

Раздел V Движение жидкостей и газов в трещиноватых и трещиновато-пористых средах

Тема 5.1 Особенности фильтрации жидкости и газа в трещиноватых и трещиновато-пористых средах

План лекции

1. Основные характеристики трещиноватых и трещиновато-пористых пород.
2. Дифференциальные уравнения движения жидкости и газа.
3. Установившаяся плоскорадиальная фильтрация жидкости и газа в трещиноватом пласте.

Краткое содержание лекции

На некоторых нефтегазовых месторождениях наблюдается либо интенсивное поглощение глинистого раствора, либо высокие дебиты скважин при малой проницаемости пород. Причиной этих аномалий является наличие в пласте систем сообщающихся между собой трещин, по которым уходит глинистый раствор, либо происходит приток жидкости.

Для анализа особенностей фильтрации в таких породах рассматривают две модели пород – чисто трещиноватые и трещиновато-пористые. Второй вид рассматривается как совокупность двух разномасштабных сред: одна среда, в которой поровыми каналами являются трещины, а пористые блоки между ними – зернами породы, характеризуется своей пористостью m_t и проницаемостью k_t ; вторая среда – система пористых блоков со своей пористостью m_p и проницаемостью k_p .

Пористость m_t и проницаемость k_t чисто трещиноватых пластов определяются плотностью трещин Γ , геометрией трещин и их средним раскрытием δ .

Плотностью трещин Γ называется число трещин на единицу длины секущей, нормальной к поверхностям, образующим трещины.

Пористость m_t связана с плотностью трещин Γ и средним их раскрытием соотношением

$$m_t = \Theta \Gamma \cdot \delta, \quad (5.1)$$

где Θ – безразмерный коэффициент, учитывающий геометрию систем трещин; $1 \leq \Theta \leq 3$.

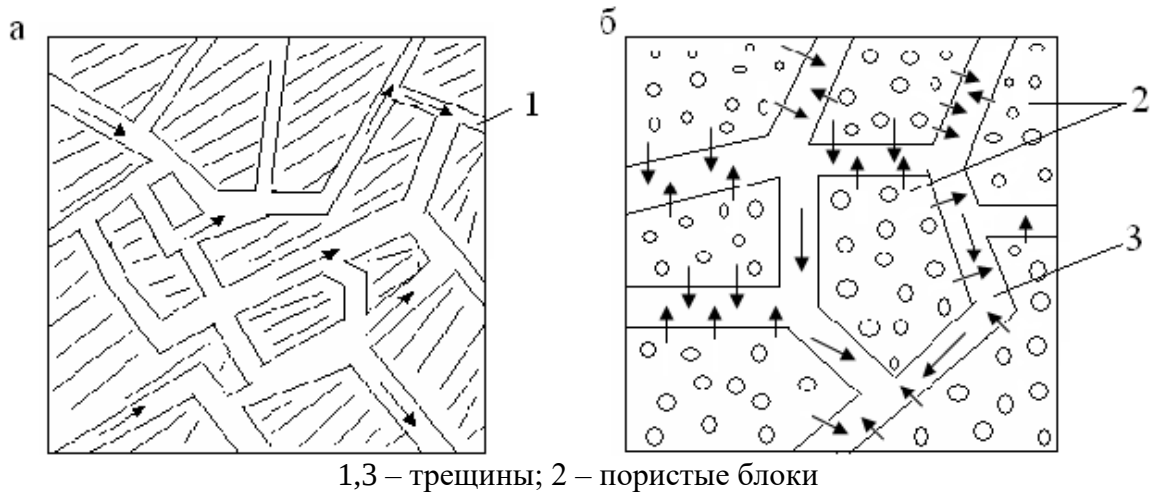


Рисунок 5.1 – Схемы чисто трещиноватой (а) и трещиновато-пористой сред

Коэффициент проницаемости изотропного трещиноватого пласта

$$K = \frac{\Theta \Gamma \delta^3}{12} = \frac{m_T \cdot \delta^2}{12}. \quad (5.2)$$

Если считать, что изменение раскрытия трещин при изменении пластового давления определяется упругими деформациями в трещиноватом пласте, то коэффициент проницаемости при $\delta = \delta_0 - \Delta\delta = \delta_0 [1 - \beta(p_0 - p)]$ описывается формулой

$$K_T = K_{T_0} [1 - \beta(p_0 - p)]^3, \quad (5.3)$$

где $\beta = \frac{\beta_T \cdot l}{\delta_0}$ – комплексный параметр трещиноватой среды;

$\beta_T = \frac{1 - 2\sigma}{E}$ – упругая константа; σ – коэффициент Пуассона.

При рассмотрении фильтрации в трещиновато-пористом пласте принимают, что коэффициент проницаемости K_T зависит от давления и определяется указанными формулами, а коэффициент проницаемости пористых блоков K_{Π} не зависит от давления и является постоянным.

Уравнение баланса жидкости в трещинах и пористых блоках отличается от уравнения баланса в пористой среде наличием в правой части значения массы жидкости q , перетекающей из пористых блоков в трещины в единицу времени

$$-\left[\frac{\partial(\rho W_{1x})}{\partial x} - \frac{\partial(\rho W_{1y})}{\partial y} + \frac{\partial(\rho W_{1z})}{\partial z} \right] = \frac{\partial(\rho m_1)}{\partial t} - q. \quad (5.4)$$

Считая, что в трещиноватых и трещиновато-пористых средах выполняется закон Дарси, уравнения движения в этих средах, соответственно:

$$W_{1x} = -\frac{K_1}{\mu} \cdot \frac{\partial K_1}{\partial z}; \quad W_{1y} = -\frac{K_1}{\mu} \cdot \frac{\partial p_1}{\partial y}; \quad W_{1z} = -\frac{K_1}{\mu} \cdot \frac{\partial p_1}{\partial z}; \quad (5.5)$$

$$W_{2x} = -\frac{K_2}{\mu} \cdot \frac{\partial p_2}{\partial x}; \quad W_{2y} = -\frac{K_2}{\mu} \cdot \frac{\partial p_2}{\partial y}; \quad W_{2z} = -\frac{K_2}{\mu} \cdot \frac{\partial p_2}{\partial z}. \quad (5.6)$$

Для одномерной фильтрации массовый дебит определяется из уравнения:

$$Q_m \frac{-\rho(p) \cdot K_1(\rho)}{\mu} \cdot \frac{dp}{dS} \cdot S = -\frac{d\mathcal{F}}{dS} \cdot S, \quad (5.7)$$

где $d\mathcal{F}/dS$ – производная функции Лейбензона.

Принимая жидкость несжимаемой ($\rho = \text{const}$) и вязкость постоянной, получим выражения для объемного дебита при плоскорадиальной фильтрации:

$$Q = \frac{Q_m}{\rho} = \frac{2\pi K_{To} \cdot h(p_k - p_c) \left[1 - \frac{\alpha}{2}(p_k - p_c) \right]}{\mu \ln \frac{R_K}{r_c}} = \frac{2\pi K_{To} \cdot h [1 - e^{\alpha(p_k - p_c)}]}{\mu \alpha \ln \frac{R_K}{r_c}} \quad (5.8)$$

и распределения давления

$$p = p_k + \frac{1}{\alpha} \ln \left[1 - \frac{1 - e^{\alpha(p_k - p_c)}}{\ln \frac{R_K}{r_c}} \cdot \ln \frac{R_K}{r_c} \right]. \quad (5.9)$$

В трещиновато-пористом пласте дебит скважины складывается из дебита жидкости из трещин и дебита из пористых блоков.

$$Q = \frac{2\pi K_{\Pi} h(p_k - p_c)}{\mu \ln \frac{R_K}{r_c}} + \frac{2\pi K_{To} \cdot h [1 - e^{\alpha(p_k - p_c)}]}{\mu \alpha \ln \frac{R_K}{r_c}}. \quad (5.10)$$

Рекомендуемая литература

1. Басниев К.С., Власов А.М., Кочина И.Н., Максимов В.М. Подземная гидравлика. Учебник для вузов. М. Недра, 1986. с. 263-273.
2. Евдокимова В. А., Кочина И. Н. Сборник задач по подземной гидравлике. М. Недра, 1979 г., с. 119-121.

Контрольные вопросы для СРС

1. Объяснить особенности фильтрации в трещиноватых и трещиновато-пористых средах.
 2. Выражение коэффициента проницаемости для трещиноватой среды.
 3. Описать модели трещиноватой и трещиновато-пористой среды.
- Уравнение баланса для трещиноватой среды, его отличие от уравнения баланса для пористой среды.