

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОДУКТИВНОСТИ И ПОВЕДЕНИЕ ДАВЛЕНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОЙ СКВАЖИНЫ С ТРЕЩИНОЙ БЕСКОНЕЧНОЙ ПРОВОДИМОСТИ

PRIDITION OF THE PRODUCTIVITY OF HYDRAULIC FRACTURED VERTICAL WELL WITH INFINITE CONDUCTIVITY FRACTURE

С. А. Фаик, А. В. Саранча

S. A. Faiq, A. V. Sarancha

Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

Ключевые слова: гидравлический разрыв пласта; трещина бесконечной проводимости; вертикальная скважина

Key words: hydraulic fracturing; productivity index; infinite conductivity fracture; vertical well

Решение безразмерного давления псевдо-стационарного состояния в замкнутой системе может быть записано в виде [1]:

$$p_D = 2\pi t_{DA} + 1/J_D, \quad (1)$$

$$1/J_D = 1/2 \ln \left(\frac{4A}{e^\gamma C_A r_w'^2} \right), \quad (2)$$

где $t_{DA} = \frac{kt}{c_t \phi \mu A}$ — безразмерное время на основе площади; J_D — безразмерный коэффициент продуктивности; γ — постоянная Эйлера, $\gamma = 0,5772156649$; C_A — коэффициент формы r_w' ; r_w' — эффективный радиус ствола скважины.

В 1978 г. А. Грингартен [2] представил аналитическое выражение замкнутой формы для решения псевдо-стационарного состояния обратного безразмерного коэффициента продуктивности для скважины, расположенной в центре прямо-угольного пласта.

$$1/J_D = \frac{\pi}{6} \lambda - \frac{\pi}{4} \lambda I_x (1 + x_D^2) + \frac{\pi}{4} \lambda I_x^2 (\frac{1}{3} + x_D^2) + \frac{\pi}{6} \frac{1}{\lambda I_x} - \frac{1}{2\pi} \frac{1}{\lambda I_x} \times \\ \times \sum_{n=1}^{\infty} \frac{e^{-2n\pi\lambda I_x(1-x_D)}}{n^2 [1 - e^{-2n\pi\lambda}]} [1 - e^{-2n\pi\lambda(1-I_x)}] [1 - e^{-2n\pi\lambda I_x x_D}], \quad (3)$$

где λ — соотношение сторон пласта; I_x — проникновение трещины; x_f/x_e , x_D — безразмерные координаты трещины.

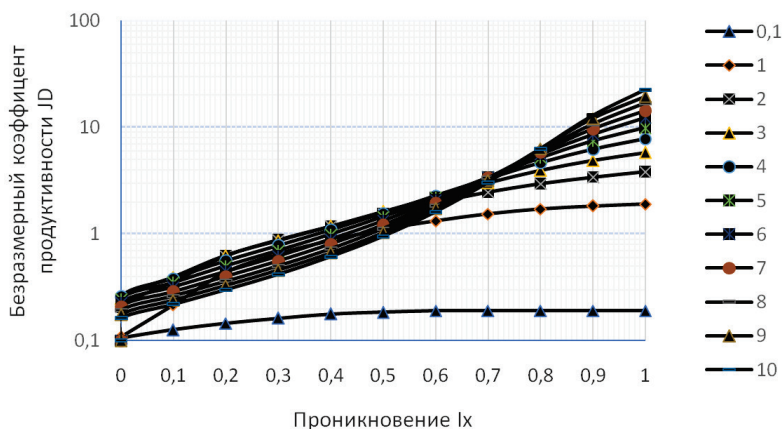


Рис. 1. Безразмерный коэффициент продуктивности J_D для бесконечной проводимости трещины в зависимости от расстояния проникновения и соотношения сторон участка пласта

На рисунке 1 представлено изменение безразмерного коэффициента продуктивности J_D для бесконечной проводимости трещины в зависимости от коэффициента проникновения I_x и соотношения сторон элемента пласта λ . Из приведенных данных следует, что J_D увеличивается с расстоянием проникновения I_x и соотношения сторон участка пласта.

На рисунке 2 показано сравнение соотношения прогнозирования эксплуатационных характеристик с использованием коэффициента продуктивности для бесконечной проводимости трещин в прямоугольных пластах с соотношением сторон пяти и десяти. Коэффициент продуктивности в функции проникновения представлен в соотношении продуктивности прямоугольного пласта $J_D(\lambda, I_x)$.

