

УДК 532.546

Моделирование фильтрации с модифицированными проницаемостями и при линейных, квадратичных и кубических исходных проницаемостях

В.А. Богомолов, Р.Х. Низаев, С.П. Плохотников, Д.С. Плохотников
Казанский государственный технологический университет, Россия

Исследуется погрешность двух известных осредненных по толщине слоистого пласта моделей двухфазной фильтрации. Расчеты проводились для линейных, квадратичных и кубических исходных проницаемостей. Все расчеты проведены как для пятиточечной, так и для девятиточечной системы заводнения.

Ключевые слова: фильтрация, фазовые проницаемости, нефтедобыча.

Досліджується похибка двох відомих осереднених по товщині шаруватого пласта моделей двофазної фільтрації. Розрахунки проводилися для лінійних, квадратичних і кубічних вихідних проникностей. Всі розрахунки проведені як для п'ятиточечної, так і для дев'ятиточковою системи заводнення.

Ключові слова: фільтрація, фазові проникності, нафтовидобуток.

We investigate the accuracy of two well-known averaged over the thickness of the layered reservoir models of two-phase filtration. The calculations were performed for linear, quadratic and cubic baseline permeability. All calculations were performed for 5-point, and for the 9-point flooding system.

Key words: filtration, phase permeability, oil.

1. Введение

Исследуется погрешность двух известных осредненных по толщине слоистого пласта моделей двухфазной фильтрации. Рассматривается двухфазное изотермическое вытеснение нефти водой в рамках модели Баклея-Леверетта при площадном заводнении в слоистом пласте – пятиточечной и девятиточечной системах заводнения. На приведённом ниже рисунке 1 видны симметричные элементы пятиточечной системы заводнения – одна нагнетательная скважина в центре квадрата, а вокруг – 4 добывающих скважины.

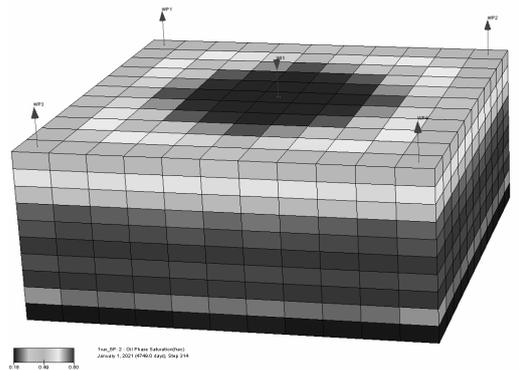


Рис. 1. Пятиточечная система заводнения

На рисунке 2 для девятиточечной системы – одна нагнетающая воду скважина в центре, а вокруг – 8 добывающих скважин.

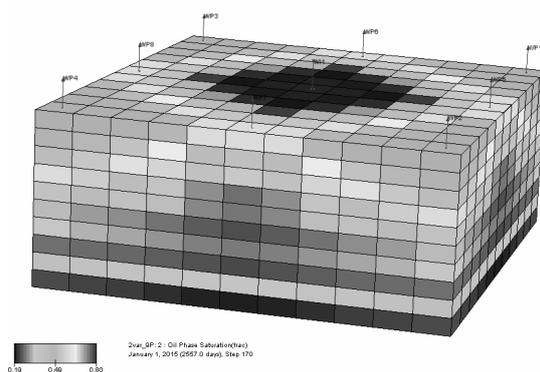


Рис. 2. Девятиточечная система заводнения

Математическая постановка двумерной (x,y)-задачи двухфазовой фильтрации с известными краевыми условиями дана в работах [1, 2]. Численные расчеты производились на гидродинамическом симуляторе Tempest фирмы Roxar.

В модели были заданы следующие физические параметры: 1230.0 - глубина пласта, м; 1000 - расстояние между добывающими скважинами для 5-точечного элемента, м; 707 - между добывающими и нагнетательным скважинами для 5-точечного элемента, м; 500 - расстояние между добывающими скважинами для 9-точечного элемента, м; 500 и 707 - между добывающими и нагнетательным скважинами для 9-точечного элемент, м; 128.0 - начальное пластовое давление, атм; 22.0 - температура пласта, С; 50.0 - давление насыщения, атм; 1000.0 - плотность воды, kg/m³; 1e-051 - сжимаемость воды, 1/bar; 1.000 - вязкость воды, ср; 850.0 - плотность нефти, kg/m³; 55 - забойное давление на добывающей скважине, атм.; 170 - забойное давление на нагнетательной скважине, атм.

