УДК 622.276.031

ОБРАБОТКА ПРИЗАБОЙНОЙ ЗОНЫ ПЛАСТА

Хусаинова Г.Я., Ахмадуллина А.С.

При долгой эксплуатации газонефтяных скважин происходит засорение призабойной зоны пласта за счет отложения твердой фазы (например, парафина, асфальтово-смолистых веществ, и.т.д.). В результате это приводит к снижению дебита скважин. К числу высокоэффективных способов очистки призабойных зон относятся технологии с использованием энергии взрыва. Высокотемпературные продукты взрыва, проникая достаточно глубоко в пористые породы, приводят к ее очистке. Они могут привести к плавлению парафина и битумных отложений, что в свою очередь усиливает эффективность этих процессов.

Кроме того, информация, полученная при взрыве, может быть использована для контроля прискважинной зоны. В частности, по времени релаксации давления в скважине, можно оценить коллекторские параметры пласта. Необходимые оценки для проведения технологических расчетов можно получить на основе решений плоско-одномерной, радиально-симметричной и сферической задач. В частности, если радиально-симметричная постановка позволяет проанализировать очищение пористой среды вокруг скважины, то плоско-одномерная задача дает возможность проследить эти процессы в трещинах.

Основные уравнения. Пусть в исходном состоянии ($t<0$) давление газа во всем пористом пласте вокруг полости постоянно и равно p_0, а сама полость (трещина, цилиндрическая или сферическая области) заполнена взрывчатым веществом. В момент времени $t=0$ происходит взрыв и полость заполняется продуктами взрыва, давление в ней достигает до значения p_e. Далее, за счет фильтрации продуктов взрыва давление в полости будет релаксировать до p_0.

При описании этой задачи примем следующие допущения: пористый скелет считаем несжимаем и однородным; пластовое давление газового месторождения небольшим и в уравнении движения используем линеаризованную функцию Лейбензона; значения коэффициентов вязкости, плотности газа не зависят от температуры и давления.

В рамках вышеизложенных допущений для нестационарного течения запишем закон сохранения массы, линейное уравнение пьезопроводности и закон Дарси для продуктов взрыва в пористой и проницаемой породы вокруг этой полости в виде:

$$\frac{d}{dt}\left[(2\pi a)^n a\rho\right] = -(2\pi a)^n \rho\upsilon\Big|_{r=a}\ , \tag{1}$$

$$\frac{\partial p'}{\partial t} = \chi\frac{1}{r^n}\frac{\partial}{\partial r}r^n\frac{\partial p'}{\partial r}\,,\ \upsilon' = -\frac{k}{\mu_g}\frac{\partial p'}{\partial r}. \tag{2}$$

Здесь p', υ' - распределение давления и скорости вокруг полости; χ-коэффициент пьезопроводности, $\chi = \dfrac{kp_0}{\mu_g m}$; m, k - коэффициенты пористости, проницаемости; ρ, μ_g - плотность, вязкость газа; a - радиус полости; $n = 0$ и 1 соответствуют плоско-одномерной и радиально-симметричной задачам.

Для данного физического процесса определим начальное и граничное условия:

$$p' = p_0 \text{ при } t = 0,\quad r > a\,;\ p' = p(t),\ \upsilon = \upsilon' \text{ при } t > 0,\quad r = a\,. \tag{3}$$

Для зависимости текущей плотности и давления в полости примем уравнение состояния в виде степенного закона

$$\frac{p}{p_e} = \left(\frac{\rho}{\rho_e}\right)^{\gamma}, \tag{4}$$

где γ - показатель политропы.

Плоско-одномерная задача ($n = 0,\quad r = x$ **).** Из условия (3) видно, что мы имеем задачу с переменным граничным условием. Применяя принцип Дюгамеля, решение уравнения (2) при начальном и граничном условиях (3) можно представить в виде [2]:

$$p'(x,t) = \int_0^t \frac{\partial U(x-a,t-\tau)}{\partial t}(p(\tau)-p_0)d\tau\,, \tag{5}$$

где $$U(x-a,t-\tau) = 1-\Phi\left(\frac{x - a}{2\sqrt{\chi(t - \tau)}}\right)\ ,\quad \Phi(\alpha) = \frac{2}{\sqrt{\pi}}\int_0^{\alpha} e^{-\mu^2}d\mu\,.$$

С учетом (4) и (2) на основе (1) получаем интегральное уравнение для давления внутри полости

$$\ln\left(\frac{p}{p_e}\right) = -\frac{k\gamma}{a\mu_g\sqrt{\pi\chi}}\int_0^t \frac{p(\tau)-p_0}{\sqrt{t-\tau}}d\tau\,. \tag{6}$$

