

УДК 519.622

С.Ю. ГАСЫМОВ, Р.С. МАМЕДОВ

УЧЕТ ВЛИЯНИЯ НЕОДНОРОДНОСТИ ПЛАСТА ПРИ ВЫТЕСНЕНИИ НЕНЬЮТОНОВСКОЙ НЕФТИ ВОДОЙ

Для численного решения задачи вытеснения неньютоновской нефти водой с учетом неоднородности пласта, относительных фазовых проницаемостей и капиллярных сил применяется разностно-итерационный метод в подвижных сетках, обладающий свойством адаптируемости к особенностям задачи и возможного получения решения с высокой точностью. Приводятся результаты численных экспериментов и их анализ.

Ключевые слова: подвижная сетка, неньютоновская жидкость, начальный градиент, закон Дарси, пористая среда, капиллярное давление, метод матричной прогонки, абсолютная проницаемость

1. Введение. В практике разработки нефтяных месторождений значительный интерес представляют исследования различных задач о притоке жидкости к скважине при наличии вокруг ее забоя кольцевой зоны с проницаемостью, отличной от проницаемости остальной части пласта, т.е. когда пласт состоит из двух зон с различной проницаемостью. Такие задачи возникают, например, при различных технологических способах обработки призабойной зоны, установке гравийного фильтра, глинизации или парафинизации призабойной зоны, выносе мелких фракций породы из этой зоны и т.д.

Важным при этом является установление степени влияния различия проницаемостей кольцевой призабойной зоны и остальной части пласта на продуктивность скважины. Проведение таких исследований аналитическими методами невозможно. С этой целью используются численные методы. Отметим, что численным исследованиям задач подземной гидрогазодинамики посвящены работы многих ученых, таких как И.А.Чарный, В.Л.Данилов, Х.Азиз, А.Н.Коновалов, В.М.Ентов, Ф.Б.Абуталиев и др. В республике качественные результаты с использованием методов вычислительной математики были получены такими учеными, как А.Х.Мирзаджанзаде, М.Т.Аббасов, К.Ф.Ширинов, В.Г.Пирмамедов, К.Р.Айдазаде, Г.М.Мусаев и др. В частности, в работах [1, 2] была рассмотрена задача не только расчета движения водо-нефтяного контура в режиме вытеснения, а и оптимального управления этим движением за счет оптимизации объемов добычи нефти и нагнетания воды по скважинам.

2. Постановка задачи. Пусть вязкопластичная жидкость (нефть), фильтрующаяся с начальным градиентом G_1 в круговом пласте с радиусом R , вытесняется вязкой жидкостью (водой) с постоянным расходом. Предполагается, что пористая среда несжимаема, а жидкости сжимаемы.

Пусть в начальный момент времени в пласте имеется остаточная вода и имеет место обобщенный закон Дарси [3]. Тогда двухфазное радиальное течение несмешивающихся вязкопластичных жидкостей в пористой среде может быть описано следующей системой уравнений:

$$V_i = -\lambda_i(r, s, P_i)\psi_i \operatorname{grad}P_i, \quad (2.1)$$

$$rm \frac{\partial}{\partial t}(\rho_i S_i) + \frac{\partial}{\partial r}(r\rho_i V_i) = 0, \quad i = 1, 2, \quad (2.2)$$

$$(r, t) \in \Omega_T = \{r_c < r < R, \quad 0 < t \leq T\}, \quad (2.3)$$

$$S_1 + S_2 = 1, \quad (S_2 \equiv s)$$

$$P_1 - P_2 = P_k(s), \quad \left(\frac{dP_k}{ds}\right) \leq 0. \quad (2.4)$$

Здесь функция ψ_i , учитывающая нелинейность закона фильтрации для вязкопластичных жидкостей, определяется, следуя [4], формулой

$$\psi_i = \begin{cases} 1 - G_i \frac{1}{|\text{grad}P_i|}, & |\text{grad}P_i| \geq G_i, \\ 0, & |\text{grad}P_i| < G_i. \end{cases} \quad (2.5)$$

Здесь $\lambda_i(r, s, P_i) = k(r) \frac{f_i(s)}{\mu_i(P_i)}$ – коэффициент подвижности флюидов; $V_i, P_i, S_i, \rho_i, \mu_i, f_i(s)$ – соответственно объемный расход (скорость фильтрации), давление, насыщенность, плотность, вязкость и относительная проницаемость i -ой фазы; m – пористость; $k(r)$ – абсолютная проницаемость; $P_k(s)$ – капиллярное давление; $G_i = \alpha G_* \sqrt{m/k}$ – градиент сдвига или начальный градиент; α – некоторый числовой коэффициент, зависящий от формы капилляров; G_* – предельное напряжение сдвига. Индекс $i=1$ относится к вытесняемой, а $i=2$ – k вытесняющей фазе.

