

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт проблем нефти и газа Российской академии наук
(ИПНГ РАН)**

УТВЕРЖДАЮ

Директор

_____ **Л.А. Абукова**

« _____ » _____ **2015 г.**

ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Прикладные модели многофазной фильтрации

Направление подготовки: 21.06.01 "Геология, разведка и разработка полезных ископаемых"

Уровень образования: Подготовка кадров высшей квалификации

Направленность подготовки: Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений

Квалификация выпускника: Исследователь. Преподаватель-исследователь

Москва 2015

Программа составлена в соответствии с требованиями следующих нормативных документов:

1. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования "Подготовка кадров высшей квалификации" по направлению подготовки 21.06.01 "Геология, разведка и разработка полезных ископаемых", утвержденный приказом Министерства образования и науки Российской Федерации 30 июля 2014 г. № 886 (в ред. Приказа Минобрнауки России от 30.04.2015 N 464).

2. Паспорт научной специальности 25.00.17 – "Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений", разработанный экспертами ВАК Минобрнауки России в рамках Номенклатуры специальностей научных работников, утверждённой приказом Минобрнауки России от 25.02.2009 г. № 59.

3. Программа-минимум кандидатского экзамена по специальности 25.00.17 – "Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений", утверждённая приказом Минобрнауки России от 08.10.2007 № 274 "Об утверждении программ кандидатских экзаменов".

Составитель рабочей программы:

Вед. научн. сотр., д.т.н. _____

И.М. Индрупский

Ответственный за направленность подготовки:

Зам. директора по науке, д.т.н., проф. _____

В.М. Максимов

ПРИНЯТО

Учёным советом ИПНГ РАН

Протокол №... от ... г.

Учёный секретарь, ...

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины "Прикладные модели многофазной фильтрации" является получение знаний, навыков и умений, связанных с современными математическими моделями в области разработки месторождений нефти и газа, а также получение навыков самостоятельной постановки и решения задач в данной области, востребованных в научно-исследовательской деятельности: анализе данных, применении и развитии математических моделей и алгоритмов, проведении расчетов, понимании возможностей и ограничений научно-инженерных инструментов, в том числе программного обеспечения.

Задачами освоения дисциплины являются:

- углубленное знакомство с геолого-физическими и технологическими процессами в разработке месторождений нефти и газа;
- развитие представлений о прикладных задачах в соответствующей области;
- освоение некоторых современных математических моделей и методов решения прикладных задач разработки месторождений нефти и газа;
- развитие навыков выбора и применения математической модели с учетом специфики поставленной задачи, ограничений временных и вычислительных ресурсов.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ПОДГОТОВКИ НАУЧНО-ПЕДАГОГИЧЕСКИХ КАДРОВ В АСПИРАНТУРЕ ПО НАПРАВЛЕНИЮ ПОДГОТОВКИ КАДРОВ ВЫСШЕЙ КВАЛИФИКАЦИИ 21.06.01 "ГЕОЛОГИЯ, РАЗВЕДКА И РАЗРАБОТКА ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ"

Дисциплина является дисциплиной по выбору, входит в состав Блока 1 "Дисциплины" и относится к вариативной части ООП аспирантуры по направлению подготовки – 21.06.01 "Геология, разведка и разработка полезных ископаемых", направленности подготовки – "Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений". Дисциплина изучается в 3 семестре.

Входные знания, умения и компетенции, необходимые для изучения данного курса, формируются в процессе изучения таких дисциплин, как "Современные модели нефтегазовой подземной гидромеханики", "Обратные задачи в разработке месторождений нефти и газа".

Взаимосвязь курса с другими дисциплинами ООП способствует углубленной подготовке аспирантов к решению специальных практических профессиональных задач и формированию необходимых компетенций.

