

Семинар 1.

Построение кривой распределения давления однофазного флюида в вертикальной трубе на языке Python. Технологический режим нагнетательной скважины

План занятия

- Нагнетательные скважины и зачем они нужны.
- Построение кривой распределения давления однофазного флюида в вертикальной трубе на языке Python
- Домашнее задание

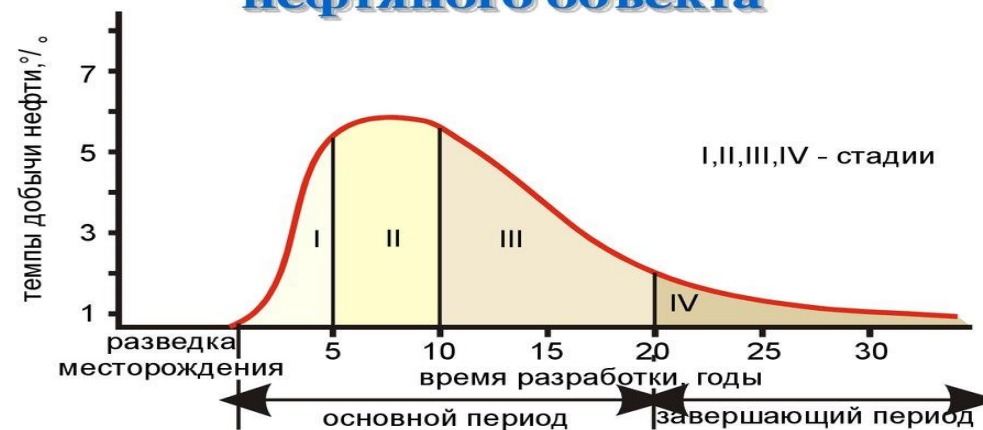
ППД

Нагнетательные скважины применяются:

- Поддержания пластового давления;
- Подача в законтурное/внутриконтурное пространство пласта технической жидкости, газа;
- Закачка газа в пласт для хранения (ПХГ).

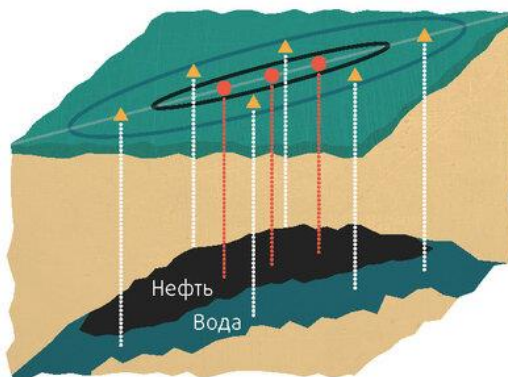
Нагнетательные скважины могут переводиться в добывающие и наоборот.

Периоды и стадии разработки нефтяного объекта



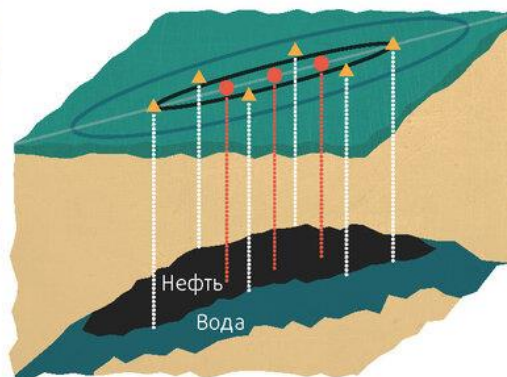
Законтурное заводнение

- Добывающая скважина
- ▲ Нагнетательная скважина



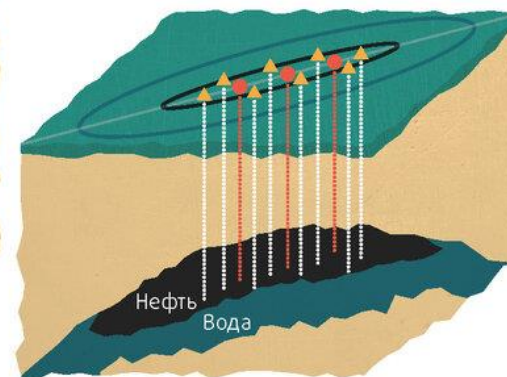
Приконтурное заводнение

- Добывающая скважина
- ▲ Нагнетательная скважина



Внутриконтурное (площадное) заводнение

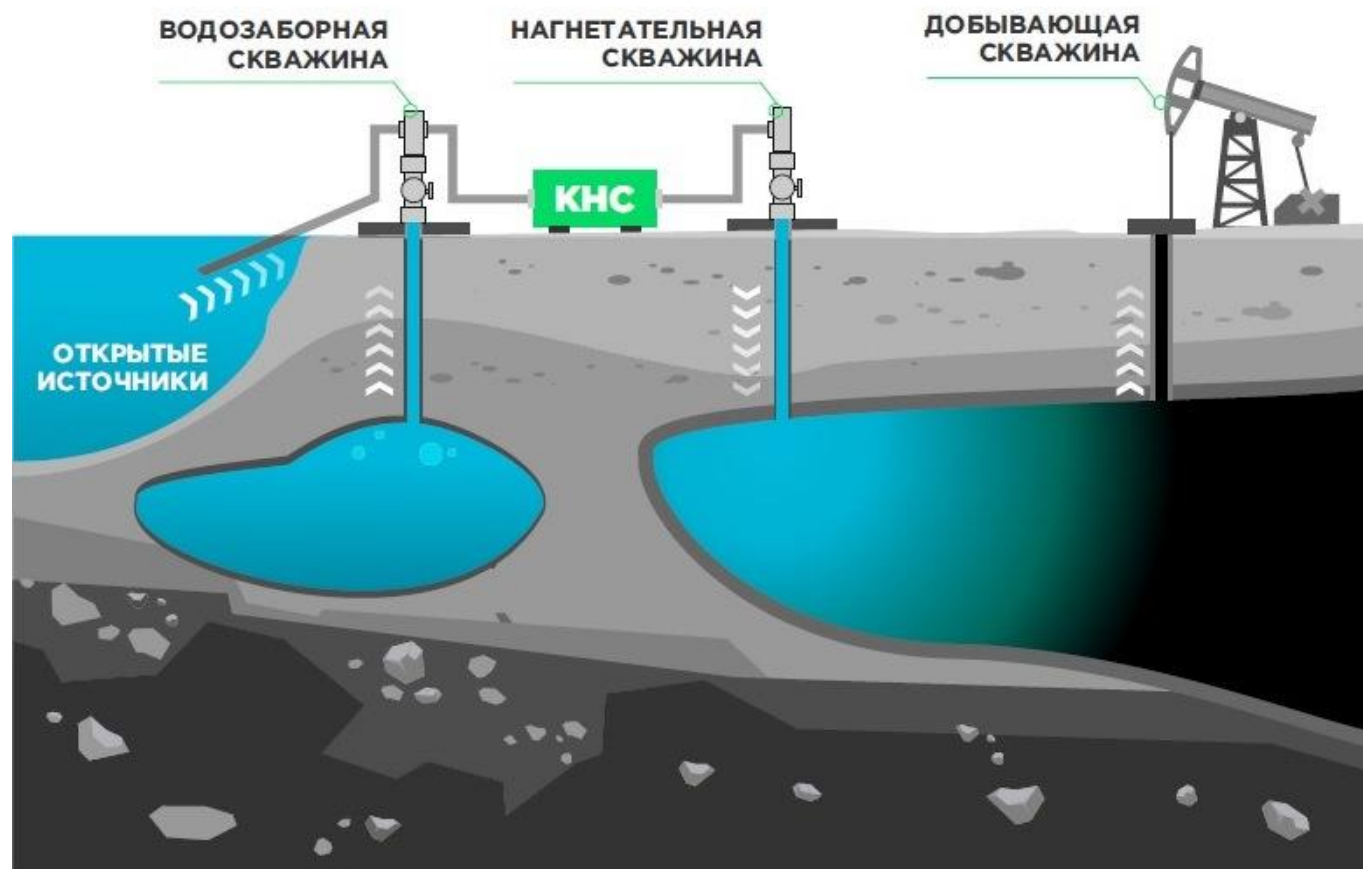
- Добывающая скважина
- ▲ Нагнетательная скважина



Нагнетательные скважины

Зачем моделировать?

Хотим закачать определенный объем воды, но не допустить при этом разрушения ПЗС и авто-ГРП.

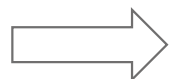


Коэффициент приемистости:

$$K_{\Pi} = \frac{Q}{P_{wf} - P_{res}}$$

Уравнения одномерного установившегося однофазного течения:

$$\frac{\partial(\rho_m v_m^2)}{\partial x} = \rho_m g \cdot \cos \alpha - \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial \tau}{\partial x}$$



$$\frac{\partial p}{\partial x} = \underbrace{\rho_m g \cdot \cos \alpha}_{\left(\frac{\partial p}{\partial x}\right)_{grav}} - \underbrace{\frac{\partial \tau}{\partial x}}_{\left(\frac{\partial p}{\partial x}\right)_{fric}} + \underbrace{\frac{\partial(\rho_m v_m^2)}{\partial x}}_{\left(\frac{\partial p}{\partial x}\right)_{acc}}$$

где α – угол между стволом скважины и вертикалью (зенитный угол), рад; ρ_m – плотность флюида, кг/м³; x – аксиальная ось трубопровода координата, м; g – ускорение св. падения, м/с²; p – давление, Па; $\frac{\partial \tau}{\partial x}$ – потери давления на трение флюида, Па.

$$\left(\frac{\partial p}{\partial x}\right)_{fric} = \frac{f \cdot \rho_m v_m^2}{d(x) \cdot 2}$$

где f – коэффициент трения, д.ед.;
 $d(x)$ – диаметр сечения в точке x , м

Коэффициент трения по Moody:

1. Определение числа Рейнольдса:

$$Re = \frac{\rho_m v_m d(x)}{\mu}$$

где μ – вязкость флюида, Па·с;
 $d(x)$ – диаметр сечения в точке x , м

2. Определение режима течения

- $Re < 3000 \Rightarrow$ режим течения ламинарный
- $Re > 3000 \Rightarrow$ режим течения турбулентный

3. Определение коэффициента трения воды:

3.1. Для ламинарного потока :

$$f = \frac{64}{Re}$$

3.2. Для турбулентного потока (по Джейн):

$$f = \frac{1}{\left(1,14 - 2 \log \left(\frac{\epsilon}{d} + \frac{21,25}{Re^{0,9}}\right)\right)^2}$$

где ϵ – шероховатость абс., м
(для НКТ, как правило = 0,000018 м)

Эмпирическое соотношение Дарси-Вейсбаха:

Замыкающие соотношения для физико-химических свойств воды:

4.1. Плотность воды:

$$\rho_m(P, T) = \frac{\rho_m(P_{sc}, T_{sc})}{1 + \frac{T - 273}{10000} (0,269(T - 273)^{0,637} - 0,8)}$$

где $\rho_m(P_{sc}, T_{sc})$ – плотность воды в ст.у., кг/м³;
 T – температура, К.

Уравнения одномерного установившегося однофазного течения

4.2. Вязкость пресной воды (Matthews and Russel):

$$\begin{aligned}\mu_m(P, T) \\ = A(1,8T - 460)^{-B}(0,9994 + 0,0058P + 0,6534 \cdot 10^{-4} \cdot P^2) \\ A = 109,574 \\ B = 1,1217\end{aligned}$$

где T – температура, К; P – давление, МПа.

Решение уравнения установившейся однофазной фильтрации:

$$\begin{aligned}\frac{\partial(v_m)}{\partial x} &= \frac{v_m}{\rho_m} \frac{\partial(\rho_m)}{\partial x} \\ \frac{\partial p}{\partial x} &= \rho_m g \cdot \cos \alpha - \frac{f \cdot \rho_m v_m^2}{d(x)} \frac{1}{2} + \frac{\partial(\rho_m v_m^2)}{\partial x}\end{aligned}$$



$$\frac{\partial p}{\partial x} = \rho_m g \cdot \cos \alpha - \frac{f \cdot \rho_m v_m^2}{d(x)} \frac{1}{2} + \frac{\partial(\rho_m)}{\partial x} \cdot (v_m^2 + 2v_m)$$



$$\left(\frac{\partial p}{\partial x}\right)_{acc} \ll \left(\frac{\partial p}{\partial x}\right)_{grav}; \left(\frac{\partial p}{\partial x}\right)_{acc} \ll \left(\frac{\partial p}{\partial x}\right)_{fric}$$

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \rho_m g \cdot \cos \alpha - \frac{f \cdot \rho_m v_m^2}{d(x)} \frac{1}{2}$$

Решение задачи расчёта распределения давления в нагнетательной скважине:

$$\begin{aligned}\frac{\partial p}{\partial x} &= \rho_m g \cdot \cos \alpha - \frac{f \cdot \rho_m v_m^2}{d(x)} \frac{1}{2} \\ \frac{\partial T}{\partial x} &= const \\ p(0) &= P_{buf}\end{aligned}$$

Численное итеративное решение (методы Эйлера, Эйлера-Коши, Рунге-Кутты и т.д.):

$$p_{i+1} = p_i + \int_{x_i}^{x_{i+1}} \frac{\partial p}{\partial x}(x, p) dx$$

Пример использования метода Эйлера-Коши:

$$\widetilde{p}_{i+1} = p_i + (x_{i+1} - x_i) \left(\rho_m(p_i, T_i) g \cdot \cos \alpha - \frac{f(p_i, T_i) \cdot \rho_m(p_i, T_i) v_m^2}{d(x_i)} \frac{1}{2} \right)$$

$$\begin{aligned}p_{i+1} \\ = p_i \\ + \frac{(x_{i+1} - x_i)}{2} \left(\left[\rho_m(p_i, T_i) g \cdot \cos \alpha - \frac{f(p_i, T_i) \cdot \rho_m(p_i, T_i) v_m^2}{d(x_i)} \frac{1}{2} \right] \right.\end{aligned}$$

Алгоритм расчета многофазного потока

1. Выбираем корреляцию. Расчет начинается от известного давления. Задаемся шагом
2. Рассчитываем свойства для известного давления и температуры
3. Рассчитываются расходы, скорости фаз, дополнительные параметры корреляции, плотности эмульсии
4. По эмпирическим соотношениям в корреляции определяется структура потока в данном сечении
5. Рассчитывается трение
6. Рассчитываем перепад давления на выбранном шаге и новое давление.
7. Возвращаемся к шагу 2 и повторяем процедуру

Алгоритм расчета однофазного потока

1. Расчет начинается от известного давления. Задаемся шагом
2. Рассчитываем свойства для известного давления и температуры
3. Рассчитываются расходы, скорости фаз
4. Рассчитывается трение
5. Рассчитываем перепад давления на выбранном шаге и новое давление.
6. Возвращаемся к шагу 2 и повторяем процедуру

Доп.слайды

Инклинометрия скважины