Если i -я фаза не обладает аномальными свойствами, то полагается, что $\psi_i \equiv 1$. В дальнейшем полагаем, что $\psi_2 \equiv 1$.

Отметим, что качественно фазовые проницаемости ведут себя также, как и для вязких жидкостей, т.е. проницаемость для несмачивающей фазы убывает с ростом S , а для смачивающей – возрастает, причем существует некоторая минимальная насыщенность порового пространства данной фазой, для которой данная фаза неподвижна [4]:

$$f_2(s) \equiv 0 \text{ при } s \leq S_* \text{ и } f_2(s) \equiv 0 \text{ при } s \geq S^*.$$

Начальные и граничные условия. Известно, что функция $P_k(s)$ монотонна, а следовательно имеет обратную, т.е. существует $s = s(P_k)$. Следовательно, в системе (2.1)-(2.5) в качестве искомым функций можно принять функции $P_2(r, t) \equiv P(r, t)$ и $P_k(r, t)$. Их значения в начальный момент времени определяются из решения соответствующей стационарной задачи или по результатам экспериментов.

$$P(r, 0) \equiv P^0(r), \quad P_k(r, 0) = P_k^0(r), \quad (r, 0) \in \bar{G}_0. \quad (2.6)$$

На эксплуатационной скважине имеем

$$\begin{cases} (\lambda_1 + \lambda_2) \frac{\partial P}{\partial r} = q(t), \\ \frac{\partial P_k}{\partial r} = G_1, \quad r = r_c, \quad 0 < t \leq T. \end{cases} \quad (2.7)$$

Здесь $q(t) = Q(t)/2\pi r_c H$, $Q(t)$ – суммарный массовый отбор жидкостей.

Предполагается, что через внешний контур в пласт поступает только вытесняющая фаза:

$$\begin{cases} \lambda_1 \left(\frac{\partial P}{\partial r} + \frac{\partial P_k}{\partial r} \right) = 0, \\ P = \varphi(t), \quad r = R, \quad 0 < t \leq T. \end{cases} \quad (2.8)$$

Здесь $\varphi(t)$ – заданная функция, H – мощность пласта.

Введя безразмерные величины

$$\bar{r} = \frac{r}{R_0}, \quad \bar{r}_c = \frac{r_c}{R_0}, \quad \bar{R} = \frac{R}{R_0}, \quad \bar{t} = \frac{t}{T_0}, \quad \bar{T} = \frac{T}{T_0},$$

$$\bar{P}_i = \frac{P_i}{R_0}, \quad \bar{P}_k = \frac{P_k}{R_0}, \quad \bar{\rho}_i = \frac{\rho_i}{\rho_0}, \quad \bar{\mu}_i = \frac{\mu_i}{\mu_0},$$

$$\bar{k} = \frac{k}{k_0}, \quad \bar{q}_1(t) = \frac{q_1(t)}{q_0}, \quad \bar{\varphi}(t) = \frac{\varphi(t)}{\varphi_0}, \quad \bar{G}_1 = \frac{G_1 R_0}{P_0}, \quad i = 1, 2,$$

где $T_0 = \frac{\mu_0 R_0^2}{k_0 P_0}$, $q_0 = \frac{k_0 \rho_0 P_0}{\mu_0 R_0}$; $R_0, T_0, P_0, \rho_0, \mu_0, k_0$ – некоторые характерные размерные величины, задачу (2.1) - (2.8) можно записать в безразмерном виде:

