

## İNFORMATİKA

UDK 622.276.1/4.001.57

QAZKONDENSAT LAYININ NİSBİ FAZA KEÇİRİCİLİKLƏRİ  
FUNKSIYALARININ İDENTİFİKASİYALI TƏYİNİ

M.S.XƏLİLOV

*Bakı Dövlət Universiteti**khalilov\_mubariz@mail.ru*

*Layın istismar göstəricilərinin faktiki məlumatlarının dəyişməsinə görə qazkondensat-su sisteminin süzülməsinin nisbi faza keçiricilikləri funksiyalarının təyini üçün üçfazlı hidrodinamik modelin parametrik identifikasiyası üsulu işlənmişdir.*

**Açar sözlər:** su, qazkondensat, identifikasiya, faza, lay.

Lay fluidlərinin çoxfazlı axını prosesinin ən vacib xarakteristikalarından biri nisbi faza keçiricilikləridir və onların çox hallarda identifikasiyası neft və qaz yataqlarının işlənilməsinin texnoloji göstəricilərinin təyininin hidrodinamik hesablamalarının proqnozlarının mükəmməliyinin artırılması üçün faydalıdır.

Hidrodinamik və geofizik tədqiqatın verilənlərə görə onların təyininin müxtəlif üsulları məlumdur. Son zamanlar nisbi faza keçiricilikləri (NFK) funksiyalarının təyini üçün neft-qaz yataqlarının istismarı prosesində toplanan hidrodinamik informasiyalardan istifadəyə əsaslanan üsullar tətbiq edilir.

Qazkondensat-su qarışığının süzülməsinin hidrodinamik modelinə daxil olan NFK funksiyalarının təyini məsələsi müxtəlif zaman anlarında təzyiğin ölçülən (və ya işlənmə tarixindən məlum olan) və müvafiq hidrodinamik məsələnin həllindən hesablanan qiymətləri arasındakı fərqi görə təyin edilən  $J$  funksionalının minimumunun variasiya məsələsi kimi tədqiq edilir.

Qəbul edilir ki, qazkondensat layı suvurma rejimində istismar olunur və  $Q(t)$  hasilatı ilə işləyən  $r_c$  radiuslu mərkəzi quyusu məhsuldar layın  $h$  hündürlüyünü açmışdır. Laya sərhəddən suvurma quyusu ilə  $p_{\kappa}(t)$  təzyiqi ilə su vurulur. Bu halda qazkondensat-su qarışığının mərkəzi quyuya radial oxa simmetrik müstəvi paralel axını aşağıdakı qeyri-xətti diferensial tənliklər sistemi ilə ifadə olunur[1,5]:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left\{ rA \frac{\partial p}{\partial r} \right\} - \frac{\partial B}{\partial t} = 0, \quad (1)$$

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left\{ rC \frac{\partial p}{\partial r} \right\} - \frac{\partial D}{\partial t} = 0, \quad (2)$$

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left\{ rE \frac{\partial p}{\partial r} \right\} - \frac{\partial G}{\partial t} = 0, \quad (3)$$

$$p(r,t)|_{t=0} = p_0, \quad s_k(r,t)|_{t=0} = 0, \quad s_{c\epsilon}(r,t)|_{t=0} = s_{c\epsilon}, \quad (4)$$

$$2\pi rh(A+C) \frac{\partial p}{\partial r} \Big|_{r=r_c} = Q(t), \quad (5)$$

$$p(R_k, t) = p_\kappa(t), \quad s_\kappa(R_k, t) = 0, \quad s_\epsilon(R_k, t) = 1, \quad (6)$$

Burada

$$A = \frac{kf_z(s_z)p\beta[1-c(p)\bar{\gamma}(p)]}{\mu_z(p)z(p)p_{at}} + \frac{kf_k(s_z, s_\epsilon)S_k(p)}{\mu_k(p)a_k(p)};$$

$$B = \frac{mS_k(p)}{a_k(p)} s_\kappa + (1-s_\kappa - s_\epsilon) \frac{mp\beta[1-c(p)\bar{\gamma}(p)]}{z(p)p_{at}};$$

$$C = \frac{kf_z(s_z)pc(p)\beta}{\mu_z(p)z(p)p_{at}} + \frac{kf_k(s_z, s_\epsilon)}{\mu_k(p)a_k(p)};$$

$$D = \frac{ms_\kappa}{a_k(p)} + (1-s_\kappa - s_\epsilon) \frac{mp\beta c(p)}{z(p)p_{at}};$$

$$E = \frac{kf_\epsilon(s_\epsilon)}{\mu_\epsilon(p)a_\epsilon(p)}; \quad G = \frac{ms_\epsilon}{a_\epsilon(p)}, \quad B = \frac{mp}{z(p)};$$

