

İNFORMATİKA

УДК 622.276.1/4.001.57

**İŞLƏNİLMƏNİN SON MƏRHƏLƏSİNDƏ OLAN NEFT
YATAQLARININ QALIQ NEFT EHTİYATLARININ
ÇIXARILMASINDA POLİMER ƏSASLI NANOSİSTEMİN TƏTBİQİ
İMKANLARININ QIYMƏTLƏNDİRİLMƏSİ****M.S.XƏLİLOV***Bakı Dövlət Universiteti*
khalilov_mubariz@mail.ru

Gilli neft layına polimerlə təsir məsələsinə baxılır. Layda vurucu və hasilat quyuları yerləşir. Vurucu quyularda laya vurulan polimer məhlulunun miqdarı verilir. Layın vəziyyətinə uyğun sıxışdırılma prosesi rejimində hasilat quyularından hasil olunan fazaların və işlənilmənin digər texniki-texnoloji göstəricilərinin təyin olunması tələb olunur.

Açar sözlər: ədədi üsullar, neft, polimer, nanohissəcik, lay.

Neft yataqlarının işlənilməsi zamanı lay təzyiqinin saxlanması və layların neftvermə əmsalinin artırılması məqsədilə obyektlərə su və ya onun müxtəlif əlavələri vurulur. Bu proses səmərəli olsa da, onun tətbiqi nəticəsində layda iki tip qalıq neft formalaşır.

Birinci tip qalıq neft layın su ilə yuyulmuş zonalarında yaranır və ilkin neftlə müqayisədə məsamələrdə və süxur səthində kifayət qədər ağır komponentləri (qətran, asfalten, parafin) özündə saxlayır [1].

İkinci tip qalıq neft yatağın ilkin neftindən az fərqlənir və qeyri-bircins kollektorlardan neftin tam sıxışdırılmaması nəticəsində yaranır. Bu tip qalıq neftin formalaşmasının səbəbləri süxur-kollektorun qeyri-bircinslik quruluşu (müxtəlif keçiricilikli zonaların mövcudluğu), həmçinin sıxışdırılan və sıxışdırılan fluidlərin süzülmə qanunauyğunluqlarının müxtəlif olmasıdır [2,6].

Qalıq neftin çıxarılması probleminin həlli üçün çoxsaylı təsir üsulları işlənilmiş və mədənlərdə sınaqdan çıxarılaqla sənaye miqyasında tətbiq olunmuşdur [8-10 və s.]. Lakin bu problemin həlli hələ də açıq və aktual problem olaraq qalır.

Birinci və ikinci tip qalıq neftlərin çıxarılmasının təmin olunması üçün mövcud təsir üsullarını aşağıdakı şəkildə klassifikasiya etmək olar:

-istilik üsulları; məhsuldar laya bilavasitə istiliyin daxil edilməsi və ya

onun ötürülməsi yerinə yetirilir. Bu üsullara tsikli və ya kəsilməz buxarın vurulması, isti suyun vurulması, laydaxili yanma aiddir.

-qaz üsulları; laya CO_2 -qazının, azotun, karbohidrogen və dəm qazının vurulması aid edilir.

-fiziki-kimyəvi üsullar; hidrofil süxurda neftin bloklanma dərəcəsinin azaldılması üçün laya fazalar arası səthi gərilməni aşağı salan reagentlərin vurulmasına baxılır. Həmçinin süzülmə axınlarının dəyişdirilməsi və suyun qəbul edilməsinin profilinin bərabərləşdirilməsi üçün polimer və digər kimyəvi reagentlərdən istifadə edilir.

Dünyada qalıq neftin çıxarılmasında istifadə edilən üsulların bölgü payının təxminən 42%-i istilik üsullarının, 27%-i qaz üsullarının, 31%-i isə fiziki-kimyəvi üsulların tətbiqinə əsaslanır [8].

Fiziki-kimyəvi üsulların tətbiqi ilə qalıq neftin çıxarılmasında istifadə olunan texnologiyalar SAM qarışıqlarla, qələvilərlə, polimer dispers sistemlərlə, qel və çökmə yaradan reagentlər və polimer qarışıqlarla təsirə əsaslanır [7, 8].

Bu üsulların içərisində ən çox tətbiqini tapan polimerlərlə təsir üsuludur. Polimerli suvurmada çoxsaylı polimer reagentlər istifadə olunur və onların tətbiqinə əsaslanan aşağıdakı bir neçə əsas üsullar mövcuddur [9]: su və neftin hərəkətliliyi nisbətini azaldan polimer reagentlərin tətbiqi üsulu; layın həm dərinliyi üzrə və həmçinin quyudibi zonanın işlənilməsində yüksək keçiricilikli zonaları bağlamaq məqsədilə polimer sistemləri çarpaz tikə bilən təsir üsulu.

Eksperimental tədqiqatlar göstərir ki, qalıq neft ehtiyatlarının işlənilməyə cəlb edilməsi üçün Na-karboksimetil sellüloza, SAM, metal nanohissəciklərdən və sudan ibarət polimer əsaslı nanosistemin tətbiqi praktiki əhəmiyyətli olar.

Neftin və vurulan suyun özlülükləri nisbəti neft hasilatının artırılmasında vacib amillərdən hesab edilir. Laya vurulan suya yüksək molekullu polimerlər əlavə edildikdə sıxışdırılan fluidin özlülüyü artırılır və nəticədə neftin sıxışdırılma cəbhəsi kifayət qədər düzgün (müntəzəm) hala gəlir [9].