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial r} \left[(r\lambda_1\psi_1) \left(\frac{\partial P}{\partial r} + \frac{\partial P_k}{\partial r} \right) \right] = rm \frac{\partial}{\partial t} (\rho_1(1-s)), \\ \frac{\partial}{\partial r} \left[r\lambda_2 \frac{\partial P}{\partial r} \right] = rm \frac{\partial}{\partial t} (\rho_2 s), \\ P_1 = P + P_k(s), \\ S_1 + S_2 = 1, \quad S_2 \equiv S, \end{cases} \quad (2.9)$$

$$\begin{aligned} (r, t) \in \Omega_T = \{(r, t): r_c < r < R, \quad 0 < t \leq T\}, \\ P(r, 0) = P^0(r), \quad P_k(r, 0) = P_k^0(r), \end{aligned} \quad (2.10)$$

$$\begin{cases} (\lambda_1 + \lambda_2) \frac{\partial P}{\partial r} = q_1(t), \\ \frac{\partial P_k}{\partial r} = G_1, \quad r = r_c, \quad 0 < t \leq T, \end{cases} \quad (2.11)$$

$$\begin{cases} \frac{\partial P}{\partial r} + \frac{\partial P_k}{\partial r} = 0, \\ P = \varphi(t), \quad r = R, \quad 0 < t \leq T. \end{cases} \quad (2.12)$$

Здесь для простоты записи черточки над введенными безразмерными величинами опущены.

3. Численное решение задачи. Предполагая, что существует достаточно гладкое решение поставленной задачи (2.9) - (2.12), перейдем к ее численному решению.

Как известно, задачи фильтрации многофазной жидкости обладают рядом специфических особенностей. Во-первых, в течение всего процесса добычи в окрестности скважин происходит резкое изменение фазовых давлений, поэтому при численном моделировании процессов многофазной нелинейной фильтрации необходимо с высокой точностью аппроксимировать краевые условия, т.е. использовать в окрестности границы мелкие шаги.

Во-вторых, нелинейные дифференциальные уравнения (2.9) описывают как конвективный, так и «диффузионный» процессы, происходящие в пласте. Поэтому разностные аналоги дифференциальных уравнений должны хорошо учитывать оба процесса.

Несмотря на то, что указанные выше особенности характерны для большинства задач многофазной нелинейной фильтрации, однако во многих исследованиях при численном решении этих задач учитываются только некоторые из них.

Учитывая вышесказанное, в настоящей работе для численного решения рассматриваемой задачи с учетом относительных фазовых проницаемостей и капиллярных сил применяется разностно-итерационный метод в подвижных сетках, обладающий свойством адаптируемости к особенностям задач и отличающийся высокой точностью [5, 6].

С этой целью введем в области $\overline{\Omega}_T = \{(r, t): r_c \leq r \leq R, \quad 0 \leq t \leq T\}$ пространственно-временную разностную сетку

$$\begin{aligned} \hat{\Omega}_{i,n} = \{(r_{i,n}, t_n): r_{i,n} = r_{i-1,n} + h_{i,n}, i = \overline{1, M-1}, r_{0,n} = r_c, \\ r_{M,n} = R, t_n = t_{n-1} + \tau_n, t_0 = 0, t_N = T, n = \overline{1, N}\}. \end{aligned}$$

Подвижная пространственно-временная сетка узлов $\hat{\Omega}_{i,n}$, строится на основе неподвижной пространственно-временной сетки $\hat{\omega}_{h,\tau}$ с учетом свойства решения на данном временном слое:

$$\begin{aligned} \hat{\omega}_{h,\tau} = \{(r_i, t_n): r_i = r_{i-1} + h_i, i = \overline{1, M_1-1}, r_0 = r_c, \\ r_{M_1} = R, t_n = t_{n-1} + \tau_n, n = \overline{1, N-1}, t_0 = 0, t_n = T\}. \end{aligned}$$

