

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
Казанский филиал
Физико-технический институт

ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ
РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ФИЛЬТРАЦИИ
И ОПТИМИЗАЦИИ НЕФТЕДОБЫЧИ

Казань 1990

Научный редактор - канд. физ.-мат. наук, ст. научн. сотр.
А.И. Никифоров

В сборнике рассматриваются вопросы, связанные с расчетом многофазной фильтрации. Методы математического программирования применяются к задачам нефтедобычи в условиях внешнего воздействия на пласт, решаются задачи идентификации. Для решения этих задач широко используются методы вычислительной математики.

Сборник рассчитан на сотрудников научно-исследовательских учреждений, а также на инженерно-технических работников, занимающихся вопросами разработки нефтяных месторождений.

Ответственные за выпуск - канд. физ.-мат. наук,
ст. научн. сотр. А.Г. Фатыхов

инженер З.Ф. Солянова

1990 ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ФИЛЬТРАЦИИ И
ОПТИМИЗАЦИИ НЕФТЕДОБЫЧИ

Казанский физико-технический институт КНЦ АН СССР
УДК 532.546

К АНАЛИЗУ ЗАСТОЙНЫХ ЗОН ВЯЗКОПЛАСТИЧЕСКОЙ НЕФТИ
В ПОРИСТОЙ СРЕДЕ

В.Б. Таранчук

При вытеснении нефти водой в пористой среде в областях малых скоростей фильтрации, вблизи малопроницаемых участков пласта нефтенасыщенность остается длительное время высокой. В частности, считается, что если нефть обладает предельным напряжением сдвига, образуются застойные зоны - целики. Для оценки объема невытесненной нефти, находящейся в этих зонах, применяется физическое моделирование и теоретические расчеты. Следуя [1], оценку сверху потерь нефти по объему дает теория предельно равновесных целиков (см., например, [2-4]).

В настоящей работе обсуждается методика и некоторые результаты численного моделирования процесса формирования застойных зон, возникающих при вытеснении вязкопластической нефти водой вблизи малопроницаемых включений.

Рассмотрим изотермическую фильтрацию двух несмешивающихся несжимаемых жидкостей в плоском горизонтальном недеформируемом пласте, когда движение вытесняемой жидкости описывается законом фильтрации с предельным градиентом (см., например, [2]), а вытесняющей - обобщенным законом фильтрации Дарси. Если капиллярный скачок давления между фазами не учитывается, то система уравнений для определения давления и водонасыщенности может быть записана в виде [5]

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(A \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(A \frac{\partial p}{\partial y} \right) = 0 ,$$
$$m \frac{\partial s}{\partial t} + \frac{\partial (\mu_1 \Phi)}{\partial x} + \frac{\partial (\mu_2 \Phi)}{\partial y} = 0 ,$$

$$\text{где } A = k(\psi f_1/\mu_1 + f_2/\mu_2), \Phi = k f_2/(\mu_2 A), u_i = -A \partial p/\partial x,$$

$u_1 = -A \partial p/\partial y, \psi = 1 - G/|\nabla P|$, если $|\nabla P| > G, y=0$
 при $|\nabla P| \leq G$. Здесь t - время, x, y - декартовы координаты в области фильтрации, μ - пористость, $k = k(x, y)$ - абсолютная проницаемость среды, $f_i(S)$ - относительные фазовые проницаемости, μ_i - вязкости фаз, индексы $i = 1$ и 2 относятся, соответственно, к вытесняемой и вытесняющей фазам,
 $G = G(x, y)$ - предельный градиент давления нефти.

Пусть движение происходит в прямоугольной области $0 \leq x \leq a, 0 \leq y \leq b$ с непроницаемыми границами $y=0, y=b$ при заданных расходе жидкости $Q = Q_0(y)$, доле воды $\Phi = \Phi_0(y)$ на входе ($x=0$), в начальный момент времени ($t=0$) известно распределение насыщенности $S = S_0(x, y)$ во всей области фильтрации.

Задавая соответствующим образом функции $k(x, y), G(x, y), Q_0(y), \Phi_0(y)$ и размеры a, b можно воспроизводить условия, для которых построены решения в рамках теории предельно равновесных целиков.

Приведем пример. В [2] дано решение задачи о форме и размерах целика, возникающего при течении вязкопластической жидкости вблизи уступа высоты h (см. рис. Ia). Для моделирования такой геометрии потока в рамках изложенной выше постановки задачи задаются (обозначения см. на рис. Ib)

$$k(x, y) = k_1, (x, y) \in \{0 \leq x \leq a, 0 \leq y \leq b_1\},$$

$$k(x, y) = k_0, (x, y) \in \{0 \leq x \leq a, 0 \leq y \leq b\} \setminus \{0 \leq x \leq a, 0 \leq y \leq b_1\},$$

$$S_0(x, y) = S_*, (x, y) \in \{0 \leq x \leq a, 0 \leq y \leq b\},$$

$$u_0(y) = u_*, t > 0, b_1 < y \leq b,$$

$$u_0(y) = 0, t > 0, 0 \leq y \leq b_1,$$

$$\Phi_0(y) = 0, t > 0, 0 \leq y \leq b_1,$$

$$\Phi_0(y) = 1, t > 0, b_1 < y \leq b,$$

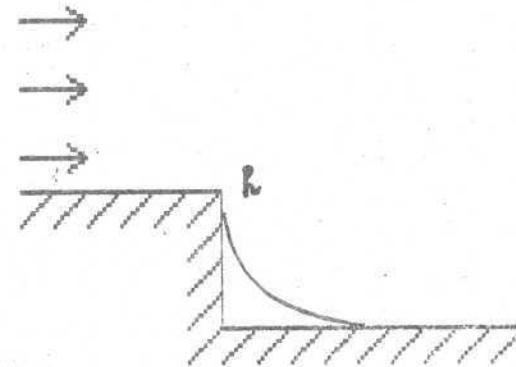


РИС. 1.а.