Qalıq neftin çıxarılma şəraitinin mürəkkəbliyi polimer reagentlərin tətbiqinə və onların daha da təkmilləşdirilməsinə kifayət qədər böyük tələblər qoyur və onların yaradılmasına yeni yanaşmaların işlənilməsinin zəruriliyini şərtləndirir. Kapilyar saxlanılma və təbəqə neftinin, həmçinin zəif keçiricilikli kollektorlarda və su ilə əhatə oluna bilinməyən lay hissələrində qalan neftin ümumi ehtiyatın daha çox hissəsini təşkil etdiyindən təsiretmə zamanı yüksək nüfuzetmə qabiliyyətli nanostrukturulu reagentlərin tətbiqi böyük əhəmiyyət daşıyır. Nanohissəcik əsaslı reagentin neftçıxarma sənayesində praktiki tətbiqi öz əksini çox az tapmışdır. Halbuki müxtəlif əsasda nanomaterialların mövcud sintez üsulları mövcud reagentlərin sintezindən əvvəl konkret üstünlüklərə malikdir. [9] eksperimental tədqiqatlar göstərir ki, nanohissəcik əsaslı polimer sistemlərin seçilməsi (hazırlanması) və onların sulu məhlulu ilə laya təsirdə süxur səthində və məsamə kanallarında toplanan qalıq neftin çıxarılma əmsalının 0.2-0.25 artımına nail olmaq mümkündür.

Bu məqsədlə süxur-kollektorun mineroloji tərkibini nəzərə almaqla laya polimer əsaslı məhlullarla təsiretmədə qalığ neft ehtiyatlarının işlənilməyə cəlb edilməsi ilə neftveriminin artırılması imkanlarının proqnoz qiymətləndirməsi aktualıq kəsb edir.

Məsələnin qoyuluşu

Gilli neft layına polimerlə təsir məsələsinə baxılır. Layda vurucu və hasilat quyuları yerləşir. Vurucu quyularda laya vurulan polimer məhlulunun miqdarı verilir. Layın vəziyyətinə uyğun sıxışdırılma prosesi rejimində hasilat quyularından hasil olunan fazaların və işlənilmənin digər texniki-texnoloji göstəricilərinin təyin olunması tələb olunur.

Proses hər bir faza üçün kəsilməzlik, süzülmə qanununun, fazaların hal tənliklərinin, sulu fazada duz və polimerin konsentrasiyası tənliklərinin və fazalar arasındakı doyma tənliyinin birgə kombinasiyası əsasında təklif olunan iki fazalı dörd komponentli model əsasında təsvir edilmişdir [1, 7]:

$$\frac{\partial}{\partial t} [ms + \omega] + \operatorname{div} U_e = \sum_{e=1}^{n_1} Q_{ee}^u(t) \delta(x - x_e^u, y - y_e^u) + \sum_{l=1}^{n_2} Q_{le}^v(t) \delta(x - x_l^v, y - y_l^v), \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} [m(1-s)] + \operatorname{div} U_u = \sum_{l=1}^{n_2} Q_{ju}^v(t) \delta(x - x_l^v, y - y_l^v), \quad (2)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t} [mcs + mr_1(1-s) + a_s] + \operatorname{div}(cU_e + r_1U_u) = \operatorname{div}(D_s \operatorname{grad} c) + \\ & + \sum_{e=1}^{n_1} cQ_{ee}^u(t) \delta(x - x_e^u, y - y_e^u) + \sum_{l=1}^{n_2} (cQ_{le}^v(t) + r_1Q_{lu}^v(t)) \delta(x - x_l^v, y - y_l^v), \quad (3) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t} [mbs + mr_2(1-s) + a_p] + \operatorname{div}(bU_e + r_2U_u) = \operatorname{div}(D_p \operatorname{grad} b) + \\ & + \sum_{e=1}^{n_1} bQ_{ee}^u(t) \delta(x - x_e^u, y - y_e^u) + \sum_{l=1}^{n_2} (bQ_{le}^v(t) + r_2Q_{lu}^v(t)) \delta(x - x_l^v, y - y_l^v), \quad (4) \end{aligned}$$

$$s(x, y, t)|_{t=0} = s_0(x, y), \quad c(x, y, t)|_{t=0} = c_0(x, y),$$

$$b(x, y, t)|_{t=0} = b_0(x, y), \quad (0 \leq x \leq l_x; 0 \leq y \leq l_y), \quad (5)$$

$$\left. \frac{\partial p_e}{\partial x} \right|_{x=0, l_x} = 0, \quad \left. \frac{\partial b}{\partial x} \right|_{x=0, l_x} = 0, \quad \left. \frac{\partial c}{\partial x} \right|_{x=0, l_x} = 0, \quad 0 \leq y \leq l_y,$$

$$\left. \frac{\partial p_e}{\partial y} \right|_{y=0, l_y} = 0, \quad \left. \frac{\partial b}{\partial y} \right|_{y=0, l_y} = 0, \quad \left. \frac{\partial c}{\partial y} \right|_{y=0, l_y} = 0, \quad 0 \leq x \leq l_x, 0 \leq t \leq T, \quad (6)$$

burada

$$U_l = \begin{cases} -\frac{kf_l(s,b,c)}{\mu_l(s,b,c)} \text{grad}p_l \left[1 - \frac{G_l}{\text{grad}p_l} \right], & \text{grad}p_l > G_l, \\ 0, & \text{grad}p_l < G_l, \quad G_l = G_l(s,b,c) \end{cases}$$

$$p_H - p_\epsilon = \sigma \sqrt{\frac{m}{k}} J(s,b,c); \quad (7)$$

$$m = m(s,b,c); \quad \omega = \omega(s,b,c); \quad a_s = a_s(s,c); \quad a_p = a_p(s,b,c);$$