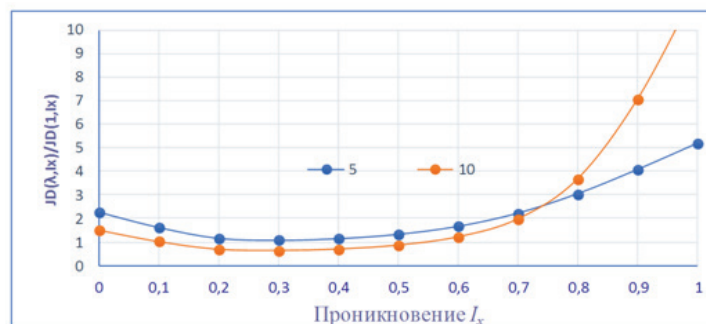


Рис. 2. Выполнение бесконечной проводимости трещины для прямоугольных пластов в сравнении с квадратным пластом

Стационарное поведение давления для бесконечной проводимости трещины ГРП. Нами были рассмотрены задачи, связанные со стационарной фильтрацией пластовых жидкостей к вертикальной скважине с трещиной ГРП. Предполагаем, что [3]

- горизонтальный нефтенасыщенный пласт постоянной толщины, равномерная пористость и проницаемость ограничены сверху и снизу непроницаемыми пластами, жидкость не сжимается;
- в результате нарушения фильтрационно-емкостных свойств пласта цилиндрическая наружная граница расположена в однородном потенциале, при условии, что он не слишком близко подходит к трещине;
- система трещины представлена единой плоскостью, вертикальная трещина ограничена радиальной протяженностью и непроницаемой матрицей выше и ниже продуктивного пласта. На рисунке 3 представлена общая трехмерная геометрическая модель гидроразрыва пласта (ГРП).

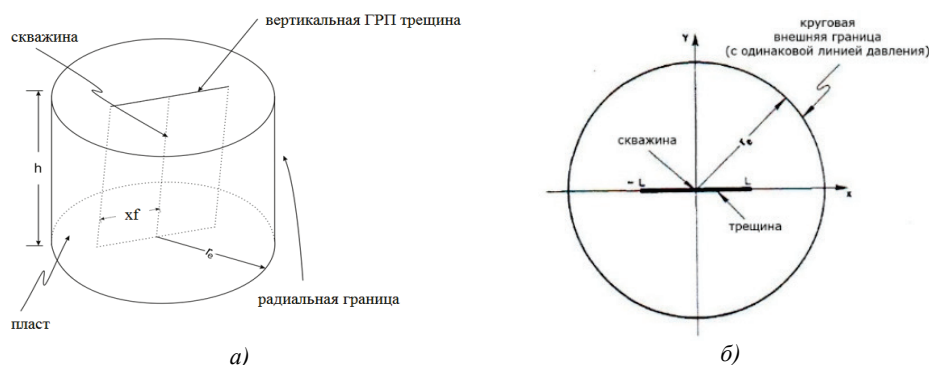


Рис. 3. Трехмерная геометрическая модель ГРП: а) общий вид, б) вид сверху

Если пренебречь гравитационными эффектами, поведение в пласте не будет зависеть от вертикального положения. Это означает, что поведение потока в поврежденном пласте может быть описано с помощью двумерной текучести, показанной в горизонтальном поперечном сечении пласта (см. рис. 3).

Способ решения, используемый для получения распределения давления в системе с вертикальными трещинами. Предполагаем, что жидкость несжимаемая и двумерные геометрические и постоянные свойства подчиняются закону Дарси; в соответствии с этими предположениями давление подчиняется уравнению Лапласа в пласте

$$\nabla^2 p = 0. \quad (1)$$

Безразмерная форма может быть создана с помощью уравнений

$$p_D = \frac{kh}{q\mu} (p - p_{wf}), x_D = \frac{x}{x_f}, y_D = \frac{y}{x_f}. \quad (2)$$

Тогда безразмерная форма уравнения Лапласа

$$\nabla^2 p_D = 0. \quad (3)$$

По граничным условиям при $x_D \leq 1, y_D = 0, p_D = 0$,

$$x_D = x_{De}, y_D = y_{De}, p_D = p_{De}. \quad (4)$$

Данная система уравнений решалась методом итераций (трехдиагональный матричный алгоритм), а решение было принято после 50 циклов.