Рассматриваемые пласты имели следующие физические параметр: $K_{B0}=0.5$ – начальная относительная проницаемость воды; $K_{H0}=0.7$ - начальная относительная проницаемость нефти; $S^*=0.8$ – максимальная водонасыщенность на нагнетательной галерее; $S^*=0.2$ – минимальная остаточная водонасыщенность; S - водонасыщенность, $S^* \leq S \leq S^*$; $\mu_H = 15.1$ МПа – вязкость нефти; $\mu_B = 0.77$ МПа – вязкость воды; $m = 0.2$ - пористость

2. Описание моделей

Расчеты для пятиточечной и девятиточечной систем проводились для четырех вариантов:

1. С-модель - задача решалась с линейными, квадратичными и кубическими исходными проницаемостями. $K_g(S)$, $K_H(S)$ вида (1) и средней $K^*=0.5$ дарси в двумерной постановке. Задается 1 пропласток, высотой $H = 10$ м

$$K_B(S) = K_{B0} \left[\frac{(S-S_*)}{(S^*-S_*)} \right], \quad K_H(S) = K_{H0} \left[\frac{(S^*-S)}{(S^*-S_*)} \right]$$

$$K_B(S) = K_{B0} \left[\frac{(S-S_*)}{(S^*-S_*)} \right]^2, \quad K_H(S) = K_{H0} \left[\frac{(S^*-S)}{(S^*-S_*)} \right]^2 \quad (1)$$

$$K_B(S) = K_{B0} \left[\frac{(S-S_*)}{(S^*-S_*)} \right]^3, \quad K_H(S) = K_{H0} \left[\frac{(S^*-S)}{(S^*-S_*)} \right]^3$$

2. В-модель - задача решалась в двумерной постановке с модифицированными $K_B^M(S)$ $K_H^M(S)$ вида (2) и средней $K^*=0.5 \text{ дarcy}$ для равномерного закона распределения задания абсолютной проницаемости $K(z)$ исходного слоистого пласта. Задается 1 пропласток, высотой $H = 10 \text{ м}$.

$$K_B^M(S) = K_B(S) \cdot [1 + V \cdot \sqrt{3} \cdot (1 - S_{II}(S))], \quad (2)$$

$$K_H^M(S) = K_H(S) \cdot [1 - V \cdot \sqrt{3} \cdot S_{II}(S)]$$

3. А₈-модель (с изолированными пропластками) – эталонное численное трёхмерное решение задачи для десятислойного пласта с изолированными пропластками (отсутствуют перетоки), абсолютная проницаемость которых подчиняется равномерному распределению. Задается 10 пропластков каждый высотой $H_1 = H_2 = H_3 = H_4 \dots H_{10} = 1 \text{ м}$, изолированных друг от друга непроницаемыми перемычками.

4. А₇-модель (с неизолрованными пропластками) – тоже, что и предыдущая модель, но с неизолрованными пропластками. Задается 10 пропластков гидродинамически связанные друг с другом, расположены лучший (максимальное значение абсолютной проницаемости) рядом с худшим (минимальное значение абсолютной проницаемости), лучший из оставшихся рядом с худшим из оставшихся снизу-вверх и т.д. Рис. 3 и Таб. 1.

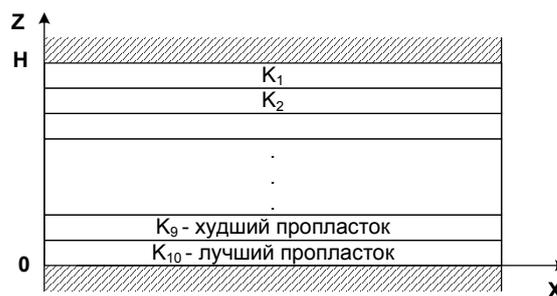


Рис. 3. А₇-модель с неизолрованными пропластками

Таблиця 1. Распределение проницаемости по прослоям для A_7 -модели с неизолированными пропластками, мдарси

K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7	K_8	K_9	K_{10}
450	550	350	650	250	750	150	850	50	950

3. Результаты вычислений

Приведем результаты расчетов нефтеотдачи для всех моделей (C, A_7 , A_8 , B), для случаев с линейными, квадратичными и кубическими исходными проницаемостями и для пятиточечной и девятиточечной системах заводнения.

