

ДОКЛАДЫ

АКАДЕМИИ НАУК БССР

АВТОРСКИЙ ОТТИСК



20-Й ГОД ИЗДАНИЯ
Том XX, № 11

1976

В. Б. ТАРАНЧУК

О ВЛИЯНИИ РАССТАНОВКИ СКВАЖИН И ОТНОШЕНИЯ
ВЯЗКОСТЕЙ НЕФТИ И ВОДЫ НА БЕЗВОДНУЮ НЕФТЕОТДАЧУ

(Представлено академиком АН БССР В. И. Крыловым)

Нестационарная изотермическая фильтрация двух несмешивающихся несжимаемых жидкостей в недеформируемом горизонтальном пласте, когда капиллярные эффекты не учитываются, может быть описана системой нелинейных уравнений в частных производных для насыщенности вытесняющей фазы s и фазового давления P (1):

$$m \frac{\partial(1-s)}{\partial T} = \frac{\partial}{\partial X} \left(\frac{Kf_1}{\mu_1} \frac{\partial P}{\partial X} \right) + \frac{\partial}{\partial Y} \left(\frac{Kf_1}{\mu_1} \frac{\partial P}{\partial Y} \right), \quad (1)$$

$$m \frac{\partial s}{\partial T} = \frac{\partial}{\partial X} \left(\frac{Kf_2}{\mu_2} \frac{\partial P}{\partial X} \right) + \frac{\partial}{\partial Y} \left(\frac{Kf_2}{\mu_2} \frac{\partial P}{\partial Y} \right).$$

Здесь m — пористость; $K(X, Y)$ — абсолютная проницаемость среды; μ_1 и μ_2 — вязкости вытесняемой и вытекающей фаз соответственно; $f_1(s)$ и $f_2(s)$ — относительные фазовые проницаемости; X, Y — декартовы координаты в плоскости фильтрации; T — время; $0 \leq T \leq T_1$. Фильтрация рассматривается в плоской многосвязной области, ограниченной внешним контуром и контурами скважин — окружностями радиуса R_0 .

Введем безразмерные переменные:

$$t = \frac{TP_*K_*}{mL^2\mu_1}, \quad x = \frac{X}{L}, \quad y = \frac{Y}{L}, \quad r_0 = \frac{R_0}{L}, \quad (2)$$

$$p = \frac{P}{P_*}, \quad k = \frac{K}{K_*}, \quad \mu_0 = \frac{\mu_1}{\mu_2},$$

где L — характерный размер области фильтрации; P_* — характерный перепад давления; K_* — характерная проницаемость среды. Принимая обозначения

$$A = k \cdot (f_1 + \mu_0 f_2), \quad F(s) = \mu_0 f_2 \cdot (f_1 + \mu_0 f_2)^{-1}, \quad (3)$$

$$q_x = -A \cdot \frac{\partial p}{\partial x}, \quad q_y = -A \cdot \frac{\partial p}{\partial y},$$

из (1) получаем систему:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(A \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(A \frac{\partial p}{\partial y} \right) = 0, \quad (4)$$

$$\frac{\partial s}{\partial t} + q_x \frac{\partial F}{\partial x} + q_y \frac{\partial F}{\partial y} = 0.$$

Пусть $(x, y) \in G$, где G — многосвязная область, ограниченная замкнутым несамопересекающимся контуром Γ и контурами скважин. В области G применительно к системе (4) рассматривается следующая краевая задача: на контурах скважин для давления задаются граничные условия первого или второго рода, что соответствует заданию напора или расхода; эти же условия задаются на различных участках, из которых состоит контур Γ ; на контурах нагнетательных скважин и на части внешнего контура, где вытесняющая жидкость втекает в область

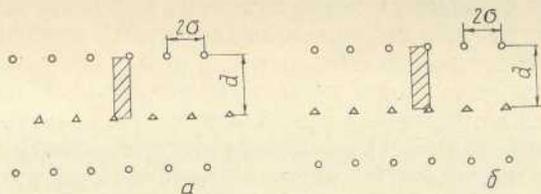


Рис. 1. Схема расположения нагнетательных и эксплуатационных скважин в линейной системе: а — шахматная, б — фронтальная (Δ — нагнетательные, \circ — эксплуатационные скважины, 2σ — расстояние между скважинами в ряду, d — расстояние между рядами скважин)

