DOI: 10.17117/na.2015.09.888

<http://ucom.ru/doc/na.2015.09.888.pdf>

Поступила (Received): 25.09.2015

Хусаинов И.Г., Рахимова Р.А. Численное моделирование процесса опрессовки сферической полости

Khusainov I.G., Rakhimova R.A.
Numerical modelling of process pressure tests a spherical cavity

Рассматривается сферическая полость, окруженная насыщенной жидкостью пористой средой. Предложена численная схема решения нелинейного интегрального уравнения, описывающего релаксацию давления в опрессованной сферической полости. Исследована зависимость динамики восстановления давления от параметров пористой среды

Ключевые слова: численный метод, интегральное уравнение, релаксация давления

The spherical cavity surrounded by the saturated liquid by the porous environment is considered. The numerical method of the decision of the nonlinear integrated equation describing a relaxation of pressure in spherical cavity it pressure tests is offered. Dependence of dynamics of restoration of pressure on parameters of the porous environment is researched

Key words: numerical method, integrated equation, a relaxation of pressure

Хусаинов Исмагильян Гарифьянович

Кандидат физико-математических наук, доцент
Башкирский государственный университет
(филиал)
Башкортостан, г. Стерлитамак, пр. Ленина, 49

Khusainov Ismagilyan Garifyanovich

Candidate of Physico-mathematical Sciences,
Associate Professor
Bashkir state university (branch)
Bashkortostan, Sterlitamak, Lenin Avenue, 49

Рахимова Римма Айдаровна

Студент
Башкирский государственный университет
(филиал)
Башкортостан, г. Стерлитамак, пр. Ленина, 49

Rakhimova Rimma Aidarova

Student
Bashkir state university (branch)
Bashkortostan, Sterlitamak, Lenin Avenue, 49

Работа выполнена при поддержке гранта Стерлитамакского филиала Башкирского государственного университета № В15-66.

Для исследования коллекторских характеристик призабойной зоны пластов используются различные гидродинамические, геофизические, термогидродинамические методы [1-3]. В работе рассматривается метод опрессовки, как альтернативный выше перечисленным методам.

Рассматривается полость сферической формы, окруженная насыщенной жидкостью пористой средой. В исходном состоянии давление жидкости во всем пористом пласте вокруг полости постоянно и равно значению p'_0 , а сама полость частично заполнена жидкостью и частично газом. В момент времени $t = 0$ давление в полости мгновенно увеличивается до значения p_0 , например,

введением некоторого количества газа. Далее, за счет фильтрации жидкости в окружающее пористое пространство, давление в полости будет снижаться до значения p'_0 .

Исследуемый процесс описывается с помощью системы уравнений состояния жидкости и газа, сохранения массы жидкости внутри полости, закона Дарси и уравнения пьезопроводности.

После преобразования используемой системы получено нелинейное интегральное уравнение, описывающее релаксацию давления в полости [4 – 6]

$$\alpha_{g0} \left(\left(\frac{p_0}{p} \right)^{1/\gamma} - 1 \right) - \frac{p - p_0}{\rho_{l0} C_l^2} \left(1 - \alpha_{g0} \left(\frac{p_0}{p} \right)^{1/\gamma} \right) = \frac{3k}{a^2 \mu_l} \int_0^t \varphi \left(\frac{t - t'}{t_{al}} \right) (p(t') - p'_0) dt'$$

где α_{g0} и ρ_{l0} – начальные значения объемной доли газа в полости и плотности жидкости; a – радиус полости; μ_l – динамический коэффициент вязкости жидкости; k – коэффициент проницаемости; C_l – скорость звука в жидкости; $\varphi(S) = \frac{1}{\sqrt{\pi S}} + 1$. Уравнение решается численным методом. Для проверки численного метода рассматривается случай слабой опрессовки ($\Delta p_0 = p_0 - p'_0 \ll p_0$). После линеаризации из нелинейного интегрального уравнения получено линейное интегральное уравнение, для которой найдено точное аналитическое решение.

Рис. 1. Зависимости безразмерного давления от времени. Жирные точки соответствуют аналитическому решению линейного интегрального уравнения; сплошная линия – численное решение линейного интегрального уравнения; штриховая линия – численное решение нелинейного интегрального уравнения

На рис. 1 приведены результаты тестирования численного метода. Визуально жирные точки лежат на сплошной линии, т.е. решения, полученные численно и аналитически, практически совпадают. Погрешность численного ре-

шения при шаге по времени 0.001 равна 0.01%. Численные решения нелинейного и линейного интегральных уравнений очень близки, т.к. они получены для случая слабой опрессовки. Таким образом, используемый в работе численный метод достаточно точно решает нелинейное интегральное уравнение.

В работе выполнен анализ зависимости времени релаксации давления в полости от параметров системы.

Список используемых источников:

1. Хафизов Р.М., Хусаинов И.Г., Шагапов В.Ш. Динамика восстановления давления в "вакуумированной" скважине // Прикладная математика и механика. 2009. Т. 73. № 4. С. 615-621.
2. Хусаинов И.Г. Оценка качества перфорации скважины акустическим методом // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 5. С. 787.
URL: <http://www.science-education.ru/119-14505>
3. Хусаинов И.Г. Тепловые процессы при акустическом воздействии на насыщенную жидкостью пористую среду // Вестник Башкирского университета. 2013. Т. 18. № 2. С. 350-353.
4. Хусаинов И.Г., Хусаинова Г.Я. Исследование параметров пласта методом опрессовки // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 3 С. 705.
URL: <http://www.science-education.ru/117-13813>
5. Шагапов В.Ш., Хусаинов И.Г., Хафизов Р.М. Релаксация давления в полости, окруженной пористой и проницаемой породой, при ее опрессовке введением газа // Прикладная механика и техническая физика. 2006. Т. 47. № 1 (275). С. 109-118.
6. Шагапов В.Ш., Хусаинова Г.Я., Хусаинов И.Г., Хафизов Р.М. Релаксация давления в полости, окруженной пористой и проницаемой горной породой // Физика горения и взрыва. 2002. Т. 38. № 3. С. 106-112.

© 2015, Хусаинов И.Г., Рахимова Р.А.
Численное моделирование процесса опрессовки
сферической полости

© 2015, Khusainov I.G., Rakhimova R.A.
Numerical modelling of process pressure tests a
spherical cavity