$f_k(s_z, s_\epsilon)$  - kondensata görə nisbi faza keçiriciliyi;  $f_z(s_z)$  - qaza görə nisbi faza keçiriciliyi;  $f_\epsilon(s_\epsilon)$  - suya görə nisbi faza keçiriciliyi;  $\mu_\epsilon(p)$  - suyun özlülüyü;  $a_\epsilon(p)$  - suyun həcmi əmsalı;  $s_\epsilon$  - su ilə doyma;  $r_c$  və  $R_k$  - uyğun olaraq quyunun radiusu, dairəvi layın radiusu və ya quyunun təsir zonasının radiusudur. Digər parametrlərin adları əvvəlki fəsillərdən məlumdur.

(1)-(6) sisteminə daxil olan NFK funksiyalarının identifikasiyası üçün onların ifadələrinə daxil olan

$$f_z(s_z) = \alpha_1 s_z^{\alpha_2}, \quad f_k(s_z, s_\epsilon) = \alpha_3 ((1-s_{c\epsilon}) - (s_z + s_\epsilon))^{\alpha_4}, \quad f_\epsilon(s_\epsilon) = \alpha_5 s_\epsilon^{\alpha_6}, \quad (7)$$

naməlum  $\alpha_i$  ( $i=1,6$ ) parametrlərin elə qiymətlərinin təyini tələb olunur ki, (1)

- (6) məsələsinin həlli

$$J(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5, \alpha_6) = \int_0^{\bar{T}} [p(r_c, t) - p_c(t)]^2 dt + \varepsilon \left( \sum_{i=1}^6 \alpha_i^2 \right), \quad (8)$$

funksiyasının qiymətinə minimum versin. Burada  $p(r_c, t)$  - quyudibi təzyiqin düz məsələnin həllinə əsasən hesablanan qiyməti;  $p_c(t)$  - quyudibi təzyiqin mədən məlumatlarına əsasən məlum olan faktiki qiyməti;  $\varepsilon$  -requlyarizasiya parametridir.

Naməlum  $\Psi_1(r, t), \Psi_2(r, t), \Psi_3(r, t)$  funksiyaları daxil edilməklə baxılan (1)-(8) minimallaşdırılma məsələsi aşağıdakı ümumi funksionalın naməlum parametrlərə görə minimumunun tapılması məsələsinə gətirilir:

$$\begin{aligned} J(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5, \alpha_6) = & \int_0^{\bar{T}} [p(r_c, t) - p_c(t)]^2 dt + \iint_{D_1} \Psi_1(r, t) \left[ \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left\{ rA \frac{\partial p}{\partial r} \right\} - \frac{\partial B}{\partial t} \right] drdt + \\ & + \iint_{D_1} \Psi_2(r, t) \left[ \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left\{ rC \frac{\partial p}{\partial r} \right\} - \frac{\partial D}{\partial t} \right] drdt + \\ & \iint_{D_1} \Psi_3(r, t) \left[ \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left\{ rE \frac{\partial p}{\partial r} \right\} - \frac{\partial G}{\partial t} \right] drdt + \varepsilon \left( \sum_{i=1}^6 \alpha_i^2 \right). \end{aligned} \quad (9)$$

