

6. ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОМЕРНОГО ПЛОСКОРАДИАЛЬНОГО УСТАНОВИВШЕГОСЯ ФИЛЬТРАЦИОННОГО ПОТОКА НЕСЖИМАЕМОЙ ЖИДКОСТИ В НЕОДНОРОДНЫХ ПЛАСТАХ

В данной практической работе изучаются особенности фильтрации в слоисто-неоднородном круговом пласте, состоящем из двух пропластков с различной проницаемостью (рис. 6.1, а) и зонально-неоднородном круговом пласте, состоящем из двух зон с различной проницаемостью (рис. 6.1, б).

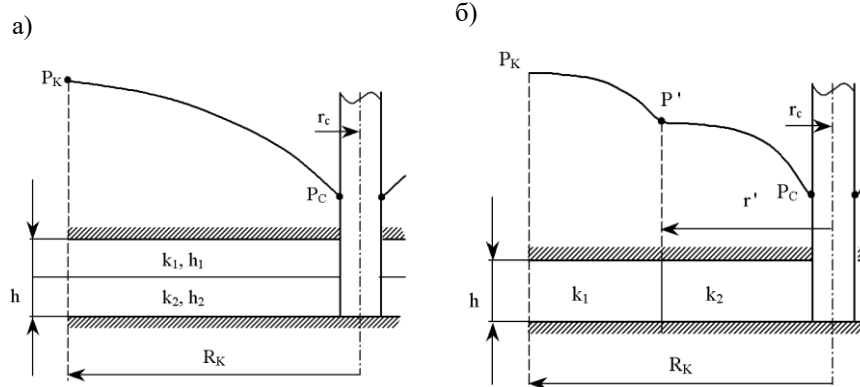


Рис. 6.1. Плоскорадиальный поток в слоисто-неоднородном (а) и зонально-неоднородном (б) пластах

Рассмотрим особенности фильтрации в слоисто- и зонально-неоднородных круговых пластах.

1. Случай слоисто-неоднородного пласта

1. При стационарной одномерной плоскорадиальной фильтрации несжимаемой жидкости по закону Дарси в слоисто-неоднородном пласте, состоящем из 2-х пропластков с различной проницаемостью K_1 и K_2 (рис. 6.1, а), распределение давления в каждом из пропластков носит логарифмический характер и определяется выражением

$$P(r) = P_K - \frac{P_K - P_C}{\ln \frac{R_K}{r_C}} \ln \frac{R_K}{r} = P_C + \frac{P_K - P_C}{\ln \frac{R_K}{r_C}} \ln \frac{r}{r_C}, \quad (6.1)$$

где $P(r)$ – установившееся давление на расстоянии r от скважины, Па; r – текущий радиус, м; P_K – установившееся пластовое давление на контуре питания R_K , Па; R_K – радиус контура питания пласта, м; P_C – установившееся давление в скважине, Па; r_C – радиус скважины, м.

2. Градиенты давления в каждом пропластке одинаковы и определяются следующим выражением:

$$\text{grad } P = \frac{dP}{dr} = \frac{P_K - P_C}{\ln \frac{R_K}{r_C}} \frac{1}{r}. \quad (6.2)$$

3. Скорости фильтрации по пропласткам:

$$V_1 = \frac{k_1 (P_K - P_C)}{\mu \ln \frac{R_K}{r_C}} \frac{1}{r}, \quad (6.3)$$

$$V_2 = \frac{k_2 (P_K - P_C)}{\mu \ln \frac{R_K}{r_C}} \frac{1}{r}, \quad (6.4)$$

где μ – динамическая вязкость, Па·с.

При равенстве градиентов давления в каждом пропластке из уравнений (6.3-6.4) следует справедливость следующего соотношения:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{K_1}{K_2}, \quad (6.5)$$

т.е. для слоисто-неоднородного кругового пласта скорости фильтрации по пропласткам прямо пропорциональны проницаемостям.

Таким образом, жидкость будет двигаться с опережением по более высокопроницаемому пропластку. Необходимо принимать меры по выравниванию фронтов движения жидкостей в пропластках с различной проницаемостью.

