - \Phi_{0i}^j \Psi_{2i}^j - (m_i^{j+1} - m_i^j) \cdot (\Phi_3^j - \Phi_0^j \Phi_4^j); \quad q^{*j+1} = \frac{q^{j+1}}{2\pi h}.$$

Göstərilən iterasiya prosesi hər bir zaman addımında

$$\max_i |p_i^{j+1, \nu} - p_i^{j+1, \nu-1}| \leq \varepsilon, \quad \nu = 1, 2, \dots$$

bərabərsizliyi ödənilənə qədər davam etdirilir ki, bu da p_i^{j+1} qiymətlərini verilmiş ε dəqiqliklə təyin etməyə imkan yaradır.

Qeyd edilən alqoritmik ardıcılığa əsaslanmaqla aşağıdakı başlanğıc şərtlər çərçivəsində ədədi hesablamalar aparılmışdır:

$$p_0 = 40 \text{ MPa}; q = 10^6 \text{ m}^3/\text{gün}; m_0 = 0,2; r_q = 0,1 \text{ m}; r_k = 1000 \text{ m};$$

$$\beta = 0,78;$$

$$p_{at} = 0,1 \text{ MPa}; \beta_s = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ MPa}^{-1}; k(p) \equiv k_0 = 0,05 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2;$$

$$F_q = 2,0833 \cdot \rho_k^4 + 4,9167 \cdot \rho_k^3 - 5,5708 \cdot \rho_k^2 - 0,277 \cdot \rho_k + 0,882;$$

$$F_k = 1,8864 \cdot \rho_k^2 + 0,1889 \cdot \rho_k + 0,0005;$$

$$z(p) = 1 - 0,1162 \cdot 10^{-2} \cdot p + 0,3744 \cdot 10^{-5} \cdot p^2 - 0,2965 \cdot 10^{-9} \cdot p^3 - 0,1975 \cdot 10^{-11} \cdot p^4;$$

$$s_k(p) = 0,814286 \cdot p; a_k(p) = 0,1157 \cdot 10^{-2} + 2 \cdot 0,23674 \cdot 10^{-6} p;$$

$$\bar{\gamma}(p) = -0,42974 \cdot 10^{-1} + 2 \cdot 0,1335 \cdot 10^{-4} p - 3 \cdot 0,6053 \cdot 10^{-6} p^2 + 4 \cdot 0,622 \cdot 10^{-9} p^3$$

$$\mu_q(p) = 0,0126 + 0,257 \cdot 10^{-4} p + 0,1633 \cdot 10^{-7} p^2, 10^{-9} \text{ MPa} \cdot \text{san};$$

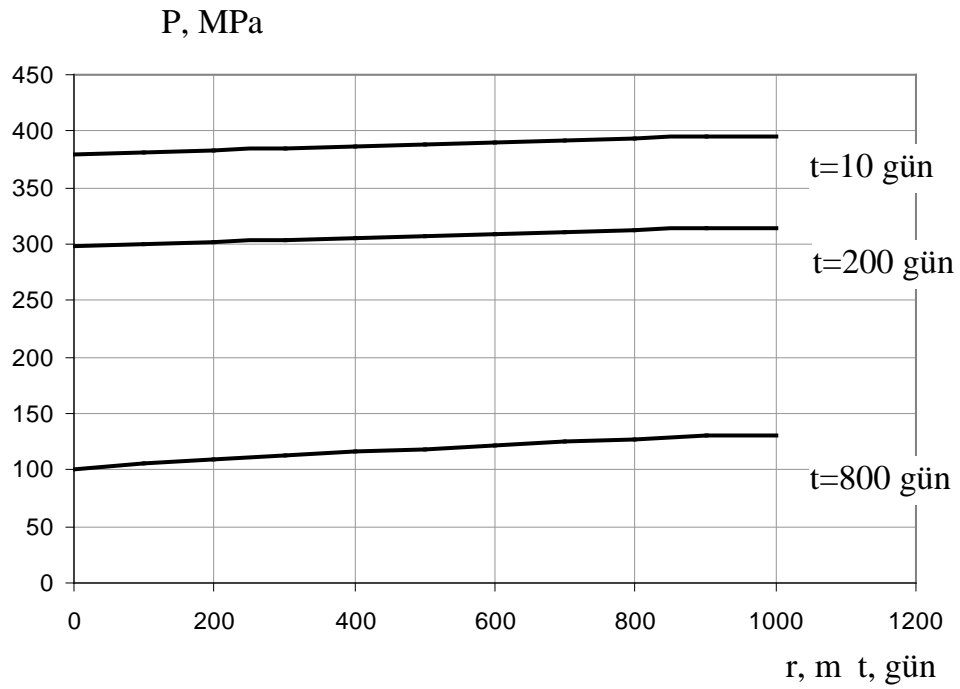
$$\mu_k(p) = 0,6 + 0,3295 \cdot 10^{-2} \cdot p + 0,1044 \cdot 10^{-4} p^2 - 0,1558 \cdot 10^{-7} p^3 + 0,85 \cdot 10^{-11} p^4,$$