(9) funksionalının minimumunun tapılması (identifikasiya məsələsinin həlli) qradient üsulundan [4-6 və s.] istifadə olunmaqla yerinə yetirilir.  $\Psi_1(r, t)$ ,  $\Psi_2(r, t)$  və  $\Psi_3(r, t)$  funksiyalarının təyini üçün (1)-(6) düz məsələsinə qoşma olan məsələ aşağıdakı şəkildə təyin olunur:

$$\begin{aligned} B_p \frac{\partial \Psi_1}{\partial t} + D_p \frac{\partial \Psi_2}{\partial t} + G_p \frac{\partial \Psi_3}{\partial t} = & \left[ \frac{\partial}{\partial r} \left( \frac{\Psi_1}{r} \right) r A_p + \frac{\partial}{\partial r} \left( \frac{\Psi_2}{r} \right) r C_p + \frac{\partial}{\partial r} \left( \frac{\Psi_3}{r} \right) r E_p \right] \frac{\partial p}{\partial r} - \\ & - \frac{\partial}{\partial r} \left[ \frac{\partial}{\partial r} \left( \frac{\Psi_1}{r} \right) r A \right] - \frac{\partial}{\partial r} \left[ \frac{\partial}{\partial r} \left( \frac{\Psi_2}{r} \right) r C \right] - \frac{\partial}{\partial r} \left[ \frac{\partial}{\partial r} \left( \frac{\Psi_3}{r} \right) r E \right], \end{aligned} \quad (10)$$

$$B_{s_k} \frac{\partial \Psi_1}{\partial t} + D_{s_k} \frac{\partial \Psi_2}{\partial t} = \left[ \frac{\partial}{\partial r} \left( \frac{\Psi_1}{r} \right) r A_{s_k} + \frac{\partial}{\partial r} \left( \frac{\Psi_2}{r} \right) r C_{s_k} \right] \frac{\partial p}{\partial r}, \quad (11)$$

$$B_{s_e} \frac{\partial \Psi_1}{\partial t} + D_{s_e} \frac{\partial \Psi_2}{\partial t} + G_{s_e} \frac{\partial \Psi_3}{\partial t} = \left[ \frac{\partial}{\partial r} \left( \frac{\Psi_1}{r} \right) r A_{s_e} + \frac{\partial}{\partial r} \left( \frac{\Psi_2}{r} \right) r C_{s_e} + \frac{\partial}{\partial r} \left( \frac{\Psi_3}{r} \right) r E_{s_e} \right] \frac{\partial p}{\partial r}, \quad (12)$$

$$\Psi_1(r, \bar{T}) = \Psi_2(r, \bar{T}) = \Psi_3(r, \bar{T}) = 0, \quad (13)$$

$$\left[ \left( (\Psi_1 A_p + \Psi_2 C_p + \Psi_3 E_p) - (\Psi_1 A + \Psi_2 C + \Psi_3 E)(A + C)^{-1}(A_p + C_p) \right) \frac{\partial p}{\partial r} - \right.$$

$$-\left(\frac{\partial}{\partial r}\left(\frac{\Psi_1}{r}\right)rA + \frac{\partial}{\partial r}\left(\frac{\Psi_2}{r}\right)rC + \frac{\partial}{\partial r}\left(\frac{\Psi_3}{r}\right)rE\right) - (p(r_c, t) - p_c(t)) \Big|_{r=r_c} = 0, \quad (14)$$

$$\left[\left((\Psi_1 A_{s_k} + \Psi_2 C_{s_k}) - (\Psi_1 A + \Psi_2 C + \Psi_3 E)(A + C)^{-1}(A_{s_k} + C_{s_k})\right) \frac{\partial p}{\partial r}\right]_{r=r_c} = 0, \quad (15)$$

$$\left[\left((\Psi_1 A_{s_6} + \Psi_2 C_{s_6}) - (\Psi_1 A + \Psi_2 C + \Psi_3 E)(A + C)^{-1}(A_{s_6} + C_{s_6})\right) \frac{\partial p}{\partial r}\right]_{r=r_c} = 0, \quad (16)$$

$$\Psi_1(R_k, \bar{T}) = \Psi_2(R_k, \bar{T}) = \Psi_3(R_k, \bar{T}) = 0. \quad (17)$$

(10)-(17) məsələsində  $A_p, B_p, C_p, D_p, E_p, G_p, A_{s_k}, B_{s_k}, C_{s_k}, D_{s_k}, E_{s_k}, G_{s_k}, A_{s_6}, B_{s_6}, C_{s_6}, D_{s_6}, E_{s_6}, G_{s_6}$  -  $A, B, C, D, E$  və  $G$  funksiyaalarının  $p$ -yə,  $s_k$ -ə və  $s_6$ -ya görə törəmələrdir.

Beləliklə,  $\Psi_1(r, t)$ ,  $\Psi_2(r, t)$  və  $\Psi_3(r, t)$  funksiyaları təyin olunmaqla  $J(\alpha)$  ( $\alpha = (\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5, \alpha_6)$ ) funksiyası üçün artım aşağıdakı ifadə ilə təyin olunur:

$$\begin{aligned} \Delta J(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5, \alpha_6) = & \sum_{i=1}^4 \Delta \alpha_i \left\{ \iint_{D_1} \left[ \Psi_1 \left[ \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r A_{\alpha_i} \frac{\partial p}{\partial r} \right) + \Psi_2 \left[ \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r C_{\alpha_i} \frac{\partial p}{\partial r} \right) \right] \right] \right\} + \\ & + \int_0^{\bar{T}} \left( (\Psi_1 A + \Psi_2 C + \Psi_3 E)(A + C)^{-1} (A_{\alpha_i} + C_{\alpha_i}) \frac{\partial p}{\partial r} \right) \Big|_{r=r_c} dr dt + 2\varepsilon \alpha_i + \varepsilon \Delta \alpha_i \left\} + \\ & + \sum_{i=5}^6 \Delta \alpha_i \left\{ \iint_{D_1} \Psi_3 \left[ \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r E_{\alpha_i} \frac{\partial p}{\partial r} \right) \right] dr dt + 2\varepsilon \alpha_i + \varepsilon \Delta \alpha_i \right\}. \end{aligned} \quad (18)$$

Buradan,  $J$  funksiyasının qradienti üçün alırıq:

$$\begin{aligned} \frac{\partial J}{\partial \alpha_i} = & \iint_{D_1} \left\{ \Psi_1 \left[ \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r A_{\alpha_i} \frac{\partial p}{\partial r} \right) + \Psi_2 \left[ \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r C_{\alpha_i} \frac{\partial p}{\partial r} \right) \right] \right] \right\} dr dt + \\ & + \int_0^{\bar{T}} \left( (\Psi_1 A + \Psi_2 C + \Psi_3 E)(A + C)^{-1} (A_{\alpha_i} + C_{\alpha_i}) \frac{\partial p}{\partial r} \right) \Big|_{r=r_c} dr dt + 2\varepsilon \alpha_i, \quad i = \overline{1, 4}, \quad (19) \\ & \frac{\partial J}{\partial \alpha_i} = \iint_{D_1} \Psi_3 \left[ \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r E_{\alpha_i} \frac{\partial p}{\partial r} \right) \right] dr dt + 2\varepsilon \alpha_i, \quad i = 5, 6. \end{aligned}$$

Alınmış qradient ifadəsindən istifadə etməklə nisbi faza keçiriciliklərinin nəzəri ifadələrinə daxil olan axtarılan  $\alpha_i$  ( $i = \overline{1,6}$ ) parametrlərinin identifikasiyalı təyini üçün aşağıdakı iterasiya alınır:

$$\alpha_i^{k+1} = \alpha_i^k - \lambda_{ik} \frac{\partial J(\alpha_i^k)}{\partial \alpha_i}, \quad i = 1, 2, 3, 4, 5, 6. \quad (20)$$

Burada  $\frac{\partial J}{\partial \alpha_i}$  törəmələri (19) ifadələrinin köməyi ilə hesablanır. Beləliklə, NFK funksiyalarının təyini üçün tərs məsələnin həll alqoritmi aşağıdakı şəkildə təyin olunur:

$-\alpha_i$  ( $i = \overline{1,6}$ ) parametrlərinin ilkin qiyməti verilir və (1)-(6) düz məsələsi layın  $[0, \overline{T}]$  məlum işlənilmə tarixinə əsasən sonlu fərqlər üsulu [3,6 və s.] ilə həll edilir və zamanın müxtəlif addımlarında lay təzyiqi və qaz, su, kondensatla doymanın paylanması hesablamalarla təyin edilir.

- optimizasiya parametrləri (20) iterasiya yolu ilə tapılır.