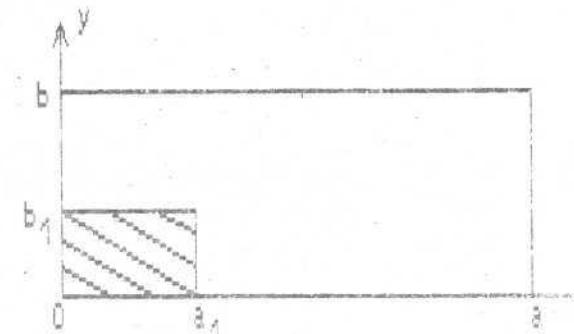


РИС. 1.б.

5

110

6.

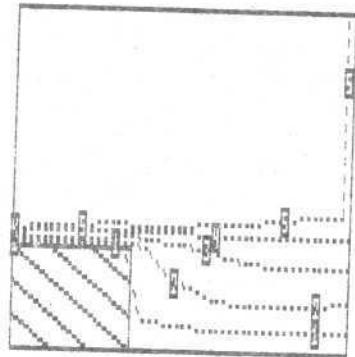
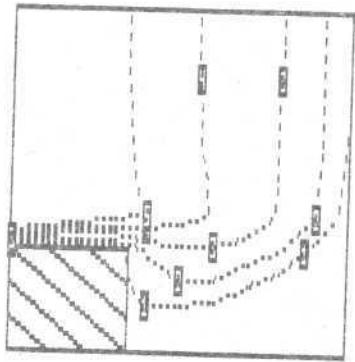


Рис. 2. Динамика изосат . Случай $\pi = 0,015$.

111

7

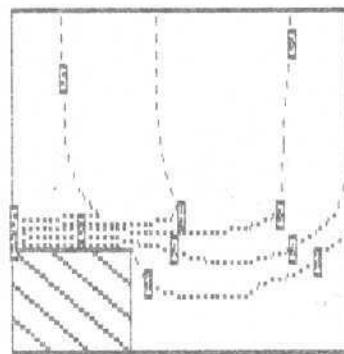


Рис. 3. Динамика изосат . Случай $\pi = 0,3$.

где k_0 , k_1 , s_* - постоянные, $k_1 = k_0/100$, s_* - насыщенность связанный воды, значения a_1 и b_1 выбираются величинами $a_1 = a/3$ и $b_1 = b/3$. Значения предельного градиента $G = G_1$ в неоднородном включении $\{0 \leq x \leq a_1, 0 \leq y \leq b_1\}$ и вне его G_0 также задаются постоянными, причем $k_1 G_1^2 = k_0 G_0^2$ ([2]).

Решение при указанных предположениях рассчитано методом, изложенным в [5], с помощью программы GYRUP1 пакета [6]. При расчетах принято $f_1 = (1-s)^2$, $f_2 = s^2$, варьировались безразмерные параметры $\mu = \mu_1/\mu_2$ и $\kappa = k_0 G_0/a_1 \mu_1$.

Динамику потока можно проследить на рисунках 2 и 3, где показаны изосаты $s = 0, 1; 0, 2; 0, 3; 0, 4; 0, 5$ - кривые I-5 в моменты времени, когда прокачаны 0,25; 0,5; 1 и 1,5 поровых объемов. Расчеты проводились для значений $\mu = 10$, $\kappa = 0,015$ (рис.2) и $\kappa = 0,3$ (рис.3).

Из приведенных рисунков видно, что после прокачки одного порового объема конфигурация изосат $s = 0, 1; 0, 2; 0, 3$ не меняется, что дает основание говорить о формировании застойной зоны. В данной модели - это зона высокой остаточной нефтенасыщенности, насыщенность в которой, вообще говоря, переменна. Составляя решения, полученные при разных κ , с приведенными в [2] можно отметить общие качественные закономерности.

ЛИТЕРАТУРА

- Алимов М.М., Скворцов Э.В. Об оценках расходных характеристик в теории фильтрации и теплопроводности //Прикладная математика и механика, 1989. Т.53. Вып.3.- С.462-468.
- Бернадинер М.Г., Ентов В.М. Гидродинамическая теория фильтрации аномальных жидкостей. М.: Наука, 1975.- 202 с.
- Котляр Л.М., Скворцов Э.В. Плоские стационарные задачи фильтрации жидкости с начальным градиентом. Казань: Изд-во Казанск.ун-та, 1978.- 142 с.
- Ентов В.М., Панков В.Н., Панько С.В. Математическая теория целиков вязкопластической нефти. Томск: Изд-во Том.ун-та, 1989.- 196 с.

- Клевченя А.А., Таранчук В.Б. Об устойчивости продвижения водонефтяного контакта при вытеснении в пласте вязкопластической жидкости вязкой //Теоретическая и прикладная механика. Минск: Вышэйшая школа. 1983. Вып.10.- С.140-143.
- Клевченя А.А., Таранчук В.Б. Комплекс программ численного моделирования процесса вытеснения нефти водой в неоднородной пористой среде в плоской прямоугольной области //Алгоритмы и программы. 1987, № 5. 15 с. (ГосФАП СССР, № 50850001039).