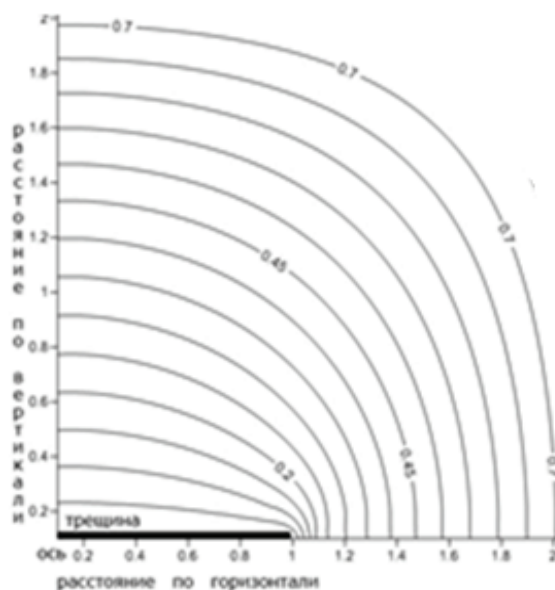


Рис. 4. Распределение давления вокруг бесконечной проводимости трещины ГРП

Выводы

- Разработана гидродинамическая модель фильтрации пластовой жидкости в системе «пласт — трещина», позволяющая наиболее достоверно решать стационарные задачи, связанные с технологией гидравлического разрыва пласта (рис. 4).
- Определение увеличения продуктивности скважин с трещиной бесконечной проводимости.

Библиографический список

1. Ramey H. J., Cobb W. M. A General Pressure Buildup Theory for a Well in a Close Drainage Area // JPT. – 1971. – December. – P. 1493–1505.
2. Gringart A. C. Reservoir Limit Testing for Fractured Wells // SPE 7452. – (October 1978).
3. Prats M. Effect of vertical fracture on reservoir behavior. Incompressible fluid case // SPEJ. – (June 1961). – P. 105–118.
4. Riley M. F., Brigham, W. E., Horne R. N. Analytical Solutions for Elliptical Finite-Conductivity Fractures // SPE 22656. – (October 1991).
5. Wilson C. Quantitative Methods in Reservoir Engineering. – Available at: <https://www.elsevier.com>.

Сведения об авторах

Фаик Саад Алааельдин, аспирант кафедры моделирования и управления процессами нефтегазодобычи, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, Университет технологии, г. Багдад, Ирак, тел. 89199428514, e-mail: saadfaiq1979@hotmail.com

Саранча Алексей Васильевич, к. т. н., доцент кафедры разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, e-mail: sarantcha@mail.ru

Information about the authors

Faiq C. A., Postgraduate at the Department of Modeling and Control of Oil and Gas Production Processes, Industrial University of Tyumen, University of Technology, Baghdad, Iraq, phone: 89199428514, e-mail: saad-faiq1979@hotmail.com

Sarancha A. V., Candidate of Engineering, Associate Professor at the Department of Development and Operation of Oil and Gas Fields, Industrial University of Tyumen, e-mail: sarantcha@mail.ru

УДК 622.276.43

ВАРИАНТЫ ИМПУЛЬСНОГО НЕСТАЦИОНАРНОГО ЗАВОДНЕНИЯ В БЛОКОВЫХ СИСТЕМАХ РАЗРАБОТКИ OPTIONS OF PULSE NON-STATIONARY WATER FLOODING IN BLOCK SYSTEMS OF DEVELOPMENT

М. Я. Хабибуллин, Р. И. Сулейманов, Л. З. Зайнагалина, В. А. Петров
M. Ya. Habibullin, R. I. Suleymanov, L. Z. Zaynagalina, V. A. Petrov

Филиал Уфимского государственного нефтяного технического университета,
г. Октябрьский

*Ключевые слова: нестационарное заводнение; фильтрация;
нагнетательная и добывающая скважины*

Key words: non-stationary water flooding; filtration; injection and producing wells

Для оценки импульсного нестационарного заводнения и разработки мероприятий по повышению его эффективности важно выяснить соотношение эффектов от упруго-капиллярной пропитки замкнутых пор при импульсной закачке и изменения направления фильтрации при нестационарном заводнении. В этом случае для работающих нагнетательных скважин применяют забойные или устьевые устройства (генераторы, вибраторы, пульсаторы и т. д.) для импульсной закачки воды с целью одновременного ускорения обратной капиллярной пропитки замкнутых нефтеносных зон и перемены направления фильтрации закачиваемой воды [1–6]. Предварительное опробование данного комплексного заводнения произвели на месторождениях АО «Самаранефтегаз» в 2015–2016 гг.

Известно, что условием эффективности упруго-капиллярного заводнения является соблюдение продолжительности полуцикла в пределах

$$t = \frac{R_K^2}{4\chi \cdot 0,5},$$

где R_K — радиус контура питания; χ — пьезопроводность пласта. Если принять $R_K = 500$ м, $\chi = 10^4$ см²/с (средние параметры), то указанное условие реализуется при $t > 2$ сут, то есть почти на всех месторождениях оно выполнялось. Однако по ряду месторождений (Неприковское, Митяевское, Лебединское) положительный эффект отсутствует. Выясним условия получения эффекта от перемены направления фильтрации при изменении режима работы нагнетательных скважин.