4. Выразим дебит скважины Q для случая слоисто-неоднородного пласта через k_{cp} :

$$Q = \frac{2\pi k_{cp} (h_1 + h_2) \cdot (P_k - P_c)}{\mu \ln \frac{R_k}{r_c}}, \quad (6.6)$$

но можно выразить и через сумму:

$$Q = Q_1 + Q_2 = \frac{2\pi(k_1 h_1 + k_2 h_2) \cdot (P_k - P_c)}{\mu \ln \frac{R_k}{r_c}}. \quad (6.7)$$

Приравнивая правые части уравнений, получим

$$k_{cp} = \frac{k_1 h_1 + k_2 h_2}{h_1 + h_2} \quad (6.8)$$

или в общем виде

$$k_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n k_i \cdot h_i}{\sum_{i=1}^n h_i}, \quad (6.9)$$

где n – количество пропластков; h_i – толщина i -го пропластка с проницаемостью k_i .

2. Случай зонально-неоднородного пласта

В практике разработки нефтяных и газовых месторождений значительный интерес представляет задача о притоке жидкости к скважине при наличии вокруг забоя скважины кольцевой зоны с проницаемостью, отличной от проницаемости остальной части пласта, т.е. пласт состоит из двух зон различной проницаемости. Такая задача возникает в следующих случаях: при торпедировании или кислотной обработке призабойной зоны, установке гравийного фильтра, глинизации или парафинизации призабойной зоны, выносе мелких фракций породы из этой зоны и т.д.

Очень важной при этом бывает необходимость установления влияния различия проницаемостей кольцевой призабойной зоны и остальной части пласта на продуктивность скважины.

1. При стационарной одномерной плоскорадиальной фильтрации несжимаемой жидкости по закону Дарси в зонально-неоднородном пласте, состоящем из 2-х зон с различной проницаемостью k_1 и k_2 (рис. 6.1, б), распределение давления в каждой зоне подчиняется логарифмическому закону, но характер распространения пьезометрической линии зависит от давления P' на границе этих зон:

$$P(r)_1 = P_k - \frac{P_k - P'}{\ln \frac{R_k}{r'}} \ln \frac{R_k}{r}, \quad \text{где } r' \leq r \leq R_k, \quad (6.10)$$

$$P(r)_2 = P' - \frac{P' - P_c}{\ln \frac{r'}{r_c}} \ln \frac{r'}{r}, \quad \text{где } r_c \leq r \leq r', \quad (6.11)$$

где $P(r)_1$ и $P(r)_2$ – установившееся давление на расстоянии r от скважины в первой и второй зонах соответственно, Па; r – текущий радиус, м; r' – радиус границы между первой и второй зоной, м; P' – давление на границе этих зон, Па; R_k – радиус контура питания пласта, м; P_k – установившееся пластовое давление на контуре питания R_k , Па; r_c – радиус скважины, м; P_c – установившееся давление в скважине, Па.

2. Распределение градиентов давления в каждой зоне подчиняется гиперболическому закону, но характер их распространения также зависит от давления P' на границе этих зон:

$$\text{grad}P(r)_1 = \frac{P_K - P' 1}{\ln \frac{R_K}{r'} r}, \quad \text{где } r' \leq r \leq R_K, \quad (6.12)$$

$$\text{grad}P(r)_2 = \frac{P' - P_C 1}{\ln \frac{r'}{r_c} r}, \quad \text{где } r_c \leq r \leq r', \quad (6.13)$$

где $\text{grad}P(r)_1$ и $\text{grad}P(r)_2$ – градиенты давления в первой и второй зоне соответственно, Па/м.

