

ВЫЯВЛЕНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ ЭФФЕКТОВ ФИЛЬТРАЦИИ ПО КРИВЫМ РЕАГИРОВАНИЯ

Дударева О.В., к.ф.-м.н., ст.преподаватель

Бирский филиал УУНиТ, г. Бирск, Россия

Аннотация. В работе, на основе нелинейного закона фильтрации, решена задача о гидродинамическом исследовании скважин методом гидропрослушивания. Получены эволюция полей забойного давления в возмущающей и реагирующей скважинах. Показано, что по результатам кривых реагирования возможно выявлять нелинейные эффекты фильтрации.

Ключевые слова: низкопроницаемые коллектора, метод гидропрослушивания, кривая реагирования.

В последнее время наблюдается ухудшение структуры запасов углеводородов. С каждым годом возрастает значимость задач, связанных с поиском и освоением низкопроницаемых и сверхнизкопроницаемых коллекторов. В таких коллекторах процессы фильтрации не подчиняются классическому линейному закону Дарси, а протекают по иным, более сложным закономерностям. Зависимость скорости фильтрации от градиента давления в этих условиях описывается нелинейной функцией, учитывающей начальный градиент давления. В предыдущих исследованиях [2] был предложен нелинейный закон фильтрации, описывающий экспериментальные данные [1].

Рассмотрим задачу о гидродинамическом исследовании пластов по взаимодействию скважин [3, 4]. Пусть в полубесконечном однородном пласте функционируют две скважины (рис. 1). Первоначально ($t < 0$) давление в пласте всюду однородно и равно p_0 . В момент времени $t = 0$ запущена в работу одна из скважин (возмущающая) в режиме постоянного отбора жидкости Q , что вызывает изменение давления во второй (реагирующей или «прослушивающей») скважине расположенной на расстоянии R_1 .

Предполагается, что движение жидкости происходит по нелинейному закону фильтрации.

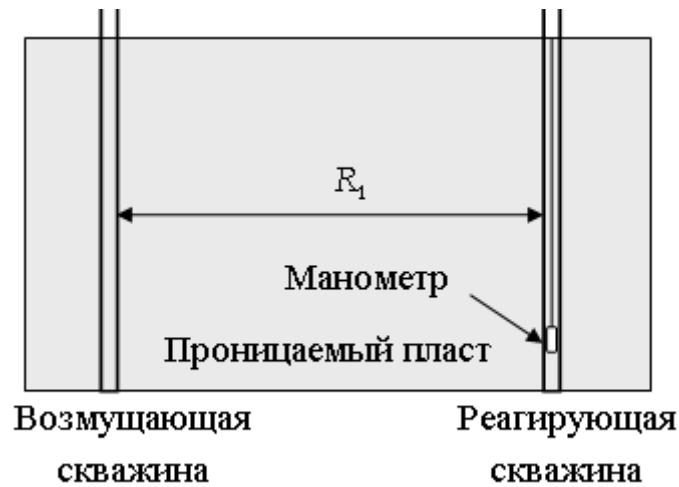


Рис. 1. Схема проведения гидропрослушивания пласта

В соответствии с вышесказанным начальное условие в пласте запишется в виде

$$t = 0, r_c < r < \infty : p = p_0. \quad (1)$$

Граничные условия на забое возмущающей скважины имеют вид

$$t > 0, r = r_c : 2\pi r h_c \frac{k}{\mu} \frac{dp}{dr} \left(1 - \left(q / \frac{dp}{dr} \right)^\gamma \right) = Q, \quad (2)$$

Граничное условие на контуре питания запишем как

$$t > 0, r = \infty : p = p_0. \quad (3)$$

Перепад давления между пластовым p_0 и забойным $p_{ev}(t)$ в возмущающей скважине обозначим в виде

$$\Delta p_{ev}(t) = p_0 - p_{ev}(t). \quad (4)$$

Перепад давления между пластовым p_0 и забойным $p_{er}(t)$ в реагирующей скважине обозначим в виде

$$\Delta p_{er}(t) = p_0 - p_{er}(t). \quad (5)$$

Для численного решения основного уравнения фильтрации [2], с граничными условиям (2) – (3) используется метод конечных разностей по явной схеме.

