

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

**УТВЕРЖДАЮ**

**Директор**

\_\_\_\_\_ **Л.А. Абукова**

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ **2015 г.**

**ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Обратные задачи в разработке месторождений нефти и газа**

**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 "Обратные задачи в разработке месторождений нефти и газа" является получение знаний, навыков и умений, связанных с применением математических моделей процессов разработки месторождений углеводородов, аналитических и численных методов для решения прикладных обратных задач нефтегазовой подземной гидромеханики, а также получение навыков самостоятельной постановки и решения обратных задач в данной области.

Задачами освоения дисциплины являются:

- углубленное знакомство с математическими моделями, применяемыми для решения прямых и обратных задач в разработке месторождений нефти и газа;
- освоение некоторых аналитических и численных методов решения обратных задач;
- развитие представлений о прикладных обратных задачах нефтегазовой подземной гидромеханики;
- развитие навыков выбора и применения математической модели, постановки и метода решения обратных задач.

## 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 относится к обязательным дисциплинам вариативной части Блока 1 "Дисциплины" образовательной программы аспирантуры по направленности подготовки "Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений". Дисциплина изучается в 1-2 семестре. 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:

Общепрофессиональные компетенции:

ОПК-1	Способность планировать и проводить эксперименты, обрабатывать и анализировать их результаты
-------	--

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 модели однофазной и многофазной фильтрации в пористой среде,
- методы дискретизации уравнений многофазной фильтрации,
- методы решения прикладных обратных задач однофазной и многофазной фильтрации,
- основные подходы к постановке и решению задач идентификации параметров моделей многофазной фильтрации.

**Уметь:**

- применять и развивать модели интерпретации данных гидродинамических исследований скважин на стационарных и нестационарных режимах фильтрации, фильтрационных экспериментов на керне,
- строить численные схемы решения прямых и обратных задач фильтрации,
- применять численные методы оптимизации и оптимального управления для решения задач идентификации параметров моделей многофазной фильтрации.

**Владеть:**

- навыками постановки обратных задач многофазной фильтрации и реализации численных алгоритмов их решения,
- базовыми навыками пользователя пакетов программ для моделирования месторождений и интерпретации гидродинамических исследований скважин;
- основными методами интерпретации результатов гидродинамических исследований скважин, интерпретации результатов лабораторных исследований фильтрации на керне и идентификации параметров численных моделей многофазной фильтрации по промысловым данным.

#### **4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 зачетных единиц, 216 часов.

<b>Вид учебной работы</b>	<b>Объем часов / зачетных единиц</b>
<b>Всего</b>	<b>216/6</b>
<b>Обязательная аудиторная учебная нагрузка (всего)</b>	<b>72/2</b>
в том числе	
Лекции	36/1
Семинары	
практические занятия	36/1
<b>Самостоятельная работа аспиранта (всего)</b>	<b>144/4</b>
<b>Вид контроля по дисциплине</b>	<b>2 курсовые работы, экзамен</b>

## 5. РАЗДЕЛЫ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ ЗАНЯТИЙ

№ п/п	Раздел дисциплины	Объем часов				Формы текущего контроля успеваемости Форма промежуточной аттестации
		Лекц.	Практ,	Семина.	Сам. раб.	
1	Часть 1. Гидродинамические исследования скважин	8	8		32	курсовая работа 1
2	Часть 2. Двухфазная фильтрация несжимаемых жидкостей. Обратные задачи.	6	6		24	
3	Часть 3. Роль капиллярных явлений в двухфазной фильтрации.	4	4		16	
4	Часть 4. Вычислительные аспекты моделирования многофазной фильтрации.	8	8		32	курсовая работа 2, экзамен
5	Часть 5. Задачи идентификации параметров численных моделей многофазной фильтрации	2	2		8	
6	Часть 6. Численные методы решения нелинейных задач наименьших квадратов.	4	4		16	
7	Часть 7. Теория оптимального управления. Сопряженные методы	4	4		16	

## 6. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### *1. Гидродинамические исследования скважин.*

Теория однофазной фильтрации. Уравнение неразрывности. Закон Дарси. Задача о стационарном плоскорадиальном притоке упругой жидкости к скважине в однородном упругом пласте. Формула Дюпюи. Задача о нестационарном плоскорадиальном притоке упругой жидкости

к скважине в однородном упругом пласте. Уравнение пьезопроводности. Основное решение. Решение задачи об остановке скважины.

Понятие о гидродинамических исследованиях скважин (ГДИС). Индикаторная диаграмма. ГДИС методом кривой восстановления давления (КВД). Графоаналитический метод решения обратной задачи определения коэффициентов гидропроводности (проницаемости) и пьезопроводности. Скин-фактор. Влияние ствола скважины. Режимы течения (радиальный, сферический, линейный, билинейный). Логарифмическая производная давления. Диагностический билиогарифмический график.