3. Скорости фильтрации по зонам прямо пропорциональны градиентам давления в зонах:

$$v_1 = \frac{k_1 P_K - P' 1}{\mu \ln \frac{R_K}{r'} r}, \quad \text{где } r' \leq r \leq R_K, \quad (6.14)$$

$$v_2 = \frac{k_2 P' - P_C 1}{\mu \ln \frac{r'}{r_c} r}, \quad \text{где } r_c \leq r \leq r'. \quad (6.15)$$

4. Дебит потока в силу установившегося движения несжимаемой жидкости будет постоянен через любую цилиндрическую поверхность, соосную скважине:

$$Q_1 = \frac{2\pi k_1 h}{\mu} \cdot \frac{P_K - P'}{\ln \frac{R_K}{r'}}, \quad (6.16)$$

$$Q_2 = \frac{2\pi k_2 h}{\mu} \cdot \frac{P' - P_C}{\ln \frac{r'}{r_c}}. \quad (6.17)$$

При наличии в пласте двух кольцевых зон ($n = 2$) с различной проницаемостью давление P' на границе этих зон можно найти из равенства скоростей фильтрации на этой границе:

$$v_1 = v_2, \quad \text{или} \quad \frac{k_1 P_K - P' 1}{\mu \ln \frac{R_K}{r'} r'} = \frac{k_2 P' - P_C 1}{\mu \ln \frac{r'}{r_c} r'}, \quad (6.18)$$

откуда

$$P' = \frac{P_K k_1 \ln \frac{r'}{r_c} + P_C k_2 \ln \frac{R_K}{r'}}{k_1 \ln \frac{r'}{r_c} + k_2 \ln \frac{R_K}{r'}} \quad (6.19)$$

Подставив найденное значение давления P' на границе зон в уравнения (6.10-6.11), находим

$$P(r)_1 = P_K - \frac{P_K - P_C}{k_2 \left(\frac{1}{k_1} \ln \frac{r'}{r_c} + \frac{1}{k_2} \ln \frac{R_K}{r'} \right)} \ln \frac{R_K}{r}, \quad r' \leq r \leq R_K \quad (6.20)$$

$$P(r)_2 = P_C + \frac{P_K - P_C}{k_1 \left(\frac{1}{k_1} \ln \frac{r'}{r_c} + \frac{1}{k_2} \ln \frac{R_K}{r'} \right)} \ln \frac{r}{r_c}, \quad r_c \leq r \leq r' \quad (6.21)$$

Аналогичным образом могут быть определены остальные характеристики рассматриваемого фильтрационного потока (градиенты давления, скорости фильтрации, объемные расходы жидкости по зонам).

Дебит скважины в таком двухзональном пласте определится:

$$Q = \frac{2\pi h}{\mu} \frac{P_K - P_C}{\frac{1}{k_1} \ln \frac{r'}{r_c} + \frac{1}{k_2} \ln \frac{R_K}{r'}} = \frac{2\pi k_2 h}{\mu} \frac{P_K - P_C}{\ln \frac{R_K}{r'} + \frac{k_2}{k_1} \ln \frac{r'}{r_c}}. \quad (6.22)$$

Среднее значение проницаемости зонально-неоднородного пласта можно определить из равенства дебитов аналогичных потоков в неоднородном и однородном пластах:

$$Q = \frac{2\pi h}{\mu} \frac{P_K - P_C}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{k_i} \ln \frac{r_i}{r_{i-1}}} = \frac{2\pi k_{cp} h}{\mu} \frac{P_K - P_C}{\ln \frac{R_K}{r_c}} \quad (6.23)$$

откуда

$$k_{cp} = \frac{\ln \frac{R_K}{r_c}}{\frac{1}{k_1} \ln \frac{R_K}{r'} + \frac{1}{k_2} \ln \frac{r'}{r_c}} \quad (6.24)$$

или в общем случае

$$k_{cp} = \frac{\ln \frac{R_K}{r_c}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{k_i} \ln \frac{r_i}{r_{i-1}}} \quad (6.25)$$

Порядок выполнения работы

Выполнение практической работы осуществляется в соответствии с индивидуальным вариантом задания, устанавливаемым преподавателем. Варианты заданий приведены в табл. 6.1.

1. При изучении характеристик рассматриваемых (слоисто- и зонально-неоднородного) фильтрационных потоков несжимаемой жидкости получить формулы и изобразить графически распределения давления, градиента давления и скорости фильтрации в зависимости от текущего радиуса r (в соответствии с формулами (6.1-6.4)) и (6.10-6.15)). Значения текущего радиуса r выбрать следующие: 10, 25, 50, 75, 100 м и далее через 200 метров.

2. Для слоисто-неоднородного кругового пласта убедиться в правильности соотношения (6.5). Определить объемные расходы по пропласткам и по всему пласту в целом (6.7). Выразить объемные расходы в м³/с и м³/сут. Определить средний коэффициент проницаемости для слоисто-неоднородного пласта (6.8).

4. Для зонально-неоднородного кругового пласта определить давление на границе зон P' (6.19), объемные расходы по зонам (6.16-6.17) и по всему пласту в целом (6.23). Выразить объемные расходы в м³/с и м³/сут. Определить средний коэффициент проницаемости для зонально-неоднородного пласта (6.24).

5. Провести анализ и оценку полученных результатов, сделать необходимые пояснения и выводы. В выводах сформулировать полученные результаты с акцентом на выполнение задач практической работы.

Таблица 6.1

Исходные данные для расчетов

Номер варианта	Р _к , МПа	Р _с , МПа	R _к , м	r _с , м	μ, МПа·с	κ ₁ , мкм ²	κ ₂ , мкм ²	Слоисто- неоднородный		Зонально- неоднородный
								h ₁ , м	h ₂ , М	
1	10,0	7,5	1000	0,10	1,0	1,0	0,5	5	5	500
2	9,8	7,3	1200	0,12	1,5	0,9	0,4	4	5	600
3	9,6	7,1	1400	0,14	2,0	0,8	0,3	5	4	700
4	9,4	6,9	1600	0,16	2,5	0,7	0,2	4	4	800
5	9,2	6,7	1800	0,18	3,0	0,6	0,5	4	3	900
6	9,0	6,5	2000	0,20	3,5	0,5	0,6	3	4	1000
7	8,8	6,3	1800	0,18	4,0	0,4	0,7	3	3	900
8	8,6	6,1	1600	0,16	4,5	0,3	0,8	4	3	800
9	8,4	5,9	1400	0,14	5,0	0,2	0,9	3	4	700
10	8,2	5,7	1200	0,12	5,5	0,1	1,0	4	4	600
11	8,5	6,0	1000	0,10	5,0	0,5	1,0	4	5	500
12	8,7	6,2	1200	0,12	4,5	0,4	0,9	5	4	600
13	8,9	6,4	1400	0,14	4,0	0,3	0,8	5	5	700
14	9,1	6,6	1600	0,16	3,5	0,2	0,7	4	5	800
15	9,3	6,8	1800	0,18	3,0	0,5	0,6	5	4	900
16	9,5	7,0	2000	0,20	2,5	0,6	0,5	4	4	1000
17	9,7	7,2	1800	0,18	2,0	0,7	0,4	4	3	900
18	9,9	7,4	1600	0,16	1,5	0,8	0,3	3	4	800
19	10,0	7,5	1400	0,14	1,0	0,9	0,2	3	3	700
20	9,8	7,3	1200	0,12	2,0	1,0	0,1	4	3	600
21	9,6	7,1	1000	0,10	3,0	1,0	1,5	3	4	500
22	9,4	6,9	1200	0,12	4,0	0,9	1,4	4	4	700
23	9,2	6,7	1400	0,14	5,0	0,8	1,3	4	5	800
24	9,0	6,5	1600	0,16	6,0	0,7	1,2	5	4	900
25	8,8	6,3	1800	0,18	7,0	0,6	1,1	5	5	1000
26	8,6	6,1	2000	0,20	8,0	0,5	1,0	6	5	1100
27	8,4	5,9	1800	0,18	9,0	0,4	0,9	5	6	800
28	8,2	5,7	1600	0,16	8,0	0,3	1,8	6	6	600
29	8,5	6,0	1400	0,14	7,0	0,2	0,7	6	8	400
30	8,7	6,2	1200	0,12	6,0	0,1	0,6	8	6	600