На рис. 2 представлено распределение давления в возмущающей $p_{ev}(t)$ и «прослушивающей» $p_{er}(t)$ скважинах при $M_0 = 0,5$ кг/с. Предполагается, что расстояние между скважинами $R_1 = 30$ м. Сплошная линия соответствует значению $q = 0$. Пунктирная линия соответствует значениям $q = 0,1$ МПа/м и $\gamma = 2$. Из рисунка видно, что после пуска возмущающей скважины, на первых этапах ее работы происходит резкое снижение забойного давления $p_{ev}(t)$, при этом давление $p_{er}(t)$ в «прослушивающей» скважине остается постоянным и равным пластовому. Импульс давления до нее доходит через $t = 1 \div 1,5$ суток, в результате чего начинает понижаться забойное давление.

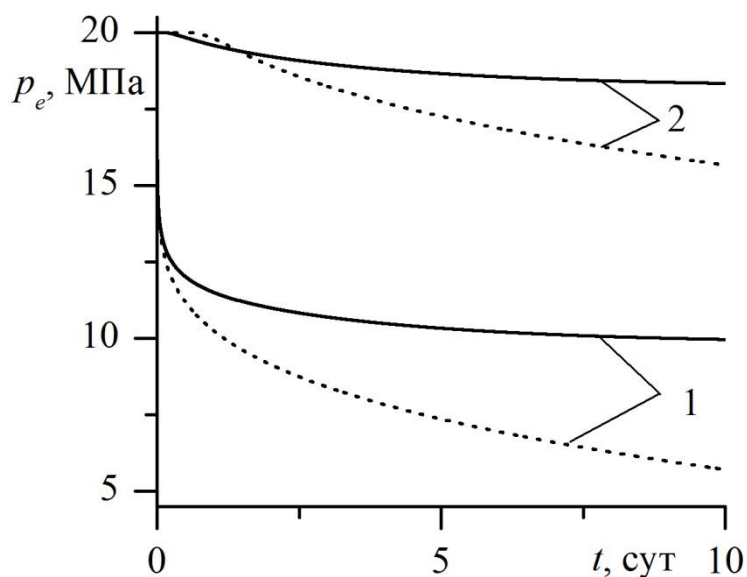


Рис. 2. Распределение давления в возмущающей (1) и реагирующей (2) скважинах.

Отметим, что по результатам исследования скважин методом гидропрослушивания можно качественно и количественно выявить характерные признаки нелинейных эффектов фильтрации. Так при фильтрации жидкости с учетом нелинейных эффектов на начальном этапе в

«прослушивающей» скважине пластовое давление держится дольше и в дальнейшем снижается более интенсивно.

Изменение начального пластового давления в «прослушивающей» скважине при $q = 0,1$ МПа/м происходит через $t \approx 1,5$ суток, а при $q = 0$ через $t \approx 1$ сутки. В дальнейшем, после 10 суток функционирования скважины давление $p_{er}(t)$ при $q = 0,1$ МПа/м снижается на 4,5 МПа/м (от значения 20 МПа/м до 15,5 МПа/м), а при $q = 0$ на 1,5 МПа/м (от значения 20 МПа/м до 18,5 МПа/м).

Таким образом, проанализировано влияние нелинейных эффектов фильтрации на реагирование «прослушивающей» скважины при работе добывающей скважины в режиме постоянного дебита. Показано более интенсивное снижение давления как в основной, так и «прослушивающей» скважине из-за проявления нелинейных эффектов фильтрации.

Литература

1. Зайцев М.В., Михайлов Н.Н., Туманова Е.С. Модели нелинейной фильтрации и влияние параметров нелинейности на дебит скважин в низкопроницаемых коллекторах // Георесурсы. 2021. Т.23. №4. С.44-50
2. Шагапов В.Ш., Дударева О.В. Нелинейные эффекты фильтрации при переходных режимах работы скважины // Инженерно-физический журнал. 2016. Т.89. № 2. С. 285–291
3. Шагиев Р.Г. Исследование скважин по КВД. М.: Наука, 1998. 304 с.
4. Эрлагер Р. Гидродинамические исследования скважин. Москва–Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2004. 468 с.