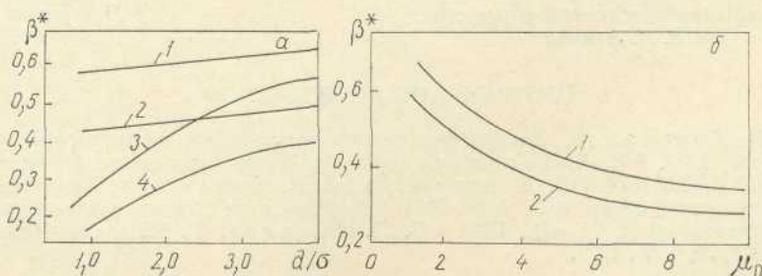


Рис. 2. Зависимость коэффициента максимальной безводной нефтеотдачи β^* от величины d/σ (а) и от отношения вязкостей нефти и воды μ_0 (б): а) кривые 1, 2 — для шахматной системы, 3, 4 — для фронтальной; 1, 3 — $\mu_0=2$; 2, 4 — $\mu_0=5$; б) 1 — шахматная система при $d/\sigma=1$; 2 — фронтальная система при $d/\sigma=3$

G , задается насыщенность вытесняющей фазы. В начальный момент $t=0$ в области G задается распределение насыщенности.

Поставленная выше задача решалась численно с помощью метода сеток. Подробное изложение методики расчета системы (4) приведено в (2, 3).

Рассмотрим задачу о вытеснении нефти водой в линейной системе (см., например, (4)), которая часто применяется в практике разработки нефтяных месторождений.

Пусть область G — выделенный элемент симметрии в линейной системе (заштрихованные прямоугольники на рис. 1, а, б); относительные фазовые проницаемости задаются формулами (5)

$$f_1 = (1-s)^2, \quad f_2 = s^2,$$

радиус скважин $r_0 = 10^{-4}$; $d = 1$; давление на контуре эксплуатационной скважины $p_1 = 1$; суммарный расход и насыщенность воды на контуре нагнетательной скважины $q_0 = 0,5$ и $s_0 = 1$ соответственно; начальное распределение насыщенности постоянно и равно $s^0 = 0$, $k = 1$.

Одной из важнейших характеристик системы расстановки скважин является коэффициент максимальной безводной нефтеотдачи β^* , который равен отношению объема извлеченной нефти к моменту прорыва вытесняющей жидкости в эксплуатационную скважину к начальному содержанию нефти.

На рис. 2 показаны графики, иллюстрирующие зависимость коэффициента β^* от отношения d/σ и от отношения вязкостей нефти и воды μ_0 .

Коэффициент β^* в случае шахматной расстановки растет незначительно; в системе с фронтальным расположением скважин коэффициент β^* с увеличением отношения d/σ меняется заметно. При смещении нагнетательных скважин относительно эксплуатационных до шахматной системы существенно увеличивается коэффициент безводной нефтеотдачи. По мере увеличения отношения d/σ преимущества шахматного расположения скважин становятся менее заметными.

В случаях шахматной и фронтальной систем коэффициент β^* монотонно убывает с ростом μ_0 . В случае, когда μ_0 близко к единице, значения β^* близки к соответствующим значениям, полученным при решении задачи о вытеснении в поршневом приближении⁽⁴⁾. В частности, как следует из рис. 2, б, эффективность вытеснения в однородном пласте не меняется скачком при пороговом отношении подвижностей жидкости за фронтом и перед ним равною единице (при этом $\mu_0 = 3$) и это пороговое значение не выделяется.

Автор выражает благодарность Л. А. Чудову и В. М. Ентову за ценные советы и замечания.

Белорусский государственный университет
им. В. И. Ленина

Поступило 2.II 1976

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ А. Н. Коновалов, Задачи фильтрации многофазной несжимаемой жидкости, Новосибирск, 1972. ² В. Б. Таранчук, сб.: Численные методы механики сплошной среды, 5, № 3, 88, 1974. ³ В. Б. Таранчук, Л. А. Чудов, сб.: Численные методы механики сплошной среды, 5, № 4, 90, 1974. ⁴ М. Маскет, Течение однородных жидкостей в пористой среде, М.—Л., 1949. ⁵ В. Л. Данилов, Р. М. Кац, Известия АН СССР, МЖГ, № 4, 66, 1973.