

Раздел IV Движение границы раздела двух жидкостей в пористой среде

4.1 Вытеснение нефти водой

План лекции

1. Кинематические условия на подвижной границе раздела.
2. Прямолинейно-параллельная фильтрация двухфазного потока.
3. Плоскорадиальная фильтрация двухфазного потока.

Краткое содержание лекции

Согласно условию неразрывности (сплошности) потока массы, элементарные дебиты жидкостей с вязкостями μ_1 и μ_2 (нефти и воды) через элемент границы раздела должны быть равны между собой. Отсюда следует, что нормальные составляющие W_n скоростей фильтрации обеих жидкостей будут равны, а давление будет одинаковым, т.к. при малых скоростях разрыва в сплошности не будет. Касательные составляющие скорости фильтрации W_τ , ввиду разницы в вязкости жидкостей будут отличаться в значениях и, соответственно, будут разными результирующие векторы скорости фильтрации $\bar{W}$. В итоге на границе происходит преломление линий тока.

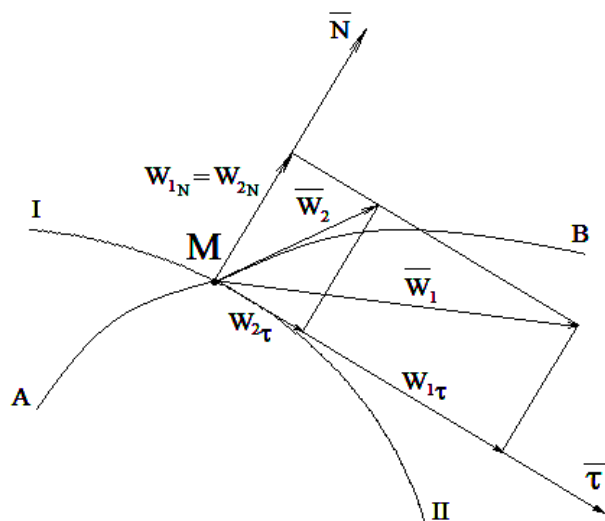


Рисунок 4.1 – Преломление линий тока на границе раздела жидкостей

Линии тока не преломляются при прямолинейно-параллельной и плоскорадиальной фильтрации, когда в начальный момент времени они перпендикулярны границе раздела. При этом, жидкости (нефть и вода) считаются несжимаемыми, взаимно нерастворимыми, химически нереагирующими, пласт принимается горизонтальным, режим пласта – водонапорным, фильтрация – линейной по закону Дарси.

При поршневом вытеснении нефти водой плотности нефти и газа считаются одинаковыми, а вязкости разными.

При прямолинейно-параллельном движении границы раздела, когда в начальном положении она параллельна галерее в пласте с постоянной

мощностью, пористостью и проницаемостью, характеристики фильтрационного потока имеют вид:

$$1. \quad \text{Для дебита скважины} \quad Q = \frac{K(p_K - p_\Gamma)}{\mu_\epsilon \cdot x_\epsilon(t) + \mu_H(L_K - x_\epsilon(t))} B \cdot h, \quad (4.1)$$

где $x_\epsilon(t)$ - координата границы раздела.

2. Распределение давления в нефтяной и водоносной областях:

$$p_H = p_\Gamma + \frac{\mu_H(p_K - p_\Gamma)}{\mu_\epsilon \cdot x_\epsilon(t) + \mu_H(L_K - x_\epsilon(t))} (L_K - x); \quad (4.2)$$

$$p_\epsilon = p_K - \frac{\mu_\epsilon(p_K - p_\Gamma) \cdot x}{\mu_\epsilon x_\epsilon(t) + \mu_H(L_K - x_\epsilon(t))}. \quad (4.3)$$

3. Скорость фильтрации нефти и воды

$$W_H = W_B = \frac{K(p_K - p_\Gamma)}{\mu_\epsilon \cdot x_\epsilon(t) + \mu_H(L_K - x_\epsilon(t))}. \quad (4.4)$$

4. Время вытеснения нефти водой

$$t = \frac{m}{K(p_K - p_\Gamma)} \left[\mu_H L_K (x_\epsilon - x_0) - \frac{1}{2} (\mu_H - \mu_\epsilon) (x_\epsilon^2 - x_0^2) \right]. \quad (4.5)$$

где x_0 - координата, определяющая положение границы раздела в начальный момент времени.

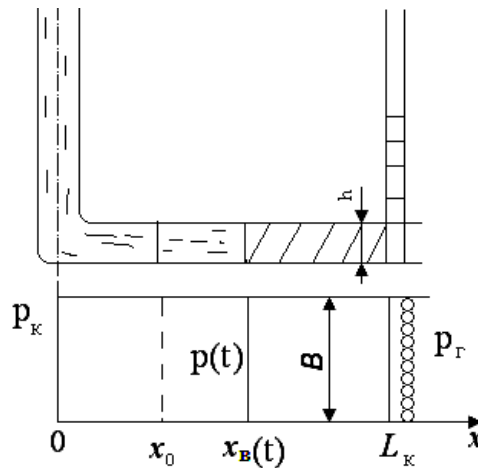


Рисунок 4.2

Аналогичная картина наблюдается в условиях плоскорадиальной фильтрации.

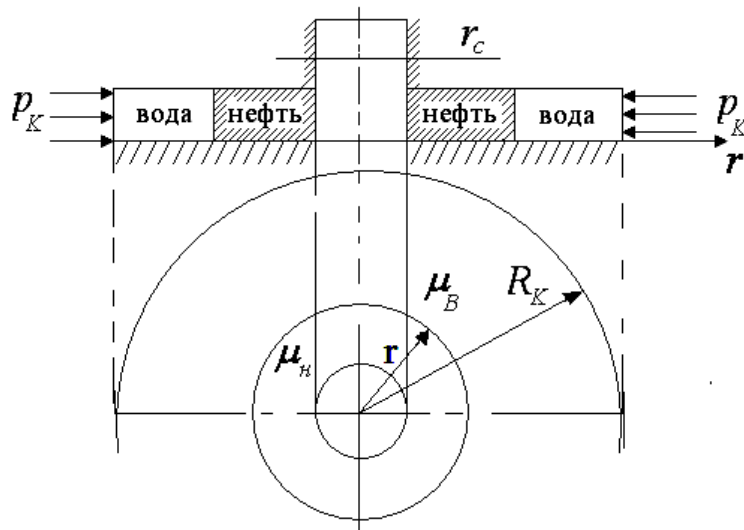


Рисунок 4.3

В этом случае

1. Дебит скважины
$$Q = \frac{2\pi kh(p_K - p_c)}{\mu_в \ln \frac{R_K}{r_H} + \mu_н \ln \frac{r}{r_c}}, \quad (4.6)$$

где r – координата, определяющая положение границы раздела нефть-вода в момент времени t ;

2. Скорости фильтрации
$$W_в = W_н = \frac{K(p_K - p_c)}{\mu_в \ln \frac{R_K}{r_H} + \mu_н \ln \frac{r_H}{r_c}} \cdot \frac{1}{r}. \quad (4.7)$$

3. Распределение давления

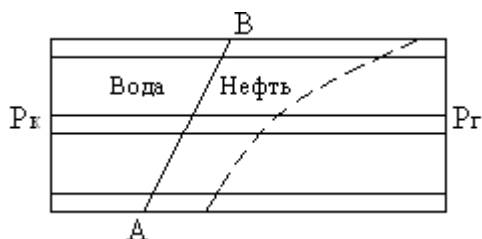
$$P_н = P_c + \frac{\mu_н(p_K - p_c)}{\mu_в \ln \frac{R_K}{r_H} + \mu_н \ln \frac{r_H}{r_c}} \cdot \ln \frac{r}{r_c}; \quad (4.8)$$

$$p_в = p_K - \frac{\mu_в(p_K - p_c)}{\mu_в \ln \frac{R_K}{r_H} - \mu_н \ln \frac{r_H}{r_c}} \cdot \ln \frac{R_K}{r}. \quad (4.9)$$

4. Время радиального перемещения границы от начального положения $r = r_0$ (при $t=0$) до r :

$$t = \frac{m}{K(p_K - p_c)} \left\{ (\mu_в \ln R_K - \mu_н \ln r_c) \frac{r_0^2 - r^2}{2} + (\mu_н - \mu_в) \cdot \left[\left(\frac{r_0^2}{2} \ln r_0 - \frac{r_0^2}{4} \right) - \left(\frac{r^2}{2} \ln r - \frac{r^2}{4} \right) \right] \right\} \quad (4.10)$$

Различие вязкости жидкостей существенно влияет как на время извлечения нефти (газа) из пласта, так и на характер продвижения контура водоносности.



Если положение границы раздела не параллельно галерее, для решения задачи используется метод полосок Щелкачева В.Н, когда рассматривается послойное движение и в пределах каждой полоски рассматривают вытеснение, как

поршневое, параллельное галерее.

Рекомендуемая литература

1. Басниев К.С., Власов А.М., Кочина И.Н., Максимов В.М. Подземная гидравлика. Учебник для вузов. М. Недра, 1986. с.188-198.
2. Коллинз Р. Течение жидкостей через пористые материалы. М. Изд. «Мир», 1964, с.189-213.
3. Щелкачев В.Н., Лапук Б.Б. Подземная гидравлика. Учебное пособие для студентов нефтяных специальностей университетов. Москва – Ижевск, НИЦ РХД, 2001 с.437-475.

Контрольные вопросы для СРС

1. Как объясняются кинематические условия на подвижной границе раздела двух жидкостей с различной вязкостью?
2. Уравнения дебита и скорости фильтрации для прямолинейно-параллельного потока.
3. Метод решения задачи при границе контакта, не параллельной галерее, и в случае наклонного пласта.
4. Распределение давления при плоскорадиальной фильтрации двух сред.