Для дальнейшего удобно представить это интегральное уравнение в безразмерной форме, введя переменные:

$$\tilde{p} = \frac{p}{p_e}, \quad \tilde{p}_0 = \frac{p_0}{p_e}, \quad T = \frac{t}{t_0}, \quad \tilde{\tau} = \frac{\tau}{t_0}, \quad t_0 = \left(\frac{k\gamma p_e}{a\mu\sqrt{\pi\chi}} \right)^{-2}.$$

Получаемая при этом уравнение имеет вид:

$$ln\,\tilde{p} = -\int_0^T \frac{\tilde{p}(\tilde{\tau}) - \tilde{p}_0}{\sqrt{T-\tau}} d\,\tilde{\tau}. \qquad (7)$$

Решение и анализ этого уравнения представляет наибольший интерес с точки зрения приложений. Результаты численного решения интегрального уравнения (7) представлены на рис.1 в виде зависимости безразмерного давления $\tilde{p}$ от безразмерного времени $\tilde{\tau}$ при разных значениях пластового давления $\tilde{p}_0$ (линии 1, 2, 3 соответствуют $\tilde{p}_0 = 0{,}5$, $\tilde{p}_0 = 0{,}1$, $\tilde{p}_0 = 0{,}05$). Для параметров пористой среды, полости и газа приняты следующие значения: m=0,1, a=0,1 м, μ=10^{-5}Па$*$с, p_0=1 МПа, p_e=10 МПа. Из рисунка видно, что за определенный промежуток времени при низком пластовом давлении изменение давления в полости происходит быстрее, чем при высоком.

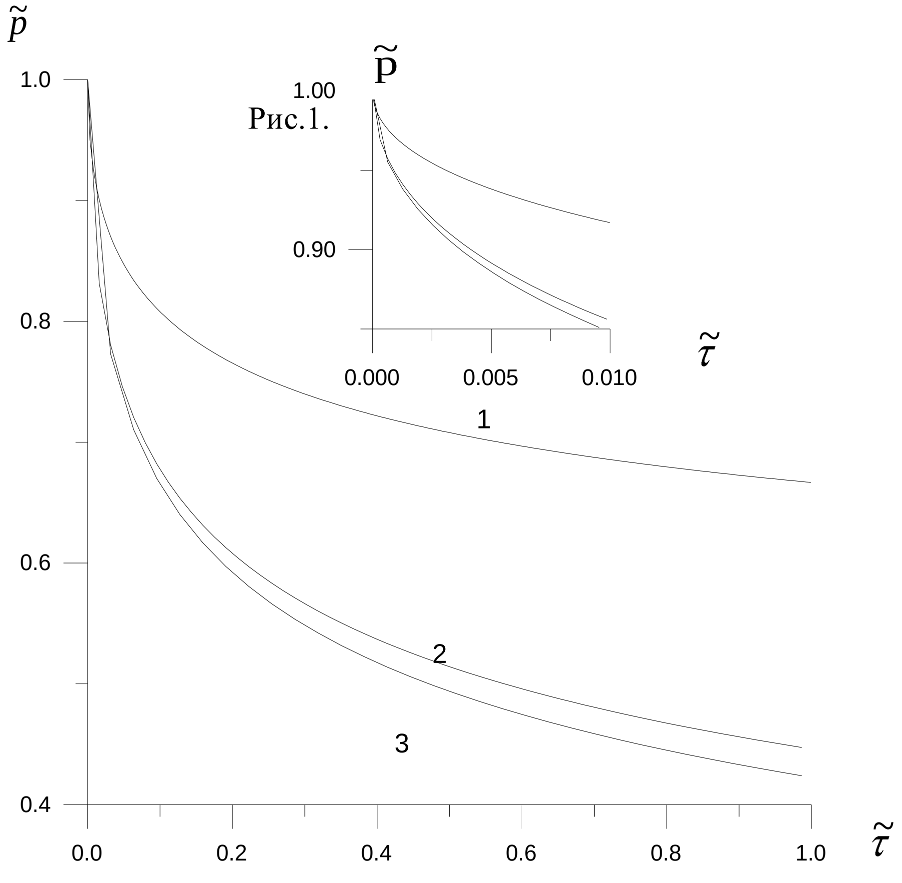

Рис.1.

Литература

1.Басниев К.С., Кочина И.Н., Максимов В.М. Подземная гидродинамика. – М.: Недра, 1993.- 416 с.

2.Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнение математической физики. – М.:"Наука", 1972. - 735 с.