

Раздел I Законы фильтрации нефти и газа

Тема 1.1 Особенности движения жидкости и газа в пласте Закон Дарси

План лекции

1. Движение флюидов в пласте. Пористая среда.
2. Основные характеристики теории фильтрации.
3. Скорость фильтрации и скорость частиц жидкости. Линейный закон Дарси.

Краткое содержание лекции

Природные жидкости в недрах Земли находятся в порах и трещинах осадочных пород. Движение жидкостей и газов (флюидов) через твердые горные породы через связанные между собой поры и трещины называется фильтрацией.

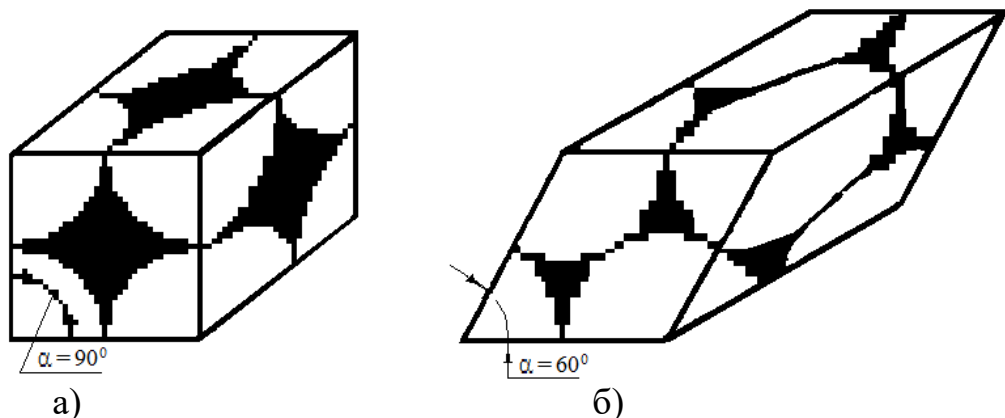
При решении вопросов фильтрации ввиду сложности реальной пористой породы пользуются упрощенными моделями среды которыми является модели идеального и фиктивного грунта. Модель фиктивного грунта в виде множества шарообразных частиц одинакового диаметра явилась наиболее простой моделью для практических и аналитических расчетов.

При этом коэффициент пористости

$$m = \frac{V_1 - V_2}{V_1}, \quad (1.1)$$

где V_1 , V_2 – объемы пор и всего объема образца и его численное значение

$$m=1 = \frac{\pi}{6(1 - \cos\alpha)\sqrt{1 + 2\cos\alpha}}, \quad (1.2)$$



а - при наиболее свободном расположении; б - при наиболее тесном расположении

Рисунок 1.1 – Элементы фиктивного грунта

Для перехода от фиктивного грунта к реальному методом механического анализа проб грунта путем просеивания через ряд сит с

разными диаметрами и построением графика весового участия определяется значение эффективного или действующего диаметра частиц грунта.

Закон фильтрации Дарси устанавливает линейную зависимость между объемным дебитом несжимаемой жидкости и потерей напора на единицу длины.

$$Q = c \cdot \frac{H_1 - H_2}{l} \cdot S = \frac{k(P_1 - P_2)}{\mu \cdot l} \cdot S_r \quad (1.3)$$

где H_1, H_2, p_1, p_2 – напоры, давления в сечениях пласта длиной l .

c – коэффициент фильтрации;

k – коэффициент проницаемости;

μ – динамический коэффициент вязкости.

Скоростью фильтрации называется отношение объемного дебита к площади поперечного сечения пласта.

$$W = \frac{Q}{S} = \frac{k}{\mu} \cdot \frac{P_1 - P_2}{l} \quad (1.4)$$

В дифференциальном виде формула имеет вид

$$W = -\frac{k}{\mu} \cdot \frac{dP}{dl}, \quad (1.5)$$

где $\frac{dP}{dl}$ – величина градиента давления, а знак (-) показывает, что

скорость фильтрации направлена в сторону понижения давления.

Коэффициент проницаемости, измеряемый в единицах Дарси, зависит от свойств пористой среды в отличие от коэффициента фильтрации, который, в свою очередь, зависит от свойств среды и флюида.

Соотношение между коэффициентами фильтрации и проницаемости

$$\frac{k}{\mu} = \frac{c}{\gamma} \quad (1.6)$$

Закон Дарси заключается в том, что скорость фильтрации пропорциональна градиенту давления.

Закон имеет силу, если соблюдаются следующие условия:

- малая скорость фильтрации или небольшой градиент давления;
- пористая среда мелкозернистая или имеет достаточно узкие каналы;
- незначительные скорости фильтрации или градиент давления.