U_l - fazaların süzülmə sürəti ($l = \epsilon$ - su, $l = H$ - neft); s - su ilə doyma; $(1-s)$ - neftlə doyma; ω -gilə adsorbsiya olunmuş suyun miqdarı; c və b , r_1 və r_2 - uyğun olaraq su və neftdə duzun və polimerin konsentrasiyaları; a_s və a_p - sorbsiya olunmuş suyun və polimerin miqdarı; k - mütləq keçiricilik; μ_l ($l = \epsilon, H$) - fazaların özlülüyü; f_l ($l = \epsilon, H$) - nisbi faza keçiricilikləri; G_l ($l = \epsilon, H$) -süzülmənin başlanğıc qradiyenti; p_l ($l = \epsilon, H$) -fazalarda təzyiq; σ - fazaların ayrılma sərhəddində səthi gərginlik; J - Leverett funksiyası; m_1 və m_2 - uyğun olaraq vurucu və hasilat quyularının sayı; (x_i^H, y_i^H) və $(x_j^\epsilon, y_j^\epsilon)$ - vurucu və hasilat quyularının koordinatları; $Q_{ei}^H(t)$ - layın vahid hündürlüyündə i -ci vurucu quyunun suya görə həcmi sərfi; $Q_{ej}^\epsilon(t)$ və $Q_{ij}^\epsilon(t)$ - layın vahid hündürlüyündə j -cu hasilat quyusunun su və neft fazalarına görə həcmi debitləri; m -məsaməlik; t -zamandır.

(1)-(7) tənliklər sistemində naməlum kəmiyyətlər su ilə doyma(s), su fazasında duz(c) və polimer konsentrasiyası (b)və su fazasının (p_ϵ) təzyiqidir.

(1)-(7) sistemindən U_ϵ, U_H fazalarının süzülmə sürətlərini və neft fazasının p_n təzyiqini yox etməklə və bəzi hesablamaları çevrilmələrini aparmaqla p_ϵ, s, c və b -yə nəzərən məsələ alınır:

$$\text{div}(\lambda_{n\epsilon} \text{grad}p_\epsilon) + \text{div}(\lambda_n \text{grad}p_k) + \text{div}(\lambda_w) + \frac{\partial}{\partial t} [m + \omega] = \sum_{e=1}^{n_1} Q_{ee}^H(t) \delta(x - x_e^H, y - y_e^H) + \sum_{l=1}^{n_2} (Q_{le}^\epsilon(t) + Q_{ln}^\epsilon(t)) \delta(x - x_l^\epsilon, y - y_l^\epsilon), \quad (8)$$

$$\frac{\partial s}{\partial t} = \frac{1}{m} \left\{ [\text{div}(\lambda_\epsilon \text{grad}p_\epsilon)] + \text{div}(\lambda_\epsilon G_\epsilon) - s \frac{\partial m}{\partial t} - \frac{\partial \omega}{\partial t} + \sum_{e=1}^{n_1} Q_{ee}^H(t) \delta(x - x_e^H, y - y_e^H) \right\}, \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial c}{\partial t} = \frac{1}{ms} & \left\{ \left[\operatorname{div}(D_s \operatorname{grad} c) \right] - \frac{\partial [mr_1(1-s) + a_s]}{\partial t} - c \frac{\partial ms}{\partial t} - \operatorname{div}[(c\lambda_\epsilon + r_1\lambda_n) \operatorname{grad} p_\epsilon] - \right. \\ & - \operatorname{div}[r_1\lambda_n \operatorname{grad} p_k] - \operatorname{div}[(c\lambda_\epsilon + r_1\lambda_n)] + \sum_{e=1}^{n_1} cQ_{e\epsilon}^H(t) \delta(x - x_\epsilon^H, y - y_\epsilon^H) + \\ & \left. + \sum_{l=1}^{n_2} (cQ_{l\epsilon}^Q(t) + r_1Q_{lh}^Q(t)) \delta(x - x_l^Q, y - y_l^Q) \right\}, \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial b}{\partial t} = \frac{1}{ms} & \left\{ \left[\operatorname{div}(D_p \operatorname{grad} b) \right] - \frac{\partial [mr_2(1-s) + a_p]}{\partial t} - b \frac{\partial ms}{\partial t} - \operatorname{div}[(b\lambda_\epsilon + r_2\lambda_n) \operatorname{grad} p_\epsilon] - \right. \\ & - \operatorname{div}[r_2\lambda_n \operatorname{grad} p_k] - \operatorname{div}[(b\lambda_\epsilon + r_2\lambda_n)] + \sum_{e=1}^{n_1} bQ_{e\epsilon}^H(t) \delta(x - x_\epsilon^H, y - y_\epsilon^H) + \\ & \left. + \sum_{l=1}^{n_2} (bQ_{l\epsilon}^Q(t) + r_2Q_{lh}^Q(t)) \delta(x - x_l^Q, y - y_l^Q) \right\}, \end{aligned} \quad (11)$$

Burada

$$\lambda_{n_\epsilon} = \lambda_\epsilon + \lambda_n, \quad -k \frac{f_\epsilon(s, b, c)}{\mu_\epsilon(p, b, c)} = \lambda_\epsilon, \quad -k \frac{f_n(s, b, c)}{\mu_n(p, b, c)} = \lambda_n, \quad G_\epsilon \lambda_\epsilon + G_n \lambda_n = \lambda_w.$$

qəbul olunmuşdur.

