ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ПССС ДЛЯ ОПИСАНИЯ ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СКВАЖИНЫ ПРИ НАЛИЧИИ ТРЕЩИНЫ ГРП

@ Р.А. Башмаков, А.А. Шамматова

bashmakov_rustem@mail.ru, stasya_7@mail.ru

УДК 532.5

DOI: 10.33184/mnkuomsh2t-2021-10-06.59.

С помощью метода последовательной смены стационарных состояний (ПССС) находится приближенное решение системы уравнений, описывающих фильтрацию флюида в трещине ГРП и пласте, окружающем трещину при переменных режимах работы нефтяной скважины.

Ключевые слова: метод последовательной смены стационарных состояний, нефтяная скважина, трещина ГРП, гидроразрыв пласта, эволюция давления, расход жидкости, низкопроницаемый коллектор.

Application of the method of sequential change of steady states to describe transient well operation modes in the presence of a hydraulic fracture

Using the method of sequential change of steady states, an approximate solution of the system of equations describing fluid filtration in the fracture and the reservoir surrounding the fracture at variable operating modes of the oil well is found.

Keywords: method of sequential change of steady states, oil well, hydraulic fracturing, pressure evolution, fluid flow rate, low-permeability reservoir.

Гидроразрыв пласта (ГРП) – один из наиболее активно применяемых на практике методов интенсификации добычи нефти из низкопроницаемых пластов. В данной работе для скважин с вертикальной гидроразрывной трещиной предлагаются простые формулы, позволяющие по заданному изменяющемуся дебиту приближенно определять, как должно

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-11-00207, <https://rscf.ru/project/21-11-00207/>

Башмаков Рустэм Абдрауфович, к.ф.-м.н., БашГУ (Уфа, Россия), ИМех УФИЦ РАН (Уфа, Россия); Rustem Bashmakov (Bashkir State University, Ufa, Russia, Mavlyutov Institute of Mechanics, Ufa, Russia)

Шамматова Анастасия Анатольевна, старший преподаватель, Уфимский государственный нефтяной технический университет (Уфа, Россия), ИМех УФИЦ РАН (Уфа, Россия); Anastasia Shammatova (Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia, Mavlyutov Institute of Mechanics, Ufa, Russia)

изменяться давление на скважине для поддержания выбранного режима работы и, наоборот, по заданному графику изменения давления на скважине определять изменение дебита.

Результаты работы также позволяют по данным о работе скважины анализировать коллекторские характеристики пласта и трещины, определять параметры трещины.

Метод последовательной смены стационарных состояний (ПССС) был предложен И.А. Чарным (см. [1]). Будем также использовать результаты работ [2-6].

Пусть в момент времени $\tau_0 = 0$ начинается работа скважины и давление на скважине, приняв значение $P_{(w)0}$, поддерживается постоянным до момента времени τ_1 , первоначальное давление в пласте считаем равным 0. С момента времени τ_1 до момента времени τ_2 давление на скважине равно $P_{(w)1}$ и т. д., то есть давление на скважине изменяется ступенчато. Тогда решение, полученное применением метода ПССС, описывающее изменение давления в трещине, может быть записано в виде

$$P_f(t, x) = H(t) \Delta P_{(w)0} \exp \left(-2^{\frac{1}{4}} \sqrt{\frac{A}{2}} \frac{x}{t^{1/4}} \right) + \sum_{i=1}^n H(t - \tau_i) (P_{(w)i} - P_{(w)i-1}) \exp \left(-2^{\frac{1}{4}} \sqrt{\frac{A}{2}} \frac{x}{(t - \tau_i)^{1/4}} \right),$$

где $H(t)$ — функция Хевисайда, x — координата (расстояние по трещине от скважины).

Дебит (расход) жидкости на единицу высоты трещины в этом случае будет равен

$$q = -2^{1/4} \sqrt{\frac{A}{2}} \frac{d_f k_f}{\mu} \left(\Delta P_{(w)0} H(t) t^{-1/4} + \sum_{i=1}^n (\Delta P_{(w)i} - \Delta P_{(w)i-1}) H(t - \tau_i) (t - \tau_i)^{-1/4} \right),$$

Отсюда можно найти количество жидкости, извлекаемое из двух рукавов трещины высоты h_f за время t :

$$V = \frac{2^{7/4} d_f k_f \sqrt{A}}{3\mu} \left(t^{3/4} \Delta P_{(w)0} + \sum_{i=1}^n (\Delta P_{(w)i} - \Delta P_{(w)i-1}) H(t - \tau_i) (t - \tau_i)^{3/4} \right).$$

Пусть теперь дебит жидкости принимает постоянные значения $q_0, q_1, q_2, \dots, q_n$ в промежутках времени $[0, \tau_1), [\tau_1, \tau_2), \dots, [\tau_n, \infty)$. Тогда мы

можем найти соответствующий закон изменения давления в трещине:

$$P_f = \frac{-\mu}{2^{1/4} d_f k_f \sqrt{A/2}} \left(q_0 H(t) t^{1/4} \exp \left(-x \sqrt{A/\sqrt{2t}} \right) + \right. \\ \left. + \sum_{i=1}^n H(t - t_i) (q_i - q_{i-1}) (t - \tau_i)^{1/4} \exp \left(-x \sqrt{A/\sqrt{2(t - \tau_i)}} \right) \right).$$

Для перепада давления на забое скважины $P_{f(w)} = P_f(t, 0)$ получим:

$$P_{f(w)} = \frac{-\mu}{2^{1/4} d_f k_f \sqrt{A/2}} \left(t^{1/4} q_0 H(t) + \sum_{i=1}^n (t - \tau_i)^{1/4} H(t - \tau_i) (q_i - q_{i-1}) \right).$$

Данные формулы удобны в применении и дают результаты очень близкие к точным аналитическим выражениям.

Литература

1. Чарный И.А. Подземная гидрогазодинамика. – М.: Изд-во нефтяной и горно-топливной литературы, 1963. – 396с.
2. Cinco-Ley H. Evaluation of Hydraulic Fracturing by Transient Pressure Analysis Methods // SPE 10043 Petrol. Exh. and Techn. Symp., Beijing China. Mar 18-26. 1982.
3. Хабибуллин И.Л., Хисамов А.А. Моделирование нестационарной фильтрации вокруг скважины с вертикальной трещиной гидроразрыва // Известия РАН. Механика жидкости и газа, 2019, № 5. — 6–14.
5. Шагапов В.Ш., Нагаева З.М. К теории фильтрационных волн давления в трещине, находящейся в пористой проницаемой среде // Прикладная механика и техническая физика. 2017. Т. 58, № 5 (345). — 121-130.
6. Нагаева З.М., Шагапов В.Ш. Приближенное решение задачи об упругом режиме фильтрации в трещине, находящейся в нефтяном пласте// Инженерно-физический журнал. – 2020. – Т. 93, № 1. — 206 – 215.