3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

Профессиональные компетенции:

ПК-2	Готовность решать научные проблемы, направленные на совершенствование разработки месторождений нефти и газа в различных геолого-физических условиях
ПК-3	Способность обрабатывать, интерпретировать и системно анализировать исходную геолого-физическую и технологическую информацию, строить адекватную модель процесса разработки месторождения
ПК-4	Готовность эффективно использовать современные компьютерные технологии и вычислительные методы для решения научно-исследовательских и производственно-технологических задач в области разработки месторождений нефти и газа

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

Знать:

- основные математические модели, применяемые для описания процессов разработки залежей нефти и газа в трещинно-поровых коллекторах;
- базовые принципы и методы геостатистики;
- ключевые принципы укрупнения расчетных сеток и ремасштабирования свойств пласта, основные методы ремасштабирования;
- основные предположения и уравнения, вычислительные особенности метода моделирования на основе линий тока;
- особенности многокомпонентных моделей фильтрации и их вычислительной реализации;
- базовые понятия термодинамики, постановку и методы решения задачи фазового равновесия.

Уметь:

- правильно выбрать модель фильтрации в трещинно-поровом коллекторе, записать математическую постановку задачи и вывести уравнения расчетной схемы;
- рассчитать экспериментальную функцию вариограммы, подобрать модель вариограммы, записать и решить систему уравнений кригинга;
- правильно выбирать и применять основные методы ремасштабирования свойств пласта с учетом специфики задачи и ограничений вычислительных ресурсов;
- вывести расчетные уравнения и записать алгоритм моделирования на основе линий тока;
- определить необходимость использования модели многокомпонентной фильтрации для конкретного объекта, вывести основные расчетные уравнения и записать систему уравнений фазового равновесия.

Владеть:

- навыками применения методов моделирования разработки месторождений с трещинно-поровыми коллекторами с учетом геолого-физических особенностей объекта;
- математическим аппаратом методов геостатистики, навыками расчета полей свойств пласта в межскважинном пространстве детерминированными и стохастическими методами;
- методами однофазного и многофазного ремасштабирования;
- навыками построения численной схемы моделирования на основе линий тока;
- навыками построения численной схемы для модели многокомпонентной фильтрации и методами решения задачи фазового равновесия.

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетные единицы, 108 часов.

Вид учебной работы	Объем часов / зачетных единиц
Всего	108/3
Обязательная аудиторная учебная нагрузка (всего)	36/1
в том числе	

лекции	18/0.5
семинары	
практические занятия	18/0.5
Самостоятельная работа аспиранта (всего)	72/2
Вид контроля по дисциплине	Д/З, зачет с оценкой

5. РАЗДЕЛЫ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ ЗАНЯТИЙ

№ п/п	Раздел дисциплины	Объем часов				Формы текущего контроля успеваемости Форма промежуточной аттестации
		Лекц.	Практ,	Семин.	Сам. раб.	
1	Часть 1. Математические модели разработки залежей нефти и газа в трещинно-поровых коллекторах.	4	4		16	ДЗ 1
2	Часть 2. Современные методы геостатистики в моделировании месторождений нефти и газа.	3	3		12	ДЗ 2
3	Часть 3. Ремасштабирование в задачах разработки месторождений нефти и газа.	4	4		16	ДЗ 3
4	Часть 4. Применение метода линий тока для прогнозирования и анализа процессов разработки.	3	3		12	ДЗ 4
5	Часть 5. Особенности многокомпонентного моделирования процессов разработки месторождений нефти и газа.	4	4		16	ДЗ 5, зачет с оценкой

6. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Математические модели разработки залежей нефти и газа в трещинно-поровых коллекторах.

Особенности строения и свойств карбонатных и терригенных трещинно-поровых коллекторов. Физические механизмы добычи нефти и газа из матрицы: истощение, капиллярная пропитка, гравитационное дренирование. Модель двойной среды Баренблатта-Желтова-Кочинной. Функция обмена. Обобщенная многофазная модель двойной среды. Многофазная функция обмена и функция пропитки. Модели двойной пористости/двойной проницаемости. Модели множественных вложенных сред. Модели дискретной сети трещин.

2. Современные методы геостатистики в моделировании месторождений нефти и газа.