$$10^{-9} \text{ MPa} \cdot \text{san}.$$

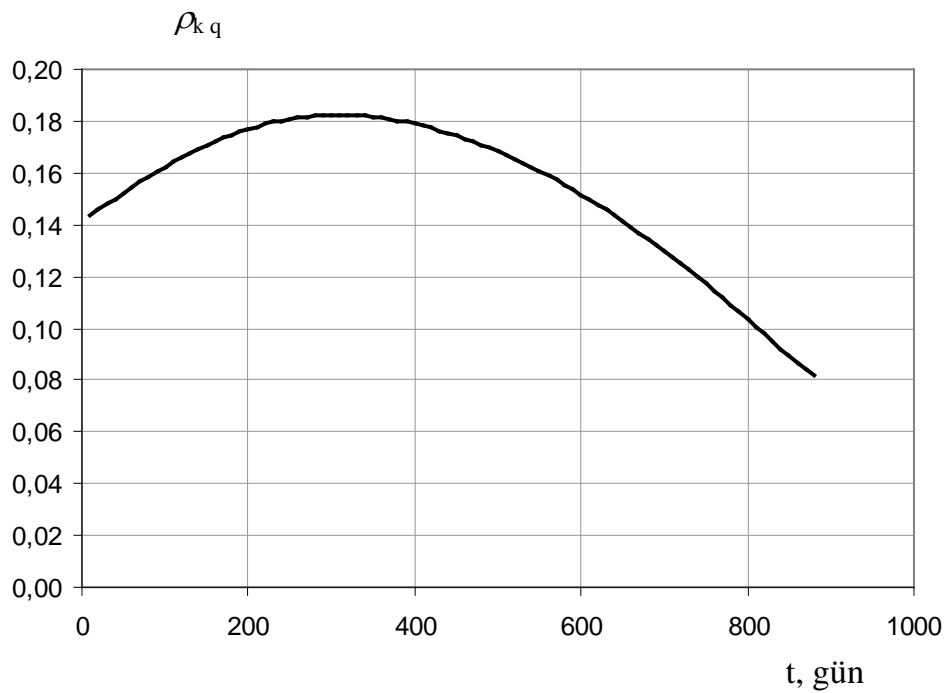
Hesablamaların nəticələri əyanilik üçün burada bəzi göstəricilərin nümunəsində şəkl.1-2-də verilmişdir.

Göründüyü kimi, zaman keçdikcə quyudibi təzyiqlə kontur təzyiqi arasındakı fərq nisbətən artır ki, bu da qazın bütün zaman üzrə eyni debitlə istismarı ilə əlaqədardır (şəkil 1). Hesablama nəticələri eyni zamanda göstərir ki, məsaməliyin quyudibi qiyməti son hesablama anına qədər (hesablamalar quyudibi təzyiqin 7 MPa-a bərabər qiymətinə qədər aparılmışdır) onun lay üzrə başlanğıc qiymətinə nəzərən təqribən 7,8 faizədək azalmışdır.

Kondensatla doyma əmsalının quyudibi qiymətlərinin əvvəlcə zamanın müəyyən qiymətinə qədər artması, sonra isə intensiv surətdə aşağı düşməsi müşahidə olunur (şəkil 2). Bu onunla əlaqədardır ki, işlənmənin müəyyən müddətindən başlayaraq kondensatın quyuyətrafı zonada qaz fazasında buxarlanması baş verir.



Şək. 1. Təzyiqin zamanın müxtəlif qiymətlərində lay üzrə dəyişməsi



Şək. 2. Kondensatla doyma əmsalının quyudibi qiymətlərinin zamana görə dəyişməsi

Beləliklə, alınmış nəticələr onu qeyd etməyə əsas verir ki, qazkondensat yataqlarının işlənilmə məsələlərinin tədqiqində ədədi üsullardan istifadə edilməsi təcrübi əhəmiyyəti olan bir çox mühüm nəticələrin əldə olunmasına gətirib çıxara bilər və bu baxımdan işlənilmə prosesində layda baş verən qeyri-xətti deformasiyanı nəzərə almaqla qazkondensat qarışığının quyuya axını zamanı onu xarakterizə edən əsas göstəricilərin hesablanması üçün məqalədə təklif olunmuş həll üsulu xüsusi əhəmiyyətə malikdir.

ƏDƏBİYYAT

1. Джалалов Г. и др. Моделирование процессов фильтрации флюидов в напряженно-деформируемых пористых средах. Баку: Чаşıođlu, 2012, 206 с.
2. Добрынин В.М. Деформации и изменения физических свойств коллекторов нефти и газа. М.: Недра, 1970, 239 с.
3. Желтов Ю.П.. Механика нефтегазонасного пласта. М.: Недра, 1975, 216 с.
4. Закиров С.Н. Разработка газовых, газоконденсатных и нефтегазоконденсатных месторождений. М.: Струна, 1998, 628 с.
5. Кулиев А.М., Казымов Б.З. Деформация горных пород и ее влияние на их фильтрационно-емкостные свойства и на процессы фильтрации и разработки месторождений нефти и газа. Баку: Элм, 2009, 88 с.
6. Фейзуллаев Х.А., Зейналов Н.Г. Исследование задачи фильтрации газоконденсатной смеси в деформируемой пористой среде. // Научные и педагогические известия Университета "Одлар Юрду", №3, 1999, с.53-57
7. Kazimov B.Z. Süxurları relaksasiyalı deformasiyaya uğrayan qaz yatağının quyular sistemi ilə işlənilmə göstəricilərinin ədədi təyini üsulu. АМЕА-nın Хəbərləri, Yer elmləri seriyası, №2, 2013, s. 63-68.

ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ РАДИАЛЬНОГО ПРИТОКА ГАЗОКОНДЕНСАТНОЙ СМЕСИ К СКВАЖИНЕ В ГАЗОКОНДЕНСАТНОЙ ЗАЛЕЖИ, ПЛАСТЫ КОТОРЫХ ПОДВЕРГАЮТСЯ НЕЛИНЕЙНОЙ ДЕФОРМАЦИИ

М.С.ХАЛИЛОВ

РЕЗЮМЕ

В статье было приведено численное решение задачи радиального притока газоконденсатной смеси к скважине в газоконденсатной залежи, пласты которых подвергаются нелинейной деформации, и путем вычислений были оценены некоторые основные динамические характеристики радиального притока газоконденсатной смеси к скважине.

Ключевые слова: газоконденсатная смесь, нелинейная деформация, численное решение, метод прогонки

**NUMERICAL SOLUTION OF A PROBLEM OF RADIAL INFLOW
OF THE GAS-CONDENSATE MIXES TO A WELL IN A GAS-CONDENSATE
DEPOSIT, WHOSE LAYERS ARE EXPOSED TO NONLINEAR DEFORMATION**

M.S.KHALILOV

SUMMARY

The article provides the numerical solution of a problem of radial inflow of a gas-condensate mix provided to a well in a gas-condensate deposit whose layers are exposed to nonlinear deformation, and some main dynamic characteristics of radial inflow of gas-condensate mix to a well estimates by the way of calculations.

Key words: gas-condensate mix, nonlinear deformation, numerical decision, pro-race method

Redaksiyaya daxil oldu: 16.01.2015-ci il

Çapa imzalandı: 20.04.2015-ci il