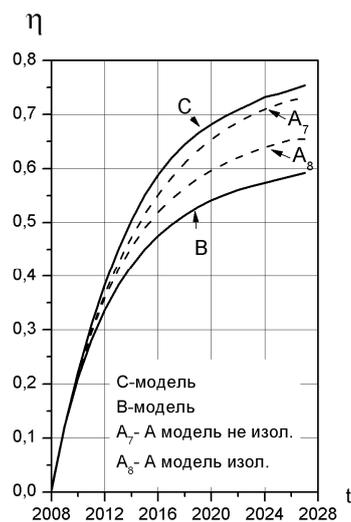


Рис. 4. Линейные $K_6(S)$, $K_H(S)$, пятиточечная система

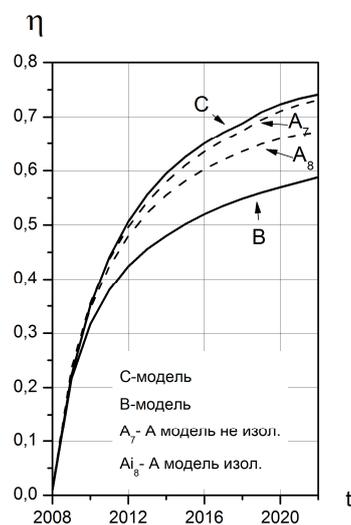


Рис. 5. Линейные $K_6(S)$, $K_H(S)$, девятиточечная система

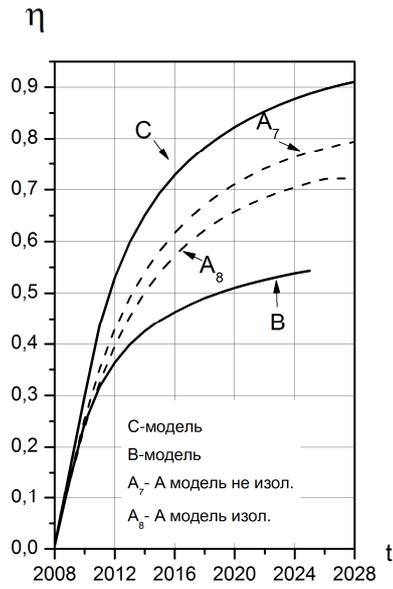


Рис. 6. Квадратичные $K_6(S)$, $K_H(S)$, пятиточечная система

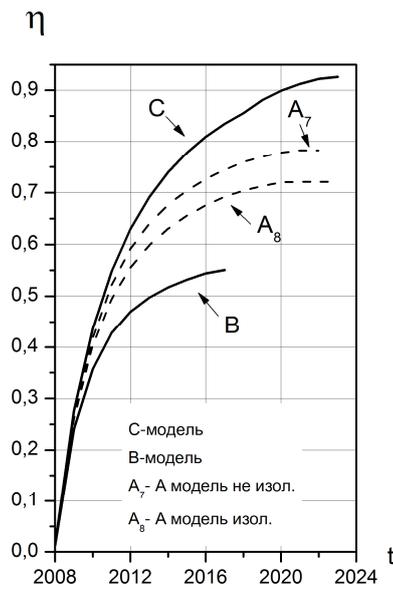


Рис. 7. Квадратичные $K_6(S)$, $K_H(S)$, девятиточечная система

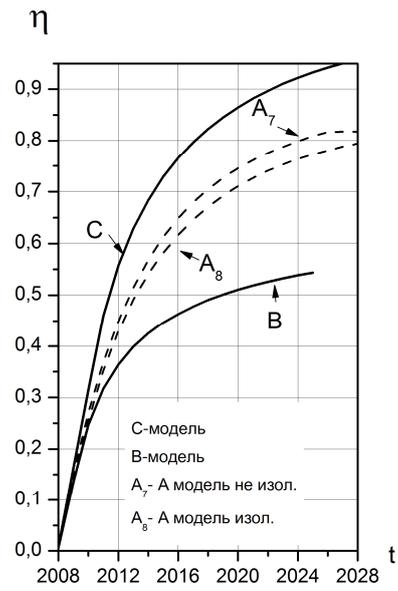


Рис. 8. Кубические $K_e(S)$, $K_H(S)$, пятиточечная система

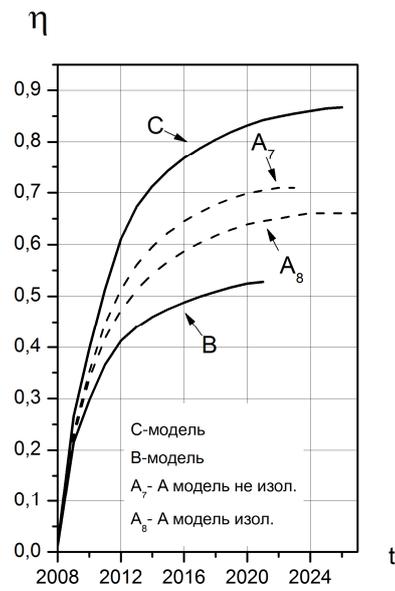


Рис. 9. Кубические $K_e(S)$, $K_H(S)$, девятиточечная система

4. Выводы по результатам

На рис. 4-9 хорошо видно, что осредненные решения B и C ограничивают снизу и сверху эталонные решения A_7 и A_8 , которые занимают крайние верхние и нижние положения из всех различных вариантов A_i . Это говорит об обоснованности применения этих двух осредненных моделей в совокупности при площадном заводнении в слоистых пластах при двухфазной фильтрации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Слабнов В.Д. Влияние некоторых факторов регулирования на основные показатели нефтедобычи из неоднородного пласта // Ж.Математическое моделирование/ РАН, – М., 2002г. – т.14, №1, – С.3-15.
2. Чекалин А.Н. Численные решения задач фильтрации в водонефтяных пластах – Казань: Изд-во Казан, ун-та, 1982.- 208с.