### ***2. Двухфазная фильтрация несжимаемых жидкостей. Обратные задачи.***

Двухфазная фильтрация несмешивающихся несжимаемых жидкостей. Модель Бакли-Левретта. Метод характеристик. Условия на разрыве. Построение решения с разрывом. Обратные задачи определения функции доли воды в потоке (метод Уэлджа) и относительных фазовых проницаемостей (метод Эфроса).

### ***3. Роль капиллярных явлений в двухфазной фильтрации.***

Физическая модель двухфазной фильтрации: основные предположения, роль капиллярных сил. Гистерезис капиллярного давления. Функция Левретта.

Особенности задания начальных условий при моделировании залежей. Задача капиллярно-гравитационного равновесия.

Уравнение Раппопорта-Лиса. Капиллярное число. Физические особенности решения для насыщенности при учете капиллярного давления. Анализ методами асимптотических разложений и пограничного слоя

### ***4. Вычислительные аспекты моделирования многофазной фильтрации.***

Модели многофазной фильтрации: модель Маскета-Мереса (нелетучей нефти, black oil) и многокомпонентная модель. Дискретизация по пространству и времени. Схемы SS (полностью неявная) и IMPES. Устойчивость. Особенности моделирования скважин. Структура разностных уравнений и вектор неизвестных прямой задачи в полностью неявной схеме (SS). Решение нелинейных систем уравнений методом Ньютона. Структура матрицы линейной системы уравнений в методе Ньютона. Итерационный метод минимальной невязки (GMRES) для решения систем уравнений с разреженными матрицами.

### ***5. Задачи идентификации параметров численных моделей многофазной фильтрации.***

Оптимизационная постановка обратной задачи определения параметров пласта (задачи идентификации параметров модели). Формулировка обратной задачи в статистическом смысле. Критерий максимального правдоподобия. Обобщенный критерий наименьших квадратов.

### ***6. Численные методы решения нелинейных задач наименьших квадратов.***

Метод Гаусса-Ньютона для задач наименьших квадратов. Коэффициенты чувствительности расчетных значений измеряемых величин к изменению параметров модели. Вывод системы уравнений для вычисления коэффициентов чувствительности для полностью неявной схемы на примере модели нелетучей нефти. Объем вычислений.

### ***5. Теория оптимального управления. Сопряженные методы.***

Идея методов, основанных на решении сопряженной системы уравнений (на примере систем линейных уравнений). Объем вычислений.

Общая постановка задачи оптимального управления. Гамильтониан. Принцип максимума Понтрягина. Сопряженная задача, условия трансверсальности.

Применение дискретной формы принципа максимума Понтрягина к системе уравнений полностью неявной численной схемы. Сопряженная система уравнений, условия трансверсальности. Вычисление градиента оптимизационного критерия.

## 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 курсовыми работами по итогам 3 и 4 семестров. Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим рекомендованную литературу и конспекты лекций.

## 8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 8.1. Примеры тем курсовых работ:

#### Курсовая работа №1

1. Вывести расчетные формулы и реализовать алгоритм построения доверительных интервалов для параметров гидро- и пьезопроводности пласта по данным измерений забойного давления при радиальном режиме фильтрации.

2. Вывести выражения и провести расчет главных значений и главных направлений тензора проницаемости в плоскости  $XU$ , если по данным гидропрослушивания получены оценки проницаемости в трех направлениях с известными азимутами.

3. Написать вычислительную программу для построения и сравнения решений задачи Бакли-Левретта методом характеристик, явным численным методом с разными шаблонами пространственной аппроксимации и размером временного шага.

4. Реализовать алгоритм решения стационарной задачи двухфазной фильтрации с учетом капиллярного концевое эффекта. Провести анализ влияния концевое эффекта на процесс фильтрации в керне и в пласте.

#### Курсовая работа №2

1. Написать программу, реализующую метод туннелирования для поиска глобального экстремума модельной гладкой функции, имеющей несколько локальных экстремумов в пределах области изменения параметров.

2. Написать программу и сопоставить эффективность методов сопряженных градиентов, квазиньютоновских и Гаусса-Ньютона для модельной нелинейной задачи наименьших квадратов.

3. Получить выражения и реализовать алгоритм решения сопряженной задачи с условиями трансверсальности для краевой задачи в дифференциальной форме, соответствующей уравнению пьезопроводности с заданными граничными и начальными условиями и оптимизационным критерием.