Основные положения геостатистики. Случайное поле. Стационарность второго порядка. Внутренняя гипотеза. Вариограмма (полувариограмма), основные свойства. Подбор параметров вариограммы по распределенным выборочным данным. Анизотропия. Кригинг. Основные свойства метода кригинга. Система уравнений кригинга. Дисперсия кригинга. Последовательное гауссово моделирование. Моделирование дискретных переменных.

3. Ремасштабирование в задачах разработки месторождений нефти и газа.

Задача укрупнения масштаба расчетной сетки. Принципы и методы построения укрупненной расчетной сетки. Пересчет аддитивных параметров (пористость, насыщенность).

Пересчет проницаемости: простейшие одномерные случаи. Появление анизотропии проницаемости при укрупнении сетки. Эффективная и эквивалентная проницаемость. Локальное и расширенное локальное ремасштабирование проницаемости. Варианты граничных условий. Глобальное и квазиглобальное ремасштабирование. Преимущества и недостатки. Ремасштабирование проводимостей. Ремасштабирование в околоскважинных областях.

Постановка задач двухфазного ремасштабирования. Стационарные псевдофункции насыщенности. Предельные случаи. Динамические псевдофункции насыщенности. Зависимость от скорости фильтрации.

Изменение вида уравнений двухфазной фильтрации при осреднении.

4. Применение метода линий тока для прогнозирования и анализа процессов разработки.

Основные предположения метода линий тока. Вывод системы уравнений схемы IMPES. Уравнение для давления. Линии тока. Уравнение вдоль линии тока. Порядок вычислений. Учет сжимаемости, гравитационных и капиллярных сил. Вычислительные аспекты. Сопоставление с конечно-разностными методами. Контроль численной диффузии. Основные преимущества и недостатки.

5. Особенности многокомпонентного моделирования процессов разработки месторождений нефти и газа.

Модель многофазной многокомпонентной фильтрации. Уравнения сохранения и замыкающие соотношения. Уравнения состояния. Энергия Гиббса. Химический потенциал. Летучесть. Правило фаз Гиббса. Условия фазового равновесия. Методы решения задачи фазового равновесия.

Расчетные схемы решения задач многокомпонентной фильтрации. Выбор главных переменных.

Неравновесное многокомпонентное моделирование. Ремасштабирование многокомпонентной модели.

7. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА АСПИРАНТОВ

Используются виды самостоятельной работы аспиранта: в читальном зале библиотеки, на рабочих местах с доступом к ресурсам Интернет и в домашних условиях. Порядок выполнения самостоятельной работы соответствует программе курса и контролируется домашними заданиями и итоговым зачетом с оценкой. Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим рекомендованную литературу и конспекты лекций.

8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

8.1. Примеры вопросов домашних заданий:

Домашнее задание №1

1. Записать постановку и численную схему решения задачи об однофазном притоке нефти к скважине в цилиндрическом пласте с трещинно-поровым коллектором.

2. Построить портрет матрицы системы линейных алгебраических уравнений, формируемой на каждой итерации метода Ньютона при реализации полностью неявной схемы решения уравнений двухфазной фильтрации в трещинной-поровом коллекторе для моделей:

- двойной пористости,
- двойной проницаемости,
- множественных вложенных сред.

Домашнее задание №2

1. Построить эмпирическую и подобрать модельную функцию вариограммы для заданных исходных данных на скважинах.

2. Рассчитать веса кригинга, значение свойства в точке и дисперсию кригинга по заданной функции вариограммы и данных на скважинах.

Домашнее задание №3

1. Реализовать численную схему решения двухмерной задачи локального ремасштабирования проницаемости. Рассчитать эквивалентную проницаемость по двум осям для стандартных граничных условий, по двум осям и перекрестного члена – для линейных граничных условий.

2. Рассчитать стационарные псевдофункции относительных фазовых проницаемостей в капиллярном и вязкостном пределе для заданных исходных данных.

Домашнее задание №4

1. Решить уравнение для давления и построить конфигурацию линий тока для двухмерной задачи заводнения в пятиточечном элементе разработки.

2. Рассчитать положение фронта вытеснения вдоль линий тока к заданному моменту времени для двухмерной задачи заводнения в пятиточечном элементе разработки.

