

УДК 536.532

Хусаинова Гузалия Ядкарровна, доцент, к.ф.-м.н
(СФ БашГУ, г. Стерлитамак)
Khusainov Guzaliya Jadkarovna, Associate professor, PhD of Physical and
Mathematical Sciences
(SB of BashSU, Sterlitamak)

ТЕПЛОВЫЕ ЭФФЕКТЫ ПРИ ФИЛЬТРАЦИИ АНОМАЛЬНОЙ ЖИДКОСТИ

THERMAL EFFECTS AT A FILTRATION OF AN ABNORMAL LIQUID

Аннотация

Рассмотрена стационарная фильтрация аномальной жидкости для плоскорадиального течения. Получены аналитические решения распределения температуры в призабойной зоне при эксплуатации добывающей и нагнетающей скважины. Исследовано влияние начального градиента давления на температурные поля при разных градиентах давления и дебитах.

Abstract

The stationary filtration of an abnormal liquid for plainly-radial current is considered. Analytical decisions of distribution of temperature in a chink are received at operation of an extracting and forcing chink. The contribution of an initial gradient of pressure upon temperature fields is investigated at different gradients of pressure and charges.

Введение

При контроле и управлении современными технологическими процессами возникает необходимость моделирования движения структурированной многокомпонентной жидкости. Повышение эффективности разработки и эксплуатации нефтяных и нефтегазовых месторождений связано с расширением и углублением представлений о свойствах таких систем, особенностях их фильтрации в продуктивных пластах, с изучением физико-химических процессов, сопровождающих движение нефтяных и нефтегазовых систем в пористых средах. Наличие начального градиента давления при фильтрации нефти существенно влияет на поля давления, температуры, и наконец, на нефтегазоотдачу [1, 2].

В условиях реальных пластовых систем установление поля давления происходит значительно быстрее, нежели температурного поля.

Это означает, что при изучении температурных процессов в некоторых случаях поле давления можно считать стационарным. Термодинамические процессы при течении жидкостей в пористой среде в нестационарном поле давления отличаются от стационарных рядом важных особенностей. Поэтому явление изменения температуры при фильтрации жидкостей в пористой среде называется баротермическим эффектом [3].

Отметим, что установление температуры фильтрующейся жидкости сразу после включения стационарного профиля давления также относится к баротермическому эффекту и не совпадает с эффектом Джоуля–Томсона.

Величина эффекта Джоуля–Томсона не зависит от характеристик пористой среды, а определяется свойствами жидкости. Величина баротермического эффекта определяется коллекторскими свойствами пористой среды, изменяется со временем, зависит от распределения давления по пути движения жидкости.

Рассмотрим подробно поля температуры при плоскорадиальном течение аномальной жидкости [4].

Основная часть. Пусть в момент времени $t=0$ в горизонтальном пласте, который заполнен нефтью, обладающей предельным градиентом сдвига, пущена в эксплуатацию добывающая скважина. Начальное пластовое давление во всём пласте одинаково и равно P_k . Запишем основные уравнения.

Уравнение энергии [5]:

$$c_s \frac{\partial T}{\partial t} - c_l m \eta \frac{\partial P}{\partial t} = \lambda \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right), \quad \left| \frac{\partial P}{\partial r} \right| \leq G_0, \quad (1)$$

$$c_s \frac{\partial T}{\partial t} + c_l v \left(\frac{\partial T}{\partial r} + \varepsilon \frac{\partial P}{\partial r} - \eta G_0 \frac{\partial P}{\partial r} \left/ \left| \frac{\partial P}{\partial r} \right| \right) - \eta m c_l \frac{\partial P}{\partial t} = \lambda \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right), \quad \left| \frac{\partial P}{\partial r} \right| > G_0,$$

где T – температура пласта, P – давление жидкости в пласте, v – скорость фильтрации жидкости, c_s и c_l – теплоемкость скелета и жидкости, соответственно, η – коэффициент адиабатического охлаждения, ε – коэффициент Джоуля–Томсона, m – коэффициент пористости, λ – коэффициент теплопроводности, G_0 – начальный (предельный) градиент давления.

С начальным

$$T|_{t=0} = 0 \quad (2)$$

и граничным условиями:

$$T|_{r=R_k} = T_0(t). \quad (3)$$

Распределение давления с учётом начального градиента давления

$$\frac{\partial P}{\partial t} = \chi \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \left[\frac{\partial P}{\partial r} - G_0 \frac{\frac{\partial P}{\partial r}}{\left| \frac{\partial P}{\partial r} \right|} \right] \right) \quad \text{при} \quad \left| \frac{\partial P}{\partial r} \right| > G_0 \quad (4)$$

с начальным

$$P|_{t=0} = P_k \quad (5)$$

и граничными условиями:

$$P(R_k) = P_k,$$

$$\frac{k}{\mu} \left(\frac{\partial P}{\partial r} - G_0 \right) \Big|_{r=r_0} = \frac{Q}{2\pi r_0 h}, \quad (6)$$

где k – коэффициент проницаемости, μ – вязкость жидкости, χ – коэффициент пьезопроводности, Q – объемный расход жидкости, h и r_0 – толщина пласта и радиус скважины.