4. Получите выражения и реализовать алгоритм решения сопряженной задачи с условиями трансверсальности для краевой задачи в конечно-разностной форме, соответствующей уравнению пьезопроводности с заданными граничными и начальными условиями и оптимизационным критерием.

### Примерные вопросы к экзамену:

1. Однофазная фильтрация. Основные уравнения и характеристики.
2. Уравнение пьезопроводности.
3. Постановка и решение прямой задачи о притоке жидкости в скважину в бесконечном однородном круговом пласте.
4. Понятие о гидродинамических исследованиях скважин (ГДИС). ГДИС методом кривой восстановления давления (КВД). Построение решения прямой задачи для КВД из решения задачи о притоке к скважине. Графоаналитический метод решения обратной задачи.
5. Логарифмическая производная давления. Режимы течения.
6. Гидропрослушивание. Метод совмещения кривой.

7. Двухфазная фильтрация. Основные уравнения и характеристики. Роль капиллярных сил.
8. Гистерезис капиллярного давления. Функция Леверетта. Задача капиллярно-гравитационного равновесия.
9. Задача Бакли-Леверетта.
10. Решение обратной задачи оценки ОФП на основе эксперимента по вытеснению нефти водой (методы Вэлджа и Эфроса).
11. Уравнение Раппопорта-Лиса. Капиллярное число. Анализ уравнения Раппопорта-Лиса с помощью методов асимптотических разложений и пограничного слоя.
12. Модели трехфазной фильтрации: многокомпонентная (композиционная) и модель нелетучей нефти (black oil). Свойства флюидов и породы. Начальные и граничные условия.
13. Дискретизация уравнений по пространству и по времени. Схемы аппроксимации по времени. Устойчивость.
14. Моделирование скважин. Учет скважины в сеточной модели пласта. Модель Писмэна. Особенности моделирования горизонтальных скважин и скважин, пересеченных трещинами гидравлического разрыва.
15. Решение нелинейных систем уравнений методом Ньютона в полностью неявной вычислительной схеме. Структура матрицы линейной системы уравнений и вектора неизвестных.
16. Итерационные метод минимальной невязки для решения систем уравнений с разреженными матрицами.
17. Оптимизационная постановка обратной задачи определения параметров пласта. Общий вид и статистическое обоснование обобщенного критерия наименьших квадратов.
18. Метод Гаусса-Ньютона для задач наименьших квадратов.
19. Коэффициенты чувствительности измеряемых величин к изменению параметров обратной задачи. Система уравнений для вычисления коэффициентов чувствительности. Объем вычислений.
20. Идея методов, основанных на решении сопряженной системы уравнений (для систем линейных уравнений). Объем вычислений.
21. Классическая (непрерывная) задача оптимального управления: Гамильтониан, принцип максимума Понтрягина, сопряженная задача.
22. Применение принципа максимума Понтрягина к конечно-разностной форме уравнений прямой задачи. Сопряженная система уравнений, условия трансверсальности, вычисление градиента критерия.

## **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. Закиров Э.С. Трехмерные многофазные задачи прогнозирования, анализа и регулирования разработки месторождений нефти и газа. – Изд. Грааль, 2001. – 303 с.
3. Баренблатт Г.И., Ентов В.М., Рыжик В.М. Движение жидкостей и газов в природных пластах. – М.: Недра, 1984. – 208 с.

### **б) дополнительная литература:**

1. Азиз Х, Сеттари Э. Математическое моделирование пластовых систем. – Москва, Институт компьютерных исследований, 2004. – 408 с.
2. Шагиев Р.Г. Исследование скважин по КВД. – М.: Наука, 1998. – 304 с.
3. R.C. Earllounger, Advances in well test Analysis. SPE, TX. 2003 перевод с англ.



4. Ramirez F.W. Application of optimal control theory to enhanced oil recovery. – Elsevier, 1987. – 243 p.
5. Ertekin T., Abou-Kassem J.H., King G.R. Basic applied reservoir simulation. – Soc. Petr. Eng., Richardson, Texas, 2001. – 406 p.
6. Kamal M.M. (editor). Transient well testing. – SPE Monograph Vol. 23, Henry L. Doherty Series, Society of Petroleum Engineers, Richardson, Texas, USA. – 849 p.

**в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:**

Математические пакеты (типа MatLab, MAPLE, Mathematica), пакеты численного моделирования фильтрации и решения задач идентификации (типа Schlumberger Eclipse, CMG Imex, Roxar Tempest, RFD tNavigator, SimMatch - ИПНГ РАН), пакеты интерпретации ГДИ (типа Гидратест, Pansystem, Welltest, KAPPA Sapphire), 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 "Обратные задачи в разработке месторождений нефти и газа" образовательной программы по направленности подготовки "Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений" вносятся следующие дополнения и изменения: