

# ПРОЕКТИРОВАНИЕ, АНАЛИЗ РАЗРАБОТКИ И ОБУСТРОЙСТВА УГЛЕВОДОРОДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Лекция №9

Хромых Людмила Николаевна

# Математическое моделирование пластовых систем.

- Основная цель моделирования нефтяного пласта - описание его состояния с помощью соответствующих математических уравнений.
- При моделировании пласта можно достаточно детально представить пласт путем разбиения его на блоки (иногда на несколько тысяч) и применения к каждому из них основных уравнений фильтрации.
- В настоящее время используются программы для моделирования некоторых очень сложных процессов, протекающих при осуществлении различных вариантов разработки.
- Для обозначения таких программ используют следующие равноценные термины: математические модели, численные модели, сеточные модели, конечно – разностные модели и далее пластовые модели.
- В действительности в процессе разработки программы для моделирования пласта применяют три вида моделей:

## 1. Математическая модель.

- Моделируемая физическая система описывается соответственно математическим уравнениями. Математические модели составляют на основе системы нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных с соответствующими начальными и граничными условиями.

## 2. Численная модель.

- Уравнения, описывающие математическую модель пласта, почти всегда настолько сложны что их невозможно решить аналитическими методами. Чтобы представить уравнения в форме, пригодной для решения на цифровых вычислительных машинах, следует их аппроксимировать, т.е. заменить исходные дифференциальные уравнения системой алгебраических уравнений. Численная модель состоит из полученной системы уравнений.

## 3. Машинная модель – это программа или система программ для ЭВМ, составленная с целью решения уравнений численной модели. Так математическая модель может отражать только те явления, которые были учтены при выводе дифференцируемых уравнений.

- Для конкретных месторождений эта информация часто является неполной. С помощью программ, базирующихся на данной конкретной модели, решается ряд дополнительных задач – например – изменение режима залежи, явления тепломассопереноса при закачке термоагентов и др.
- Математическая постановка задач и их численное решение зависит от типа физической системы и допущений, принятых при разработке ее математической модели.
- Различные формы уравнений (линейной, одномерной, однофазной) фильтрации можно подразделить:
  1. Задачи стационарной линейной фильтрации, описываемые линейными обыкновенными дифференциальными уравнениями:

$$\frac{d^2 P}{dx^2} = q(x)$$

2. Задачи нестационарной линейной фильтрации, описываемые линейными дифференциальными уравнениями в частных производных:

$$\frac{\partial^2 P}{\partial x^2} = \frac{\partial P}{\partial t} + q(x, t)$$

3. Задачи нестационарной линейной фильтрации, описываемые нелинейными дифференциальными уравнениями в частных производных с переменными коэффициентами:

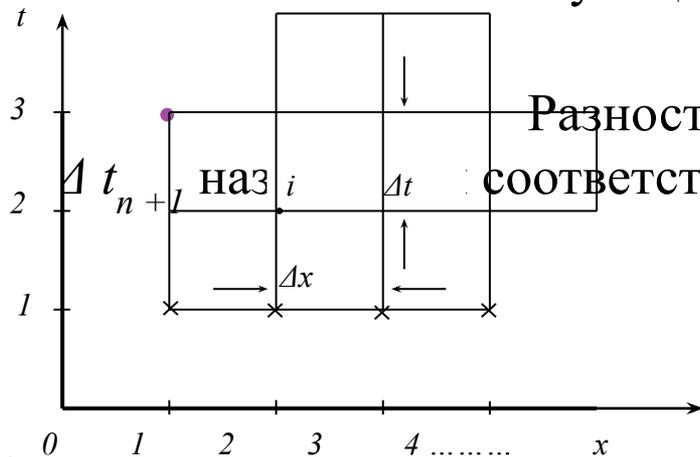
$$\frac{\partial}{\partial x} \left[ \lambda(x, p) \frac{\partial P}{\partial x} \right] = c(x, p) \frac{\partial P}{\partial t} + q(x, t)$$

- Моделирование многофазной фильтрации по сравнению с однофазным течением требует специальных методов решения, т.к. рассматривается система связанных нелинейных уравнений. Здесь используется метод аппроксимации, т.е. замена исходной задачи другой, более легкой, решение которой близко к решению исходной задачи. Одним из таких методов применяемых для решения математических задач разработки нефтяных месторождений является метод конечно – разностных аппроксимаций.

- Сущность конечно – разностного метода заключается в замене исходных дифференцируемых уравнений системой алгебраических уравнений. Если полученная система линейная, то для ее решения применяют прямые и итерационные методы (к прямым методам относят метод Гаусса и его модификации; к итерационным – например метод Ньютона).
- Если имеем дифференцируемое уравнение для искомой функции  $U$ , которая зависит от пространственной переменной  $X$  и времени  $t$ , то можно считать, что значения независимых переменных находятся на некоторой плоскости  $x, t$ .
- При использовании конечно – разностных методов производят дискретизацию, т.е. замену непрерывных переменных  $x$  и  $t$  упорядоченной системой точек (узлов) на плоскости  $x, t$  со значениями по оси абсцисс  $x_i$  и по оси ординат  $t_n$  ( $i = 0, 1, 2, 3, \dots$ );  $n = (0, 1, 2, 3, \dots, N)$ .
- Геометрически дискретизацию можно интерпретировать как разделение плоскости  $x, t$  прямыми; параллельными осями  $x$  и  $t$ , т.е. нанесением на плоскость  $x, t$  сетки, узлы которой имеют координаты  $x_i, t_n$ .

- Прямоугольник с координатами  $x_i, x_{i+1}, t_n, t_{n+1}$  конечно – разностной ячейкой. Совокупность узлов  $x_i$  ( $i = 0, 1, 2, \dots, I$ ) при фиксированном  $t_n$ , т.е. узлов, лежащих на прямых, параллельных оси  $x$ , называемой временным слоем.

Функция  $U$  теперь будет определена в узлах и обозначаться как  $U_i^n$



- то сетка по пространству или по времени равномерная.
- Для аппроксимации первой производной функции  $U$  по времени в узле  $i$  на  $n$  – ом временном слое имеем:

- $\Delta t$  – шаг по времени 
$$\left(\frac{\partial U}{\partial t}\right)_t^n \approx \frac{U_i^{n+1} - U_i^n}{\Delta t}$$

- Аналогично аппроксимируется и первая производная функция  $U$  по пространству, например:

- $h$  – шаг по координате 
$$\left(\frac{\partial U}{\partial x}\right)_i^n \approx \frac{U_i^n - U_{i-1}^n}{\Delta h}$$

- Интеграл ошибок или интеграл вероятности ошибок.

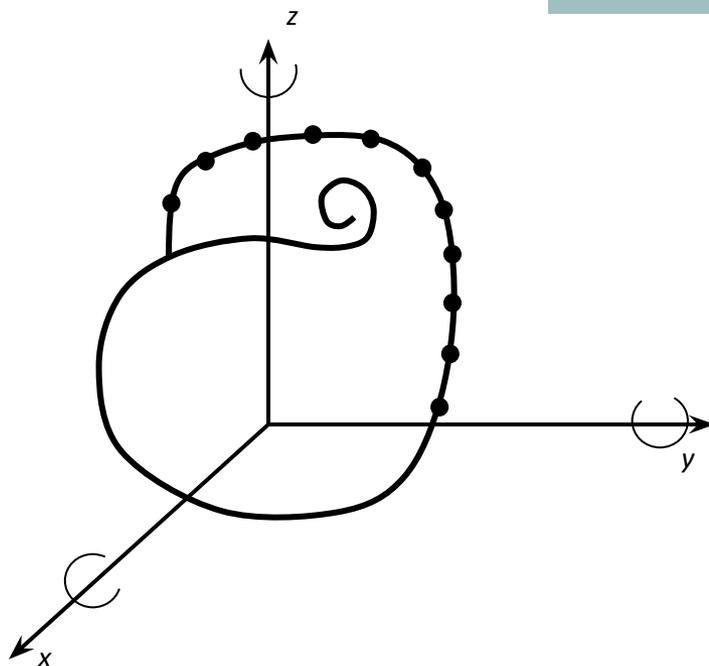
$$erf(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \cdot \int_0^x e^{-\xi^2} d\xi$$

$$\hat{O}(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \cdot \int_0^z e^{-t^2} dt$$

- Используют явные и неявные конечно – разностные схемы.

$$F(x; y; z)$$

- Конечно – разностные схемы лежат в основе решения системы дифференциальных уравнений при построении трехмерных, трехфазных математических моделей нефтяных пластов.

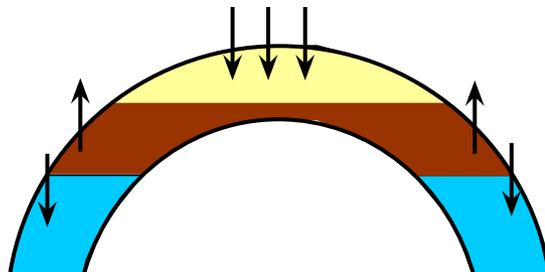


## **Совершенствование методов проектирования разработки нефтяных месторождений.**

- Основным направлением развития методов проектирования разработки нефтяных месторождений является дальнейшее развитие трехмерных, трехфазных математических моделей (SUTRAH FLORA) создана на каком то определенном этапе разработке месторождения и будет отражать то состояние месторождения, в котором оно находится в текущий момент времени.

- Точность модели будет зависеть от количества исходной информации о пласте, свойствах нефти и газа, полученных к этому моменту времени. Получение дополнительной информации в процессе эксплуатации и дополнительного разбуривания залежи может существенно изменить математическую модель залежи или даже привести к созданию принципиально новой модели.
- В настоящее время на базе трехмерных, трехфазных математических моделей созданы постоянно – действующие геолого – физические адресные модели нефтяных залежей. Такие модели позволяют вносить дополнительные данные по каждой конкретной точке пласта (узлу, скважине) не меняя модель в целом. При создании такой модели, возможен постоянный контроль за состоянием разработки залежи – так называемый авторский надзор.
- Математическая модель такого типа позволяет проводить моделирование любого метода разработки: закачку воды в различные системы заводнения, горячей воды, пара (т.е. учитывается изменение температуры, фазовые переходы в пласте), закачку газа в имеющуюся газовую шапку; одновременную закачку воды в ВН зону и газа в газовую шапку и т.д..

- Моделирование процесса разработки на таком уровне позволяет выбрать наиболее эффективный метод разработки рассматриваемой залежи в начальной стадии проектирования.



- Такая модель позволяет построить не только карты остаточных нефтенасыщенных толщин, но и профили по любому разрезу пласта, что помогает составить объемное представление о местонахождении остаточной нефти и определить необходимость бурения дополнительных добывающих скважин.
- Модель позволяет выявить обводненные пропластки при наличии так называемого послойного обводнения. Это позволяет провести изоляционные работы в скважинах с целью исключения этих пропластков из эксплуатации.

- Грамотно построенная трехмерная модель позволяет определить распределение объемов закачиваемой в пласт воды, выявить утечки воды за контур нефтеносности, выявить зоны, где не проявляется влияние заводнения и т.д..
- В процессе доразведки и получения дополнительной информации действующая математическая модель совершенствуется, позволяя получать все более точные прогнозные показатели разработки.
- Однако создание таких моделей очень трудоемкий процесс, требующий специальной обработки большого количества исходного геолого – промыслового материала.
- В идеале – НИИ должны иметь также модели по каждой, находящейся в разработке нефтяной и газовой залежи.
- На стадии составления проекта пробной эксплуатации и оценке добывных возможностей месторождения могут применяться приближенные, упрощенные методы гидродинамических расчетов, т. к. в этот период имеет сравнительно мало исходных геолого – промысловых данных, с недостаточной точностью отражающих реальные свойства пластов и флюидов.

- На стадиях составления проекта разработки, проекта доработки, контроля и регулирования процесса разработки применяются более сложные но и более точные методы гидродинамических расчетов процесса обводнения нефтяных залежей. Эти методики позволяют достигнуть наибольшего приближения к реальным условиям залегания пластов и фильтрации жидкостей и газов.
- В настоящее время в нашей стране и за рубежом применяются гидродинамические методики расчета вытеснения нефти водой, позволяющие прогнозировать различные варианты динамики добычи нефти, воды и КИН во времени.
- Эти методики разработаны как для условий однородных, так и для неоднородных пластов.
- Один из первых методов учета неоднородности пластов в расчетах добычи нефти во времени был предложен М. Маскетом в 1949 г., в том же году появилась методика Стайлса и в 1950г. Дикстра и Парсонса – вытеснение нефти водой в слоистонеоднородном по проницаемости пласте.

- **ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ**
- **Совершенствование технологий разработки нефтяных месторождений.**
- **Физические основы импульсного воздействия на пласт.**
- **Гидродинамический и капиллярный эффект импульсного воздействия.**
- **Оценка технологического эффекта импульсного воздействия.**
  - **Метод ИНФП.**
    - **Бурение горизонтальных скважин.**
  - **Оценка эффективности ГС различными методами.**