Ədədi həll sxemi

p_ϵ , s , c və b -ni təyin etmək üçün fəza və zamana görə $\omega = \omega_x \cdot \omega_y \cdot \omega_t$ sonlu fərqlər şəbəkəsi daxil edək

$$\omega_x = \left\{ x_i, i = \overline{0, N_x}; x_0 = 0, x_{N_x} = L_x, x_{i-1} \leq x_i \leq x_{i+1}, i = \overline{1, N_{x-1}} \right\}$$

$$\omega_y = \left\{ y_j, j = \overline{0, N_y}; y_0 = 0, y_{N_y} = L_y, y_{j-1} \leq y_j \leq y_{j+1}, j = \overline{1, N_{y-1}} \right\}$$

$$\omega_t = \left\{ t_n = n\Delta\tau, n = 0, 1, 2, \dots, t_0 = 0, t_{n+1} \geq t_n \right\}$$

və (8)-(11) tənliklər sisteminə və (6), (7) başlanğıc, sərhəd şərtinə integral-İnterpolyasiya üsulunu qeyri-müntəzəm $\omega = \omega_x \cdot \omega_y \cdot \omega_t$ şəbəkəsində tətbiq etməklə aşağıdakı şəkildə birinci tərtib konservativ sonlu-fərqlər sxemi alınır:

$$\begin{aligned} & \frac{1}{\Delta x_i} \left[\lambda_{n\epsilon\epsilon+1/2, j}^{n+1} \frac{P_{\epsilon i+1, j}^{n+1} - P_{\epsilon i, j}^{n+1}}{x_{i+1} - x_i} - \lambda_{n\epsilon\epsilon-1/2, j}^{n+1} \frac{P_{\epsilon i, j}^{n+1} - P_{\epsilon i-1, j}^{n+1}}{x_i - x_{i-1}} \right] + \\ & + \frac{1}{\Delta y_j} \left[\lambda_{n\epsilon\epsilon, j+1/2}^{n+1} \frac{P_{\epsilon i, j+1}^{n+1} - P_{\epsilon i, j}^{n+1}}{y_{j+1} - y_j} - \lambda_{n\epsilon\epsilon, j-1/2}^{n+1} \frac{P_{\epsilon i, j}^{n+1} - P_{\epsilon i, j-1}^{n+1}}{y_j - y_{j-1}} \right] + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{1}{\Delta x_i} \left[\lambda_{ni+1/2,j}^{n+1} \frac{P_{ki+1,j}^{n+1} - P_{ki,j}^{n+1}}{x_{i+1} - x_i} - \lambda_{ni-1/2,j}^{n+1} \frac{P_{ki,j}^{n+1} - P_{ki-1,j}^{n+1}}{x_e - x_{e-1}} \right] + \\
& + \frac{1}{\Delta y_j} \left[\lambda_{ni,j+1/2}^{n+1} \frac{P_{ki,j+1}^{n+1} - P_{ki,j}^{n+1}}{y_{j+1} - y_j} - \lambda_{ni,j-1/2}^{n+1} \frac{P_{ki,j}^{n+1} - P_{ki,j-1}^{n+1}}{y_j - y_{j-1}} \right] + \\
& + \frac{1}{\Delta x_i} [\lambda_{wi+1,j}^{n+1} - \lambda_{wi,j}^{n+1}] + \frac{1}{\Delta y_j} [\lambda_{wi,j+1}^{n+1} - \lambda_{wi,j}^{n+1}] + \frac{1}{\Delta \tau} [m_{i,j}^{n+1} - m_{i,j}^n + \omega_{i,j}^{n+1} - \omega_{i,j}^n] = \\
& = \sum_{e=1}^{m_1} Q_{ee}^n(t_n) \bar{\delta}_{ei,j}^n + \sum_{l=1}^{m_2} (Q_{el}^o(t_n) + Q_{nl}^o(t_n)) \bar{\delta}_{ei,j}^o, \quad (12)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
s_{i,j}^{n+1} = s_{i,j}^n & + \frac{\Delta \tau}{m_{i,j}^n} \left\{ \frac{1}{\Delta x_i} \left[\lambda_{ei+1/2,j}^{n+1} \frac{P_{ei+1,j}^{n+1} - P_{ei,j}^{n+1}}{x_{i+1} - x_i} - \right. \right. \\
& - \left. \lambda_{ei-1/2,j}^{n+1} \frac{P_{ei,j}^{n+1} - P_{ei-1,j}^{n+1}}{x_i - x_{i-1}} \right] + \frac{1}{\Delta y_j} \left[\lambda_{ei,j+1/2}^{n+1} \frac{P_{ei,j+1}^{n+1} - P_{ei,j}^{n+1}}{y_{j+1} - y_j} - \right. \\
& - \left. \lambda_{ei,j-1/2,k}^{n+1} \frac{P_{ei,j}^{n+1} - P_{ei,j-1}^{n+1}}{y_j - y_{j-1}} \right] + \frac{1}{\Delta x_i} [\lambda_{ei+1,j}^{n+1} G_{ei+1,j}^{n+1} - \lambda_{ei,j}^{n+1} G_{ei,j}^{n+1}] + \\
& + \frac{1}{\Delta y_j} [\lambda_{ei,j+1}^{n+1} G_{ei,j+1}^{n+1} - \lambda_{ei,j}^{n+1} G_{ei,j}^{n+1}] - s_{i,j}^n \frac{1}{\Delta \tau} [m_{i,j}^{n+1} - m_{i,j}^n + \omega_{i,j}^{n+1} - \omega_{i,j}^n] + \\
& \left. + \sum_{e=1}^{n_1} Q_{ee}^n(t_n) \bar{\delta}_{ei,j}^n \right\}, \quad (13)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
c_{i,j}^{n+1} = c_{i,j}^n & + \frac{\Delta \tau}{m_{i,j}^n s_{i,j}^n} \left\{ \frac{1}{\Delta x_i} \left[D_{i+1/2,j}^{n+1} \frac{c_{i+1,j}^n - c_{i,j}^n}{x_{i+1} - x_i} - D_{i-1/2,j,k}^{n+1} \frac{c_{i,j}^n - c_{i-1,j}^n}{x_i - x_{i-1}} \right] + \right. \\
& + \frac{1}{\Delta y_j} \left[D_{i,j+1/2}^{n+1} \frac{c_{i,j+1}^n - c_{i,j}^n}{y_{j+1} - y_j} - D_{i,j-1/2}^{n+1} \frac{c_{i,j}^n - c_{i,j-1}^n}{y_j - y_{j-1}} \right] + \\
& - \frac{1}{\Delta \tau} \{ m_{i,j}^{n+1} r_{li,j}^{n+1} (1 - s_{i,j}^{n+1}) + a_{si,j}^{n+1} - m_{i,j}^n r_{li,j}^n (1 - s_{i,j}^n) - a_{si,j}^n \} - c_{i,j}^n \frac{1}{\Delta \tau} [m_{i,j}^{n+1} s_{i,j}^{n+1} - m_{i,j}^n s_{i,j}^n] - \\
& - \frac{1}{\Delta x_i} \left[(c_{i+1/2,j}^n \lambda_{ei+1/2,j}^{n+1} + r_{li+1/2,j}^n \lambda_{ni+1/2,j}^{n+1}) \frac{P_{ei+1,j}^{n+1} - P_{ei,j}^{n+1}}{x_{i+1} - x_i} - \right.
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& - (c_{i-1/2,j}^n \lambda_{ei-1/2,j}^{n+1} + r_{1i-1/2,j}^n \lambda_{ni-1/2,j}^{n+1}) \frac{P_{ei,j}^{n+1} - P_{ei-1,j}^{n+1}}{x_i - x_{i-1}} \Big] - \\
& - \frac{1}{\Delta y_j} \left[(c_{i,j+1/2}^n \lambda_{ei,j+1/2}^{n+1} + r_{1i,j+1/2}^n \lambda_{ni,j+1/2}^{n+1}) \frac{P_{ei,j+1}^{n+1} - P_{ei,j}^{n+1}}{y_{j+1} - y_j} - \right. \\
& \left. - (c_{i,j-1/2}^n \lambda_{ei,j-1/2}^{n+1} + r_{1i,j-1/2}^n \lambda_{ni,j-1/2}^{n+1}) \frac{P_{ei,j}^{n+1} - P_{ei,j-1}^{n+1}}{y_j - y_{j-1}} \right] - \\
& - \frac{1}{\Delta x_i} \left[r_{1i+1/2,j}^n \lambda_{ni+1/2,j}^{n+1} \frac{P_{ki+1,j}^{n+1} - P_{ki,j}^{n+1}}{x_{i+1} - x_i} - r_{1i-1/2,j}^n \lambda_{ni-1/2,j}^{n+1} \frac{P_{ki,j}^{n+1} - P_{ki-1,j}^{n+1}}{x_i - x_{i-1}} \right] - \\
& - \frac{1}{\Delta y_j} \left[r_{1i,j+1/2}^n \lambda_{ni,j+1/2}^{n+1} \frac{P_{ki,j+1}^{n+1} - P_{ki,j}^{n+1}}{y_{j+1} - y_j} - r_{1i,j-1/2}^n \lambda_{ni,j-1/2}^{n+1} \frac{P_{ki,j}^{n+1} - P_{ki,j-1}^{n+1}}{y_j - y_{j-1}} \right] - \\
& - \frac{1}{\Delta x_i} \left[(c_{i+1,j}^n \lambda_{ei+1,j}^{n+1} + r_{1i+1,j}^n \lambda_{ni+1,j}^{n+1}) - (c_{i,j}^n \lambda_{ei,j}^{n+1} + r_{1i,j}^n \lambda_{ni,j}^{n+1}) \right] - \\
& - \frac{1}{\Delta y_j} \left[(c_{i,j+1}^n \lambda_{ei,j+1}^{n+1} + r_{1i,j+1}^n \lambda_{ni,j+1}^{n+1}) - (c_{i,j}^n \lambda_{ei,j}^{n+1} + r_{1i,j}^n \lambda_{ni,j}^{n+1}) \right] + \\
& + \left. \sum_{e=1}^{m_1} c_{i,j}^n \mathcal{Q}_{ee}^n(t_n) \bar{\delta}_{ei,j}^n + \sum_{l=1}^{m_2} (c_{i,j}^n \mathcal{Q}_{ei}^n(t_n) + r_{1i,j}^n \mathcal{Q}_{lu}^n(t_n)) \bar{\delta}_{ei,j}^n \right\}, \tag{14} \\
& b_{i,j}^{n+1} = b_{i,j}^n + \frac{\Delta \tau}{m_{i,j}^n s_{i,j}^n} \left\{ \frac{1}{\Delta x_i} \left[D_{i+1/2,j}^{n+1} \frac{b_{i+1,j}^n - b_{i,j}^n}{x_{i+1} - x_i} - D_{i-1/2,j,k}^{n+1} \frac{b_{i,j}^n - b_{i-1,j}^n}{x_i - x_{i-1}} \right] + \right. \\
& + \frac{1}{\Delta y_j} \left[D_{i,j+1/2}^{n+1} \frac{b_{i,j+1}^n - b_{i,j}^n}{y_{j+1} - y_j} - D_{i,j-1/2}^{n+1} \frac{b_{i,j}^n - b_{i,j-1}^n}{y_j - y_{j-1}} \right] + \\
& - \frac{1}{\Delta \tau} \left[m_{i,j}^{n+1} r_{2i,j}^n (1 - s_{i,j}^{n+1}) + a_{si,j}^n - m_{i,j}^n r_{2i,j}^n (1 - s_{i,j}^n) - a_{si,j}^n \right] - b_{i,j}^n \frac{1}{\Delta \tau} \left[m_{i,j}^{n+1} s_{i,j}^{n+1} - m_{i,j}^n s_{i,j}^n \right] - \\
& - \frac{1}{\Delta x_i} \left[(b_{i+1/2,j}^n \lambda_{ei+1/2,j}^{n+1} + r_{2i+1/2,j}^n \lambda_{ni+1/2,j}^{n+1}) \frac{P_{ei+1,j}^{n+1} - P_{ei,j}^{n+1}}{x_{i+1} - x_i} - \right. \\
& \left. - (b_{i-1/2,j}^n \lambda_{ei-1/2,j}^{n+1} + r_{2i-1/2,j}^n \lambda_{ni-1/2,j}^{n+1}) \frac{P_{ei,j}^{n+1} - P_{ei-1,j}^{n+1}}{x_i - x_{i-1}} \right] -
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& -\frac{1}{\Delta y_j} \left[(b_{i,j+1/2}^n \lambda_{ei,j+1/2}^{n+1} + r_{2i,j+1/2}^n \lambda_{ni,j+1/2}^{n+1}) \frac{p_{ei,j+1}^{n+1} - p_{ei,j}^{n+1}}{y_{j+1} - y_j} - \right. \\
& \quad \left. - (b_{i,j-1/2}^n \lambda_{ei,j-1/2}^{n+1} + r_{2i,j-1/2}^n \lambda_{ni,j-1/2}^{n+1}) \frac{p_{ei,j}^{n+1} - p_{ei,j-1}^{n+1}}{y_j - y_{j-1}} \right] - \\
& -\frac{1}{\Delta x_i} \left[r_{2i+1/2,j}^n \lambda_{ni+1/2,j}^{n+1} \frac{p_{ki+1,j}^{n+1} - p_{ki,j}^{n+1}}{x_{i+1} - x_i} - r_{2i-1/2,j}^n \lambda_{ni-1/2,j}^{n+1} \frac{p_{ki,j}^{n+1} - p_{ki-1,j}^{n+1}}{x_i - x_{i-1}} \right] - \\
& -\frac{1}{\Delta y_j} \left[r_{2i,j+1/2}^n \lambda_{ni,j+1/2}^{n+1} \frac{p_{ki,j+1}^{n+1} - p_{ki,j}^{n+1}}{y_{j+1} - y_j} - r_{2i,j-1/2}^n \lambda_{ni,j-1/2}^{n+1} \frac{p_{ki,j}^{n+1} - p_{ki,j-1}^{n+1}}{y_j - y_{j-1}} \right] - \\
& -\frac{1}{\Delta x_i} \left[(b_{i+1,j}^n \lambda_{ei+1,j}^{n+1} + r_{2i+1,j}^n \lambda_{ni+1,j}^{n+1}) - (b_{i,j}^n \lambda_{ei,j}^{n+1} + r_{2i,j}^n \lambda_{ni,j}^{n+1}) \right] - \\
& -\frac{1}{\Delta y_j} \left[(b_{i,j+1}^{n+1} \lambda_{ei,j+1}^{n+1} + r_{2i,j+1}^{n+1} \lambda_{ni,j+1}^{n+1}) - (b_{i,j}^{n+1} \lambda_{ei,j}^{n+1} + r_{2i,j}^{n+1} \lambda_{ni,j}^{n+1}) \right] + \\
& + \left. \sum_{e=1}^{m_1} b_{i,j}^n Q_{e\bar{e}}^n(t_n) \bar{\delta}_{ei,j}^n + \sum_{l=1}^{m_2} (b_{i,j}^n Q_{el}^n(t_n) + r_{2i,j}^n Q_{li}^n(t_n)) \bar{\delta}_{ei,j}^n \right\}, \quad (15)
\end{aligned}$$