- parametrlərinin təyininin iterasiya proseduru o vaxta qədər davam edir ki, iki qonşu iterasiyasda funksionalın qiymətləri fərqi verilən dəqiqliyi ödəyir.

NFK funksiyalarının identifikasiya alqoritmi lay modelində aprobeasiya olunmuşdur və aşağıdakı ilkin verilənlərlə xarakterizə olunur[5,6]:

$$a_g = 2,24 + 0,0095p, \quad (m^3 / m^3); \quad \mu_g(p) = 0.236 \text{ mPa} \cdot s;$$

$$k = 0,05 \text{ mkm}^2; \quad s_{c_g} = 0,2; \quad r_c = 0,1 \text{ m}; \quad R_k = 750 \text{ m}; \quad m = 0,2;$$

$$p_c = 36.0 \text{ MPa}; \quad p_0 = 40 \text{ MPa}; \quad p_k = 40 \text{ MPa}; \quad Q(t) = 5 \cdot 10^5 \text{ m}^3 / \text{gün}.$$

Hesablama modelinin realizasiyası zamanı nisbi faza keçiriciliklərinin lay məlumatlarına görə identifikasiyası aparılmış və nəticə olaraq

$$f_z(s_z) = 0.9 \cdot (s_z)^{2.89}, \quad f_k(s_z, s_g) = 0.78 \cdot (0.8 - (s_z + s_g))^{1.7},$$

$$f_g(s_g) = 1.25 s_g^2$$

şəklində təyin edilmişdir.

Beləliklə, mədən məlumatları əsasında subasqı rejimli qazkondensat layının müvafiq olaraq suya, qaza və kondensata görə nisbi faza keçiricilikləri funksiyalarının identifikasiyalı təyini proqnoz hesablamalarının dəqiqliyinin artırılmasını təmin etməklə real şəraitə layın hidrodinamik modelini adaptasiya etməyə imkan verir.

### Nəticə

Layın istismar göstəricilərinin faktiki məlumatlarının dəyişməsinə görə qazkondensat-su sisteminin süzülməsinin nisbi faza keçiricilikləri funksiyalarının təyini üçün üçfazlı hidrodinamik modelin parametrik identifikasiyası üsulu işlənmişdir.

## ƏDƏBİYYAT

1. Feyzullayev Kh.A., Khalilov M.S. Identification of heterogeneous stratum parameters in gas-condensate mixture filtration. IV International Conference “ Problems of cybernetics and informatics” Baku. 12-14 september, 2012. pp. 62-66
2. Абасов М.Т., Стреков А.С., Эфендиев Г.М. Повышение эффективности ограничения водопритоков в нефтяных скважинах. Баку: Nafta-Press, 2009, 256 с.
3. Азиз Х., Сеттари Э. Математическое моделирование пластовых систем: Пер. с английского. М.: Недра, 1982, 407 с.
4. Ентов В.М., Зазовский А.Ф. Гидродинамика процессов повышения нефтеотдачи. М.: Недра, 1989, 232с.
5. 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.
6. 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
7. 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, ВНИОЭНГ, М., 2018, №8, с.48-52

## ИДЕНТИФИКАЦИЯ ФУНКЦИЙ ОТНОСИТЕЛЬНО ПРОНИЦАЕМЫХ ГАЗОКОНДЕНСАТНЫХ ПЛАСТОВ

М.С.ХАЛИЛОВ

### РЕЗЮМЕ

Разработан метод параметрической идентификации трехфазной гидродинамической модели для определения функций относительной фазовой проницаемости фильтрации системы газ-газовый конденсат-вода в связи с изменением фактических характеристик пласта.

**Ключевые слова:** вода, газовый конденсат, идентификация, фаза, пласт.

## IDENTIFICATION OF FUNCTIONS RELATING TO PERMEABLE GAS CONDENSATE FORMATIONS

M.S.KHALILOV

### SUMMARY

A method for the parametric identification of a three-phase hydrodynamic model has been developed to determine the functions of the relative phase permeability of filtration of the gas condensate-water system in connection with changes in the actual characteristics of the reservoir.

**Keywords:** water, gas condensate, identification, phase, formation.