Домашнее задание №5

1. Решить задачу фазового равновесия для трехкомпонентной смеси заданного состава при заданных условиях.

2. Записать численную схему и построить портрет матрицы полностью неявного метода и метода IMPREM для двухмерной задачи фильтрации четырехкомпонентной углеводородной смеси и воды.

Примерные вопросы к зачету:

1. Физические механизмы добычи нефти и газа из трещинно-поровых коллекторов.
2. Модель Баренблатта-Желтова-Кочиной.

3. Обобщенная многофазная модель двойной среды. Модель двойной пористости/двойной проницаемости.
4. Случайное поле. Стационарность второго порядка. Внутренняя гипотеза. Вариограмма.
5. Эмпирическая вариограмма. Модели вариограммы.
6. Кригинг. Вывод системы уравнений кригинга. Дисперсия кригинга.
7. Алгоритм последовательного гауссова моделирования.
8. Методы построения укрупненной вычислительной сетки. Аддитивные параметры, методы пересчета.
9. Локальные и расширенные локальные, глобальные и квазиглобальные методы ремасштабирования проницаемости. Появление анизотропии при изменении масштаба.
10. Стационарные и динамические псевдофункции насыщенности. Осреднение уравнений двухфазной фильтрации.
11. Метод линий тока. Уравнение для давления. Линии тока. Уравнение вдоль линии тока.
12. Преимущества и недостатки метода линий тока. Способы учета сжимаемости, гравитационных и капиллярных сил.
13. Уравнения сохранения и замыкающие соотношения для модели многофазной многокомпонентной фильтрации.
14. Уравнения состояния. Энергия Гиббса. Химический потенциал. Летучесть. Правило фаз Гиббса.
15. Условия фазового равновесия. Методы решения задачи фазового равновесия.
16. Вычислительные схемы и выбор главных переменных при решении задач многокомпонентной фильтрации. Ремасштабирование многокомпонентной модели. Неравновесность.

8.2. Основная и дополнительная литература:

а) основная литература:

1. Басниев К.С., Дмитриев Н.М., Каневская Р.Д., Максимов В.М. Подземная гидромеханика. Учебник. – Москва, Институт компьютерных исследований, 2005. – 496 с.
2. Баренблатт Г.И., Ентов В.М., Рыжик В.М. Движение жидкостей и газов в природных пластах. – М.: Недра, 1984. – 208 с.
3. Закиров Э.С. Upscaling в 3D компьютерном моделировании. – М., 2007. – 344 с.
4. Брусиловский А.И. Фазовые превращения при разработке месторождений нефти и газа. – М.: Грааль, 2002. – 575 с.

б) дополнительная литература:

1. Ertekin T., Abou-Kassem J.H., King G.R. Basic applied reservoir simulation. – Soc. Petr. Eng., Richardson, Texas, 2001. – 406 p.
2. Щелкачев В.Н. Основы и приложения теории неустановившейся фильтрации. М. 1995, 586 с.
3. Lake L.W. Enhanced Oil Recovery, Prentice hall, 1989, 504 p.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

Математические программные пакеты (типа MatLab, MAPLE), пакеты численного моделирования фильтрации (типа Shlumberger Eclipse, Roxar Tempest, RFD tNavigator), пакеты моделирования фильтрации на основе линий тока (типа Shlumberger FrontSim, Roxar RMS, StreamSim), пакеты геологического моделирования и ремасштабирования (типа Shlumberger Petrel, Roxar RMS), компиляторы и среды программирования (C/C++/C#/Fortran).

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

- аудиторный фонд ИПНГ РАН,
- ноутбук, мультимедиа-проектор, экран, учебная доска,
- рабочее место с выходом в интернет,
- библиотечный фонд ИПНГ РАН.

ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ В РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЕ ЗА _____/_____ УЧЕБНЫЙ ГОД

В рабочую программу курса "Прикладные модели многофазной фильтрации" образовательной программы по направленности подготовки "Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений" вносятся следующие дополнения и изменения: