ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ ВОРОНКИ НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Пономарев А.А.

ФГБОУ ВО Оренбургский государственный университет,
г. Оренбург

Известно, что разрыв в сложившейся сплошности горных пород, вызывающих землетрясения, наступает в результате накопления упругих деформаций выше предела, который может выдержать конкретная структура земной коры. Деформации могут возникать при относительных перемещениях соседних блоков в осадочных толщах или в кристаллическом фундаменте. Существенное влияние на вертикальное перемещение блоков могут оказать изменения в давлениях выше – и ниже расположенных горизонтов подземных вод [1, 2, 3, 4].

Результаты исследований геологического строения и изменения давлений пластовых вод разрабатываемых месторождений углеводородного сырья дают возможность создать математическую модель гидродинамических процессов в водоносном комплексе [1, 2, 6, 7].

При разработке модели допускаем, что величина фильтрационного потока постоянна для всей площади фильтрации и выше – и ниже лежащих горизонтов. С одной квадратной единицы площади пласта – покрышки и пласта – подошвы поступает вода, расход которой (измеряемый в мм/год) обозначим q' . Благодаря инфильтрации расход по длине фильтрационного потока оказывается переменным.

Рассмотрим равномерную фильтрацию, т.е. $q' = q'_{cp} = const$ (по всей границе продуктивного пласта сверху и снизу). Данная ситуация отражает условия уравнения Роте [5]:

$$\frac{q_T}{k} + \frac{1}{2} \frac{q'}{k} L = \frac{h_1^2 - h_2^2}{2L} \quad (1)$$

где L – радиус воронки; h_1, h_2 – статический уровень пластовых вод за пределами и в центре воронки; k – коэффициент фильтрации.

Из (1) при заданных L, h_1, h_2, q' и k получим транзитивный расход q_T . [4]

Для построения кривой депрессии, уравнение (1) перепишем в виде:

$$\frac{q_T}{k} + \frac{q'}{k} \left(L - \frac{1}{2} x \right) = \frac{h^2 - h_2^2}{2x} \quad (2)$$

Задаваясь в этом уравнении различными x и вычисляя соответствующие им h , можно построить кривую депрессии $h(x)$.
Выразим h из (2) уравнения. Раскроем скобки:

$$\frac{q_T}{k} + \frac{q'L}{k} - \frac{q'x}{2k} = \frac{h^2 - h_2^2}{2x} \quad (3)$$

Умножим на $2x$:

$$\frac{2x \cdot q_T}{k} + \frac{2x \cdot q' \cdot L}{k} - \frac{q' \cdot x^2}{k} = h^2 - h_2^2 \quad (4)$$

Теперь перенесем h_2^2 и возьмем корень:

$$h = \sqrt{\frac{2x \cdot q_T}{k} + \frac{2x \cdot q' \cdot L}{k} - \frac{q' \cdot x^2}{k} + h_2^2} \quad (5)$$

Используя итерационный метод найдем h для каждого x и построим график функции.

На основе уравнений (1) и (2) можно оценить время восстановления гидродинамической воронки. Из уравнения (1) получим транзитивный расход q_T :

$$q_T = \frac{h_1^2 - h_2^2}{2L} k - \frac{1}{2} q' L \quad (6)$$

где L – радиус гидродинамической воронки, h_1, h_2 – статический уровень пластовых вод в естественных и техногенно-нарушенных условиях, k – коэффициент фильтрации, q' - изменение величины перетока через породы покрышек.

Тогда пластовый напор увеличится за год на:

$$\Delta h_2 = \frac{q_T}{L} + q' \quad (7)$$

Рекуррентное соотношение будет иметь вид

$$h_{2,i} = \frac{h_1^2 - h_{2,i-1}^2}{2L^2} k + \frac{1}{2} q' + h_{2,i-1}, i = 1, 2, \dots, \quad (8)$$

где $h_{2,i}$ - величина напора пластовых вод после i -го года восстановления [3]. Таким образом, построение математической модели гидродинамической воронки в конечном итоге может быть использовано для мониторинга и прогноза техногенных последствий разработки нефтегазовых месторождений. Работа выполнена при поддержке грантом Правительства Оренбургской области (соглашение № 11 от 30.06.2016).

Список литературы:

1. Нестеренко, М.Ю. Геоэкология недр нефтегазоносных районов Южного Предуралья [Текст] / М.Ю. Нестеренко - Екатеринбург: УрО РАН, 2012. - 135 с.
2. Нестеренко, М.Ю. Гидрогеологические процессы и их моделирование в районах добычи углеводородов на примере Южного Предуралья [Текст] / М.Ю. Нестеренко, Ю.М. Нестеренко Вестник ОГУ. 2010. № 9. С. 122–127.
3. Нестеренко, Ю.М. Водоносные комплексы Бузулукской впадины и их взаимодействие [Текст] / Ю.М. Нестеренко, А.В. Глянецев.- Ж. Нефтепромысловое дело, №12, 2007. С. 30-33.
4. Нестеренко, Ю.М. Влияние разработки месторождений углеводородов на геодинамику и водные системы Южного Предуралья [Текст] / Ю.М. Нестеренко, М.Ю. Нестеренко, В.И. Днистрянский, А.В. Глянецев. - Литосфера. 2010. № 4. С. 28–41.
5. Чугаев, Р.Р. Гидравлика: Учебник для вузов.- 4-е изд., доп. и пере-раб. [Текст] / Р.Р. Чугаев – Л.: Энергоиздат, 1982. – 672 с.
6. Нестеренко, М.Ю. Применение математического аппарата для геоэкологического прогноза и мониторинга / М.Ю. Нестеренко, А.А. Пономарев, Г.А. Пономарева. – Воронеж, 2015.- С. 22-24.
7. Нестеренко, М.Ю. Применение математических методов при решении геоэкологических проблем месторождений углеводородного сырья / М.Ю. Нестеренко, А.А. Пономарев // XXII Всероссийская научная конференция «Уральская минералогическая школа-2016»: сб. статей. – Екатеринбург: Изд. ИГГ УрО РАН, 2016. - С. 73-75.