Воспользовавшись неявной консервативной разностной схемой на сетке $\widehat{\Omega}_{i,n}$, непрерывную задачу (2.9)-(2.12) заменяем следующей дискретной задачей:

$$\begin{cases} [(r\lambda_1\psi_1)^{(-)}\hat{p}_{\bar{r}}]_{\hat{r}} + [(r\hat{\lambda}_1\psi_1)^{(-)}\hat{p}_{k,\bar{r}}]_{\hat{r}} = \hat{r}[m\rho_1'(1-s)(\hat{p} + \hat{p}_k)_{\bar{t}} - (m\rho_1s')\hat{p}_{k,\bar{t}}], \\ [(r\hat{\lambda}_2)^{(-)}\hat{p}_{\bar{r}}]_{\hat{r}} = \hat{r}[(m\rho_2's)\hat{p}_{\bar{t}} + (m\rho_2s')\hat{p}_{k,\bar{t}}], \quad 1 \leq i \leq M-1, \quad 1 \leq n \leq N-1, \end{cases} \quad (3.1)$$

$$p(r_i, 0) = p_i^0, \quad p_k(r_i, 0) = p_{k,i}^0, \quad n = 0, \quad 0 \leq i \leq M, \quad (3.2)$$

$$\begin{cases} [\hat{p}_{k,r}]_0 = G_1, \\ [(\hat{\lambda}_1 + \hat{\lambda}_2)\hat{p}_r + \hat{\lambda}_1 p_{k,r}]_0 = \hat{q}_1 + \hat{\lambda}_1 G_1, \quad i = 0, \quad 0 \leq n \leq N-1, \end{cases} \quad (3.3)$$

$$\begin{cases} \hat{p}_{\bar{r},M} + \hat{p}_{k,\bar{r},M} = 0, \\ \hat{p}_M = \hat{\varphi}, \quad i = M, \quad 0 < n \leq N-1. \end{cases} \quad (3.4)$$

Здесь приняты следующие обозначения:

$$\begin{aligned} (r\lambda_\alpha\psi_\alpha)^{(-)} &= (r\lambda_\alpha\psi_\alpha)_{i-1/2}, \quad [(r\lambda_\alpha\psi_\alpha)^{(-)}p_{\bar{r}}]_{\hat{r},i} = \hat{h}_i^{-1}[(r\lambda_\alpha\psi_\alpha)_{i+1/2} p_{r,i} - (r\lambda_\alpha\psi_\alpha)_{i-1/2} p_{\bar{r},i}], \\ &\alpha = 1,2; \\ \hat{p}_i &= p_i^{n+1}, \quad p_i = p_i^n, \quad \hat{h}_i = 0,5 (h_i + h_{i+1}), \\ \hat{p}_{t,i} &= 0,5 \tau^{-1}(p_i^{n+1} - p_i^n). \end{aligned}$$

Заметим, что для второй фазы, т.е. при $\alpha = 2$ принимается $\psi_2 = 1$.

Система уравнений (3.1)-(3.4) нелинейна относительно p, p_k и s . Поэтому в работе используются итерационные методы, которые позволяют в полной мере использовать достоинства неявных схем, а именно проводить расчеты с более крупным шагом по времени, чем в безитерационной схеме. При этом допустимый шаг по времени в итерационных методах решения нелинейных разностных уравнений оказывается настолько больше допустимого шага по t в безитерационной схеме, что в целом итерационные методы оказываются более эффективными.

После линеаризации нелинейных коэффициентов по методу квазилинеаризации [7, с.102], полученную разностно-итерационную задачу можно представить в следующем каноническом трехдиагональном виде:

$$\begin{cases} -C_0^{(l)}\bar{Y}_0^{(l+1)} + B_0^{(l)}\bar{Y}_1^{(l+1)} = -\Phi_0^{(l)}, \quad i = 0, \\ A_i^{(l)}\bar{Y}_{i-1}^{(l+1)} - C_i^{(l)}\bar{Y}_i^{(l+1)} + B_i^{(l)}\bar{Y}_{i+1}^{(l+1)} = -\Phi_i^{(l)}, \quad 1 \leq i \leq M-1, \\ A_M^{(l)}\bar{Y}_M^{(l+1)} - C_M^{(l)}\bar{Y}_M^{(l+1)} = \Phi_M^{(l)}, \quad i = M. \end{cases} \quad (3.5)$$

Таким образом, по значениям сеточных функций на l -ой итерации для данного временного слоя методом матричной прогонки [8, с.522] из системы (3.5) на $(l+1)$ -ой итерации находим значения искоемых сеточных функций. Условиями выхода из итерационного процесса на каждом временном слое является одновременное выполнение следующих неравенств

$$\begin{aligned} \max_i |p_{i,n+1}^{(l+1)} - p_{i,n+1}^{(l)}| &< \varepsilon_1, \\ \max_i |p_{k,i,n+1}^{(l+1)} - p_{k,i,n+1}^{(l)}| &< \varepsilon_2, \end{aligned}$$

где $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ – заданные достаточно малые величины, определяемые требуемой точностью решения задачи.

4. Численные расчеты. Для исследования влияния неоднородности пористой среды на процесс вытеснения, а также для проверки эффективности предложенной схемы решения были проведены расчеты при следующих исходных данных:

$$\begin{aligned}R &= R_0 = 100 \text{ м}; H = 10 \text{ м}; r_c = 0.1 \text{ м}; m = 0.2; \\k &= 0.5 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2; \mu_1 = 0.2 \text{ Пуаз}; \mu_2 = 0.01 \text{ Пуаз}; \\k_0 &= 10^{-12} \text{ м}^2; \mu_0 = 0.01 \text{ Пуаз}; \rho_0 = 1 \text{ г/см}^3; \\P_0 &= 100 \text{ атм}; T_0 = 10^8 \text{ сек}; G_1 = 100 \text{ дин/см}^3,\end{aligned}$$

где R_0, P_0, μ_0, k_0 – характерные величины, используемые для приведения исходной задачи к безразмерному виду.

Относительные фазовые проницаемости, капиллярные давления и плотности фаз, такие же, что и в работе [9, с.143].

В результате численных расчетов была выработана следующая схема построения неравномерной сетки узлов. На границах области пять шагов брались равными r_c , а затем последующие шаги справа и слева увеличивались в шесть раз до тех пор, пока шаг не стал равным некоторому, используемому далее максимальному шагу (в наших расчетах была принята величина 0.005).

Однако, как показали расчеты, неравномерная сетка $\hat{\omega}_{ht}$ хотя и учитывает особенность процесса вблизи границы $r = r_c$ и $r = R$, тем не менее не позволяет с высокой точностью определить значение объема вытесняющегося флюида по времени.

Поэтому при численном моделировании вышеуказанных фильтрационных потоков была использована адаптивно-подвижная сетка. Проведенные численные расчеты показали, что при построении подвижной сетки в окрестностях фронта r^* (где требуется измельчение расчетной сетки) достаточно взять шаги равные 10 см, а максимальный шаг как и в неравномерной сетке равен 0.05. Количество минимальных шагов бралось равным 10 (по 5 шагов слева и справа от границы).

Применительно к исследуемым вопросам были проведены предварительные расчеты для различных значений абсолютной проницаемости. Результаты гидродинамических расчетов представлены в таблице 1 и на рисунке 1, где показывается, что более высокая проницаемость пласта приводит к тому, что вода по пласту продвигается на большие расстояния. Например, при $\kappa=0.5$ Дарси вода перемещается по пласту на расстояние 56 м., при $\kappa=1.0$ Дарси – на 65 м., при $\kappa=1.5$ Дарси – на 73 м., при $\kappa=2.0$ Дарси – на 92 м. А при значениях $\kappa=2.5$ и $\kappa=3.0$ Дарси в тот же момент времени происходит прорыв воды. Отметим, что в этих расчетах использованы значения $q_1 = 50 \frac{\text{м}^3}{\text{сут}}$, $\mu_1 = 0.2$ пуаз, $G_1 = 10^{-3}$.

Таким образом, на основании таблицы 1 и рисунка 1 можно сделать вывод о том, что при вытеснении вязкопластичной нефти водой, более высокая проницаемость приводит к раннему прорыву воды.

Как известно, при нелинейной фильтрации вязкости воды и вязкопластичной нефти резко отличаются, например, $\mu_0 = \frac{\mu_1}{\mu_2} = \frac{0.2}{0.01} = 20$ раз, поэтому любые небольшие изменения проницаемости пласта приводят к значительным отклонениям фактического положения “фронта” $r = r^*(t)$ вытеснения от полученного для однородного пласта.

Для оценки неоднородности пласта обычно принимается безразмерный параметр

$$k_{\text{но}} = \frac{1}{k_{\text{ср}}} \sqrt{\frac{1}{S} \sum_i S_i (k_i - k_{\text{ср}})^2},$$

где $k_{\text{но}}$ – параметр неоднородности пласта (очевидно, что $k_{\text{но}} \geq 0$), $k_{\text{ср}}$ – средневзвешенное по площади пласта значение проницаемости пласта, $S = \pi(R^2 - r_c^2)$, k_i – проницаемость различных зон пласта с площадью $S_i (i=1,2,\dots,n)$. Если мощность рассматриваемого пласта постоянна (и в нашем случае она равна 10 м), то $k_{\text{ср}}$ определяется следующим образом:

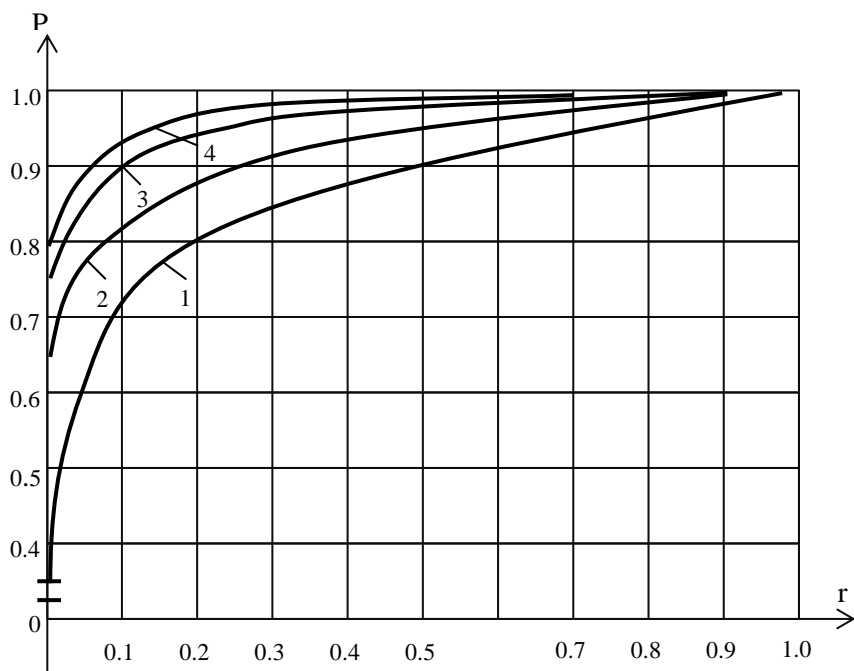


Рис. 1 ^{0.6}

Таблица 1

Зависимость водонасыщенности от k						
$r \backslash K$	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
0.01	0.1500	0.1500	0.1500	0.1500	0.1524	0.1567
0.1	0.1500	0.1500	0.1500	0.1513	0.1533	0.1630
0.2	0.1500	0.1500	0.1500	0.1529	0.1632	0.2493
0.3	0.1500	0.1500	0.1530	0.1755	0.2761	0.3603
0.4	0.1500	0.1527	0.2112	0.3260	0.3795	0.4023
0.5	0.1513	0.2850	0.3777	0.4051	0.4205	0.4305
0.6	0.3757	0.4288	0.4359	0.4418	0.4464	0.4517
0.7	0.4795	0.4724	0.4207	0.4217	0.4731	0.4755
0.8	0.5210	0.5083	0.5016	0.4493	0.4382	0.4983
0.9	0.5774	0.5555	0.5440	0.5382	0.5340	0.5315
1.0	0.6756	0.6347	0.6132	0.5897	0.5883	0.5800

Таблица 2

	Вариант 1		Вариант 2		Вариант 3	
$K_{но}$	0.123		0.36		0.789	
r	k	K_{cp}	K	K_{cp}	K	K_{cp}
0.01	0.1500	0.1500	0.1500	0.1528	0.1500	0.1500
0.1	0.1504	0.1506	0.1504	0.1544	0.1500	0.1500
0.2	0.1515	0.1519	0.1508	0.1630	0.1500	0.1500
0.3	0.1587	0.1603	0.1635	0.2046	0.1500	0.1502
0.4	0.2271	0.2258	0.3313	0.2993	0.1500	0.1502

0.5	0.3499	0.3418	0.4005	0.3623	0.1502	0.1543
0.6	0.4071	0.4005	0.4152	0.4009	0.2720	0.3852
0.7	0.4393	0.4352	0.4351	0.4333	0.4649	0.4779
0.8	0.4707	0.4751	0.4579	0.4615	0.5408	0.5191
0.9	0.5028	0.5079	0.4848	0.4911	0.5940	0.5755
1.0	0.5514	0.5648	0.5181	0.5303	0.7153	0.6670

5. Заключение. Целью проведенных исследований являлись разработка и исследование эффективных численных подходов для решения класса одномерных задач многофазной нелинейной фильтрации, позволяющих учитывать неоднородность пласта и некоторые свойства жидкостей. В работе предложена вычислительная схема на основе разностно-итерационного метода в подвижных сетках. Приведены результаты численных экспериментов и их анализ.

Литература

1. К.Р. Айда-заде, С.З. Кулиев. Оптимизация размещения и режимов работы скважин нефтепромысла. Ж. «Вычислительные технологии», Новосибирск, т.10, №4, 2005.
2. K.R. Aida-zade, A.H. Bagirov. On the problem of placement of oil wells and control of their flow-rates, Automation and Remote Control, Pleides Publishing, Inc., №1, 2006.
3. А.Х. Мирзаджанзаде, А. Г. Ковалев, Ю. В. Зайцев. Особенности эксплуатации месторождений аномальных нефтей. М.: Недра, 1972.
4. М.Г. Бернадинаер, В.М. Ентов. Гидродинамическая теория фильтрации аномальных жидкостей. М.: Недра, 1975, 200 с.
5. В.Г. Пирмамедов. Об одном разностно-итерационном методе в подвижных сетках решения некоторых нелинейных задач теории фильтрации и теплопроводности. Деп. в ВИНТИ, 11.07.1975г., № 2027 – 75.
6. Г.М. Мусаев, В.Г. Пирмамедов, К.Ф. Ширинов. Численное моделирование процессов двухфазной и трехфазной фильтрации на основе разностно-итерационного метода в подвижных сетках. // В кн.: Динамика многофазных сред. Новосибирск. ИТПМ СО АН СССР, 1983, с.223-227.
7. Х. Азиз, Э. Сеттари. Математическое моделирование пластовых систем. М.: Недра, 1982.
8. А.А. Самарский, А.В. Гулин. Численные методы. М.: Наука, 1989, с.430.
9. Ю. Каюмов. Численное моделирование задачи фильтрации вязкопластических флюидов при различных законах движения. // В кн.: Численные методы решения задач фильтрации многофазной несжимаемой жидкости. Новосибирск, 1987, с.139-145.

UOT 519.622

S.Y. Qasimov, R.S. Məmmədov

Qeyrinyuton neftin su ilə sıxışdırılması zamanı layın qeyribircinsliyinin təsirinin nəzərə alınması

Qeyrinyuton neftin su ilə sıxışdırılması məsələsinin ədədi həlli üçün layın qeyri bircinsliyini, nisbi faza keçiriciliklərini və kapilyar qüvvələri nəzərə almaqla həllin xüsusiyyətlərinə adaptasiya olunma xassələrinə və həlli yüksək dəqiqliklə almaq imkanına malik olan adaptiv şəbəkələrdə iterasiyalı fərq üsulu tətbiq olunur. Ədədi eksperimentlərin nəticələri və onların analizi verilir.

Açar sözlər: adaptiv şəbəkə, qeyrinyuton maye, başlanğıc təzyiqliq qradienti, Darsi qanunu, məsaməli mühit, kapilyar təzyiqliq, matris qovma üsulu, mütələq keçiricilik əmsali

S.Y. Qasimov, R.S. Mamedov

Numerical modeling of two-phase nonlinear filtration processes based on difference-iteration method in mobile grids

The numerical simulation of the process of filtration of viscoplastic oil and water based on the difference-iteration method in mobile grids, taking into account capillary forces, relative phase permeabilities and phase compressibility is investigated. To study the effect of the aforementioned factors on the filtration process, a computational algorithm is developed.

Keywords: capillary forces, multiphase filtration, moving net, Darcy law, sweep method, quasi-linearization method, viscoplastic fluid, initial gradient

Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности

Представлено 11.10.2017