$$s_{i,j}^0 = s_0(x_i, y_j), \quad c_{i,j}^0 = c_0(x_i, y_j), \quad b_{i,j}^0 = b_0(x_i, y_j) \quad (0 \leq i \leq N_x, \quad 0 \leq j \leq N), \quad (16)$$

$$p_{e1,j}^n = p_{e0,j}^n, \quad p_{eN_x,j}^n = p_{eN_x-1,j}^n; \quad p_{ei,1}^n = p_{ei,0}^n, \quad p_{ei,N_y}^n = p_{ei,N_y-1}^n;$$

$$b_{1,j}^n = b_{0,j}^n, \quad b_{N_x,j}^n = b_{N_x-1,j}^n, \quad b_{i,1}^n = b_{i,0}^n, \quad b_{i,N_y}^n = b_{i,N_y-1}^n,$$

$$c_{1,j}^n = c_{0,j}^n, \quad c_{N_x,j}^n = c_{N_x-1,j}^n, \quad c_{i,1}^n = c_{i,0}^n, \quad c_{i,N_y}^n = c_{i,N_y-1}^n, \quad (0 \leq i \leq N_x, \quad 0 \leq j \leq N_y). \quad (17)$$

Burada

$$\bar{\delta}_{ei,j}^n = \begin{cases} 0, & x_i \neq x_e^n, y_j \neq y_e^n \\ 1, & x_i = x_e^n, y_j = y_e^n \end{cases}; \quad \bar{\delta}_{li,j}^n = \begin{cases} 0, & x_i \neq x_l^n, y_j \neq y_l^n \\ 1, & x_i = x_l^n, y_j = y_l^n \end{cases}.$$

(12)-(17) sonlu fərqlər sxemi (8)-(11), (6)-(7) hidrodinamik məsələsinin həllini "təzyiqə görə qeyri-aşkar, su ilə doyma, duz və polimer konsentrasiyasına görə aşkar" şəkildə tapmağa imkan verir. Təzyiqə görə sonlu fərqlər sxemi iterasiyalı nöqtəvi Yakobi üsulu ilə, su doyma və su fazasında duz və polimer konsentrasiyasına görə isə Eyley üsulu ilə həll edilir [1].

Qalıq neftin polimer əsəşli məhlullarla sıxışdırılmasında neftveriminin proqnozu

Təklif olunan hesablama modelinə əsasən, neft hasilatının artırılması imkanlarının qiymətləndirməsi üçün neftin su ilə sıxışdırılmasının baza variantı

ilə müqayisədə neftin polimer əsaslı məhlullar ilə sıxışdırılmasının test hesablamaları yerinə yetirilmişdir.

Laya polimer əsaslı məhlullarla təsiretmə üsulunun effektivliyinin qiymətləndirilməsi geoloji-fiziki şəraitə uyğunluğu özündə saxlayan “Bibiheybət-neft” NQÇİ –nin VLd-VL horizontu üzrə sahədə aparılmışdır.

Sahənin mədən məlumatlarına görə hesablanmış ehtiyatların nəticəsi ilə çıxarılan neftin nəticəsinin müqayisəsi əsasən orada kifayət qədər qalığ neft ehtiyatlarının mövcudluğunu təsdiq edir.

Bununla əlaqədar olaraq sahə quyularının müəyyən müddət üçün neft və suya görə debitlərinin dəyişməsi dinamikası əsasında hidrodinamik modelin sahəyə adaptasiyası (sazlanması) aparılmış və nəticədə neft və suya görə nisbi faza keçiricilikləri funksiyaları identifikasiya olunmuşdur.

$$f_u(s) = \left(\frac{0.912 - s}{0.64} \right)^3, f_g(s, 0, 0.2) = \left(\frac{s - 0.17}{0.87} \right)^{2.73}$$

Hidrodinamik modelin sahəyə adaptasiyasından sonra texnoloji prosesinin tənzimlənməsi ilə neftveriminin artırılması imkanları proqnozlaşdırılmışdır.

Praktikada polimer qarışığının 0,4-dən 10 q/l-ə qədər konsentrasiyası tətbiq edilir. KMS polimerinin müxtəlif şəraitlərdə reoloji xassələrinin tədqiqi üçün 0,5; 1; 2; 3; 4 və 5 q/l konsentrasiyası qarışığından istifadə edilmişdir.

Beləliklə, özlülüyün temperaturdan asılılığını və polimerin lay suyu ilə qarşılıqlı təsir mexanizmini əsas götürərək sərbəst həcmli məhlullardakı polimerin LTS-sı agenti kimi tətbiqi üçün rəasional konsentrasiyası KMS üçün 5q/l seçilmişdir.

Verilmiş sahədə qeyd olunan məlumatları əsas tutaraq polimer əsaslı suvurmanın müxtəlif variantlarının hesablamaları aparılmış və bu zaman prosesin 10 il davamlı olaraq aparılması yerinə yetirilmişdir.

Variantların hesablama nəticələri cədvəl 1 və şəkil 1-də gətirilmişdir.

İşlənilmənin baza variantında (suvurmada) cəm neft hasilatı 86,066 min ton, polimer əsaslı məhlul ilə işlənilmədə isə maksimal cəm neft hasilatı 89,935 min ton və neftin çıxarılma əmsalının cari qiymət artımı 4,6% təşkil edir.

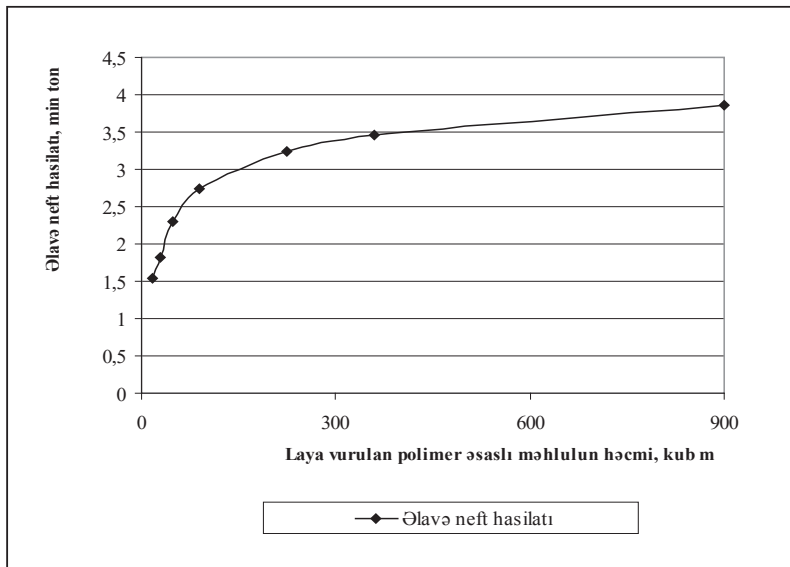
Cədvəl 1

Hesablama modelinin nəticələri

Variantlar	Hasil olunan neftin miqdarı, min ton	Cari neftin çıxarılma əmsalı	Baza variantı ilə müqayisədə NÇƏ-nin artımı, %	Əlavə neft hasilatı, min ton
Baza	86,066	0,1654	-	-
1.	87,599	0,169	2,18	1,533
2.	87,891	0,169021	2,19	1,825
3.	88,366	0,16994	2,75	2,3
4.	88,803	0,1708	3,3	2,737
5.	89,314	0,1718	3,87	3,244
6.	89,534	0,1722	4,2	3,468
7.	89,935	0,173	4,6	3,869

Əlavə neft hasilatının həcmi verilən lay hissəsinə 18 m³-dən 360 m³-ə qədər polimer əsaslı məhlul vurmada kəskin artır (şəkil 1). Eyni zamanda vurulan məhlulun həcmnin artması ilə əlavə neft hasilatı artır, lakin onun artımı vurulan məhlulun vahid həcmində kəskin azalır. Bununla əlaqədar baxılan lay hissəsində 360 m³ məhlulun vurucu quyuya birdəfəlik vurulmasının daha effektivli olması qəbul edilir (KMS əsaslı polimer məhlulun 5q/l konsentrasiyasında).

Polimer əsaslı məhlul vurmada gözlənilən effektin olmasını hasilat quyularında reaksiya olunan effektin qiymətləndirilməsi, yəni 1519, 2779 və 2781 sayılı quyularda sulaşmanın uyğun olaraq 73 % -dən 34% -ə, 70% -dən 29% -ə, 77 % -dən 36% -ə qədər enməsi və neft hasilatının isə 1,33; 1,24; 1,4 dəfə artması göstərir.



Şək. 1. Əlavə neft hasilatının laya vurulan polimer əsaslı məhlulun həcmindən asılılığı

Nəticə:

-polimer əsaslı məhlula daxil olan suyun minerallaşma dərəcəsini sahənin lay suyunun minerallıq dərəcəsinə nəzərən azaltmaqla sıxışdırılan məhsulda sulaşmasının məhdudlandırılması hesabına neftin daha çox çıxarılmasını təmin etmək olar.

-vurulan agentin axınını kollektorun su ilə yaxşı işlənmiş hissələrinə yönəltməklə həmin hissələrin bağlanması hesabına (tədris olunmanın hesabına) neft ehtiyatlarının tam sıxışdırılmasını təmin etməklə hasilatın intensivləşməsinə təmin etmək mümkündür.

ƏDƏBİYYAT

1. Азиз Х., Сеттари Э. Математическое моделирование пластовых систем: Пер. с английского. М.: Недра, 1982, 407 с.

2. Алтунина Л.К., Кувшинов В.А. Физико-химические аспекты технологий увеличения нефтеотдачи: обзор//Химия в интересах устойчивого развития. 2001, № 9, с. 331–344.
3. Альварардо В., Манрик Э. Методы увеличения нефтеотдачи пластов. Планирование и стратегии применения. М.: Премиум Инжиниринг, 2011, 244 с.
4. Демахин С.А., Демахин А.Г. Селективные методы изоляции водопритока в нефтяные скважины. Саратов: Изд-во ГосУНЦ «Колледж», 2003, 164 с.
5. Методы извлечения остаточной нефти/М.Л. Сургучев, А.Т. Горбунов, Д.П. Забродин и др. М.: Недра, 1991, 347 с.
6. Применение коллоидных систем для увеличения нефтеотдачи пластов/О.Ю. Сладовская, Д.А. Куряшов, А.И. Лахова, Р.Р. Мингазов, И.Ф. Исмагилов, Б.Р. Вагапов//Вестник Казанского технологического университета. 2010, № 10, с. 585–591.
7. Сулейманов Б.А., Фейзуллаев Х.А. Моделирование изоляции водопритоков при разработке зонально-неоднородных нефтяных пластов// Изв. НАН Азерб., серия Наук о Земле, 2017, №1, с.72-81
8. Сургучев Л.М. Увеличение нефтеотдачи пластов: статус и перспективы. Материалы II Международного научного симпозиума. М., 2009, с. 62 – 69.
9. Хавкин А.Я. Нефтегазовые нанотехнологии – основа экономики XXI века//Нанотехнологии. Экология. Производство. 2013, № 2, с. 54–59.
10. 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. М.: ОАО, ВИННОЭНГ, 2018, №8, с.48-52
11. Feyzullayev Kh.A., Khalilov M.S. Numerical modeling of the water-gas stimulation of gas-condensate stratum in the final stage of development. Journal of Engineering Physics and Thermophysics, Minsk, 2019, pp.1214-1223 (перевод на английский язык) Springer
12. Халилов М.С. Разработки глубокозалегающих газоконденсатных залежей в режиме истощения. «Математическое моделирование процессов и систем»: Материалы IX Межд. науч.-практ. конф., 30 октября – 1 ноября 2019 г., г. Стерлитамак. Башкирский Государственный Университет- Институт Стратегических Исследований. г. Уфа (Россия), с.375-379
13. Alvarado V., Manrique E. Enhanced oil recovery: an update review//Energies. 2010, № 3, p. 1529-1575.

ОЦЕНИВАНИЯ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛИМЕРНОЙ НАНОСИСТЕМЫ В ДОБЫЧЕ НЕФТЕПРОДУКТОВ ИЗ НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА ПОСЛЕДНЕМ ЭТАПЕ РАЗРАБОТКИ

М.С.ХАЛИЛОВ

РЕЗЮМЕ

Рассмотрено влияние полимера на слой глинистого нефтью. В пласте имеются нагнетательные и добывающие скважины. Приведено количество раствора полимера, закачанного в пласт в нагнетательных скважинах. В зависимости от состояния пласта требуется определить фазы, добываемые из эксплуатационных скважин, и другие технико-технологические параметры разработки в режиме процесса сжатия.

Ключевые слова: численные методы, нефть, полимер, нано частица, слой.

**EVALUATION OF POSSIBILITY OF APPLICATION OF POLYMER NANO
SYSTEMS IN PRODUCTION OF OIL PRODUCTS FROM OIL FIELDS
IN THE LAST STAGE OF DEVELOPMENT**

M.S.KHALILOV

SUMMARY

The effect of the polymer on the clay layer is considered. The formation has impermeable and extraction wells. Given the amount of polymer solution deposited in the formation in the oil wells. Depending on the state of the formation, it is necessary to determine the phases extracted from the operating wells, and other technical and technological parameters of the development in the compression process.

Keywords: numerical methods, oil, polymer, nanoparticle, layer.