При стационарной плоскорадиальной фильтрации распределение давления имеет вид [6]:

$$P(r) = P_k - G_0(R_k - r) + \frac{\mu Q}{2\pi k h} \ln \frac{r}{R_k}, \quad (7)$$

где R_k – радиус контура. При отборе жидкости из пласта давление на контуре больше, чем на скважине.

Скорость переноса тепла u и линеаризованное уравнение состояния можно написать в виде:

$$u = -\frac{c_l k}{c_s \mu} \left(\frac{\partial P}{\partial r} - G_0 \frac{\frac{\partial P}{\partial r}}{\left| \frac{\partial P}{\partial r} \right|} \right) \quad \text{при} \quad \left| \frac{\partial P}{\partial r} \right| > G_0; \quad (8)$$

$$\rho = \rho_0. \quad (9)$$

Рассмотрим случай, когда пренебрегаем теплопроводностью. После подстановки (7), (8) в уравнение энергии получим

$$\frac{\partial T}{\partial t} - \frac{c_l}{c_s} \frac{Q}{2\pi h r} \frac{\partial T}{\partial r} - \frac{c_l}{c_s} \frac{Q\varepsilon}{2\pi h r} \left(G_0 + \frac{Q\mu}{2\pi h r k} \right) + \frac{c_l}{c_s} \frac{Q\eta G_0}{2\pi h r} \frac{\frac{\partial P}{\partial r}}{\left| \frac{\partial P}{\partial r} \right|} = 0. \quad (10)$$

Уравнение (10) решим методом характеристик. Найдём характеристики из уравнения

$$\frac{dr}{dt} = -\frac{c_l}{c_s} \frac{Q}{2\pi h r}, \quad (11)$$

тогда

$$r^2 = R_k^2 - \frac{c_l}{c_s} \frac{Q}{\pi h} (t - p), \quad (12)$$

где p – параметрическое значение.

Вычислим распределение температуры из уравнения (10)

$$\frac{dT}{dt} = \frac{c_l}{c_s} \frac{QG_0}{2\pi hr} (\varepsilon - \eta) + \frac{c_l}{c_s} \frac{\mu \varepsilon Q^2}{(2\pi hr)^2 k}. \quad (13)$$

С учётом (12), начального и граничного условий находим окончательное распределение полей температуры для добывающей скважины при аксиально-симметричном течении:

$$T = G_0(\varepsilon - \eta) \left(\sqrt{r^2 + \frac{c_l}{c_s} \frac{Q}{\pi h} t} - r \right) + \frac{\varepsilon \mu}{4} \frac{Q}{\pi k h} \ln \left| \frac{r^2 + \frac{c_l}{c_s} \frac{Q}{\pi h} t}{r^2} \right| \quad (14)$$

при $r^2 < R_k^2 - \frac{c_l}{c_s} \frac{Q}{\pi h} t$;

$$T = T_0 \left\{ t + \frac{c_s}{c_l} \frac{(r^2 - R_k^2) \pi h}{Q} \right\} - G_0(\varepsilon - \eta)(r - R_k) + \frac{\varepsilon \mu}{k} \frac{Q}{2\pi h} \ln \frac{R_k}{r}, \quad (15)$$

при $r^2 > R_k^2 - \frac{c_l}{c_s} \frac{Q}{\pi h} t$.

Выражения (14)–(15) описывают распределение температуры в призабойной зоне при эксплуатации добывающей скважины.

Список литературы

1. Мирзаджанзаде А.Х., Баренблатт Г.И., Ентов В.М. и др. О возможном влиянии начального градиента давления на разработку многопластовых газовых и газоконденсатных месторождений при водонапорном режиме // Известия вузов. Серия "Нефть и газ". 1970. № 1. С. 39–49.
2. Мирзаджанзаде А.Х., Ковалев А.П., Зайцев Ю.В. Особенности эксплуатации месторождений аномальных нефтей. М.: Недра. 1972. 200 с.
3. Баренблатт Г.И., Ентов В.М., Рыжик В.М. Теория нестационарной фильтрации жидкости и газа. М.: Недра. 1972. 288 с.
4. Хусаинова Г.Я. Исследование температурных полей при фильтрации аномальных жидкостей. / Автореф. дисс. ... канд. физ.-мат. наук. Уфа, 1998. С. 14.
5. Филиппов А.И., Хусаинова Г.Я. Развитие термодинамики аномальных жидкостей // Материалы II Уральской региональной межвуз. науч.-практич. конф. Уфа. 1997. С. 34
6. Филиппов А.И., Хусаинова Г.Я., Девяткин Е.М. К термодинамике аномальных нефтей в пластах // Известия ВУЗов. Серия "Нефть и газ". 1997. №2. С 38–46.
7. Кикоин И.К. Таблицы физических величин. М.: Атомиздат, 1976. 1008 с.

8. Чертов А.Г. Физические величины (терминология, определения, обозначения, размерности, единицы): справ. пособие. М.: Высш. шк., 1990. 335 с.