Скорость фильтрации представляет фиктивную скорость, с которой двигалась бы жидкость, если бы пористая среда отсутствовала ($m=1$).

Скорость фильтрации и средняя скорость движения частиц жидкости связаны зависимостью

$$W = mV \quad (1.7)$$

Тема 1.2 Нелинейные законы фильтрации

План лекции

1. Пределы применимости закона Дарси.

2. Критическая скорость фильтрации. Число Рейнольдса в теории фильтрации.

3. Нелинейные законы фильтрации.

4. Понятие о режимах фильтрации.

Краткое содержание лекции

В процессе исследований было установлено, что линейный закон соблюдается при определенных условиях, а в ряде случаев наблюдается отклонение от закона. Были установлены 2 группы причин отклонений:

- связанные с проявлением при высоких скоростях фильтрации инерционных сил;

- связанные с проявлением неньютоновских реологических свойств жидкости.

Наиболее полно изучены отклонения вызванные инерционными силами, соизмеримых с силами трения. Скорость фильтрации, при которой нарушается закон Дарси называется критической скоростью фильтрации. Критерием отклонения определено число Рейнольдса, которое определяется из опыта.

По Павловскому Н.Н. критическое значение Re

$$Re = \frac{wd_s \cdot \rho}{(0.75m + 0.23)\mu} \quad (1.8)$$

и находится в пределах $7,5 < Re_{кр} < 9$

По Щелкачеву В.Н.

$$Re = \frac{10w\sqrt{k} \cdot \rho}{m^{2.3} \cdot \mu} \quad (1.9)$$

и критические значения лежат в интервале $1 \leq Re_{кр} \leq 12$

По Миллионщикову М.Д.

$$Re = \frac{w\sqrt{k} \cdot \rho}{m^{1.5} \cdot \mu} \quad (1.10)$$

и находится в пределах $0,022 \leq Re_{кр} \leq 0,29$

При весьма малых скоростях фильтрации возникают силы межфазового взаимодействия, которые зависят от свойств контактирующих фаз. Например, нефть в контакте с породой может образовывать устойчивые коллоидные растворы, которые перекрывают поры.

Для фильтрации необходимо разрушить эти структуры, чтобы создать перепад давления. Для простейшего одномерного потока отклонение от закона фильтрации при малых скоростях имеет вид:

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{\mu}{k} \cdot w + \gamma, \text{ если } w > 0, \quad (1.11)$$

где γ - предельный градиент давления (перепада) по достижении которого начинается движение жидкости.

Т.о., в случаях, когда закон Дарси не имеет силу, выведен общий нелинейный закон фильтрации: $\frac{dP}{dL} = A_w + B_w^2$,
(1.12)

где A , B – некоторые постоянные, определяемые опытным путем.

При малых значениях скорости фильтрации, когда $A_w \gg B_w^2$ можно пренебречь выражением B_w^2 и получить закон Дарси.

При больших значениях скорости фильтрации можно пренебречь выражением A_w , и получить в итоге: $\frac{dP}{dL} = B_w^2$, что соответствует квадратичному закону сопротивления и имеет место в крупнозернистых породах. Формула называется формулой А. А. Краснопольского.

Движение жидкости и газа в пласте определяется пластовой энергией массива, создающей соответствующие режимы фильтрации: водонапорный, газонапорный, режим растворенного газа, упругий режим, гравитационный режим. Наиболее характерными режимами нефтегазонаосного пласта является водонапорный и газонапорный, когда путь к скважине происходит за счет энергии напора воды и расширения газа.

Рекомендуемая литература

1. Басниев К.С., Власов А.М., Кочина И.Н., Максимов В. М. Подземная гидравлика Учебник для вузов М. Недра, 1986 с. 6-12.
2. Пыхачев Г.Б., Исаев Р.Г. Подземная гидравлика Учебное пособие. М. Недра, 1972 с. 14-26.
3. Щелкачев В.Н., Лапук Б.Б. Подземная гидравлика Учебное пособие для нефтегазовых специальностей университетов. Москва – Ижевск, НИЦ РХД, 2001, с. 79-133.

Контрольные вопросы для СРС

1. Что такое фильтрация?
2. Что такое пористая среда, проницаемость, пористость, просветность пористой среды?
3. Сформулировать линейный закон Дарси.
4. Отличие коэффициента фильтрации от коэффициента проницаемости.
5. Переход от фиктивного грунта к реальному.
6. Способы Аллена-Газена и Крюгера-Цункера по определению эффективного диаметра.