

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное учреждение
высшего профессионального образования
"Казанский (Приволжский) федеральный университет"
Институт математики и механики им. Н.И. Лобачевского



подписано электронно-цифровой подписью

Программа дисциплины

Математическое моделирование разработки нефтяных месторождений М2.ДВ.6

Направление подготовки: 010800.68 - Механика и математическое моделирование

Профиль подготовки: Механика жидкости, газа и плазмы

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Автор(ы):

Мазо А.Б.

Рецензент(ы):

-

СОГЛАСОВАНО:

Заведующий(ая) кафедрой: Егоров А. Г.

Протокол заседания кафедры No ____ от " ____ " _____ 201__ г

Учебно-методическая комиссия Института математики и механики им. Н.И. Лобачевского :

Протокол заседания УМК No ____ от " ____ " _____ 201__ г

Регистрационный No 817223614

Казань

2014

Содержание

1. Цели освоения дисциплины
2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы
3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля
4. Структура и содержание дисциплины/ модуля
5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения
6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов
7. Литература
8. Интернет-ресурсы
9. Материально-техническое обеспечение дисциплины/модуля согласно утвержденному учебному плану

Программу дисциплины разработал(а)(и) профессор, д.н. (доцент) Мазо А.Б. Кафедра аэрогидромеханики отделение механики, Alexander.Mazo@kpfu.ru

1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины "Математическое моделирование разработки нефтяных месторождений" (ММРНМ) являются: изучение основных математических моделей двух-фазной фильтрации, описывающих процессы вытеснения нефти водой в залежах, вскрытых системой нагнетательных и эксплуатационных скважин; освоение методов численного решения соответствующих систем уравнений; ознакомление с методами адаптации математических и численных моделей по кривым восстановления давления и истории разработки месторождения.

В рамках курса изучаются как общие трехмерные уравнения двухфазной фильтрации, так и наиболее распространенные упрощенные двумерные и одномерные модели, которые получаются из общих осреднением и/или в предположении симметрии течения. Особое внимание в курсе ММРНМ уделяется численным методам решения задач, включая методы конечных разностей, конечных объемов и конечных элементов.

Лекционный курс сопровождается лабораторными и самостоятельными занятиями, где студенты обязаны программно реализовать все изучаемые методы, решить с их помощью предложенные преподавателем задачи фильтрации. Это способствует закреплению полученных теоретических знаний и приемов программирования.

2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы высшего профессионального образования

Данная учебная дисциплина включена в раздел "М2.ДВ.6 Профессиональный" основной образовательной программы 010800.68 Механика и математическое моделирование и относится к дисциплинам по выбору. Осваивается на 2 курсе, 3, 4 семестры.

Дисциплина входит в специальную часть профессионального цикла. Для ее освоения нужны знания из специальных курсов "Теория фильтрации", "Вычислительная гидродинамика", "Методы решения сеточных уравнений", а также умение программировать. Получаемые знания, умения и навыки используются при выполнении магистерских диссертаций по направлению "механика и математическое моделирование".

3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ОК-6 (общекультурные компетенции)	способностью работать самостоятельно, заботой о качестве, стремлением к успеху
ПК-14 (профессиональные компетенции)	владением методами физического и математического моделирования при анализе глобальных проблем на основе глубоких знаний фундаментальных физико-математических дисциплин, теории эксперимента и компьютерных наук
ПК-2 (профессиональные компетенции)	владением методами математического и алгоритмического моделирования при анализе проблем техники и естествознания
ПК-3 (профессиональные компетенции)	способностью к интенсивной научно-исследовательской и научно-изыскательской деятельности

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ПК-4 (профессиональные компетенции)	способностью создавать и исследовать новые математические модели реальных тел и конструкций
ПК-5 (профессиональные компетенции)	глубоким пониманием теории эксперимента
ПК-6 (профессиональные компетенции)	способностью к нахождению из определяющих экспериментов материальных функций (функционалов, постоянных) в моделях реальных тел и сред
ПК-7 (профессиональные компетенции)	способностью к самостоятельному анализу физических аспектов в классических постановках математических задач и задач механики

В результате освоения дисциплины студент:

4. должен демонстрировать способность и готовность:

Понимать основы технологии добычи нефти с помощью заводнения.

Иметь представление о подходах к моделированию разработки нефтяных месторождений.

Знать основные уравнения двухфазной фильтрации.

Овладеть численными методами решения уравнений для давления и водонасыщенности, включая методы конечных разностей, конечных объемов и конечных элементов.

4. должен демонстрировать способность и готовность:

Понимать основы технологии добычи нефти с помощью заводнения.

Иметь представление о подходах к моделированию разработки нефтяных месторождений.

Знать основные уравнения двухфазной фильтрации.

Овладеть численными методами решения уравнений для давления и водонасыщенности, включая методы конечных разностей, конечных объемов и конечных элементов.

4. должен демонстрировать способность и готовность:

Понимать основы технологии добычи нефти с помощью заводнения.

Иметь представление о подходах к моделированию разработки нефтяных месторождений.

Знать основные уравнения двухфазной фильтрации.

Овладеть численными методами решения уравнений для давления и водонасыщенности, включая методы конечных разностей, конечных объемов и конечных элементов.

4. Структура и содержание дисциплины/ модуля

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных(ые) единиц(ы) 108 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины отсутствует в 3 семестре; зачет в 4 семестре.

Суммарно по дисциплине можно получить 100 баллов, из них текущая работа оценивается в 50 баллов, итоговая форма контроля - в 50 баллов. Минимальное количество для допуска к зачету 28 баллов.

86 баллов и более - "отлично" (отл.);

71-85 баллов - "хорошо" (хор.);

55-70 баллов - "удовлетворительно" (удов.);

54 балла и менее - "неудовлетворительно" (неуд.).

4.1 Структура и содержание аудиторной работы по дисциплине/ модулю

Тематический план дисциплины/модуля

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
1.	Тема 1. Добыча нефти из пласта с применением заводнения. Теоретические основы моделирования разработки нефтяных месторождений.	3	1-2	2	4	0	устный опрос
2.	Тема 2. Моделирование работы вертикальных и горизонтальных скважин. Постановка краевых задач моделирования разработки нефтяных месторождений.	3	3-6	2	4	0	устный опрос
3.	Тема 3. Осреднение и симметрия. Упрощенные модели РНМ. Взаимодействие водонефтяных пластов с замкнутыми резервуарами (линзами).	3	7-10	2	4	0	устный опрос
4.	Тема 4. Численные методы конечных разностей и конечных объемов в задачах ММРНМ.	3	11-16	4	4	0	контрольная работа
5.	Тема 5. Метод конечных элементов для расчета давления на неструктурированных сетках. Реализация схемы "upwind" на неструктурированных сетках для расчета насыщенности.	4	1-4	2	4	0	устный опрос

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
6.	Тема 6. Метод суперэлементов для решения двумерных и трехмерных задач фильтрации на произвольных сетках.	4	5-10	4	4	0	контрольная работа
7.	Тема 7. Адаптация фильтрационной модели. Обратные задачи. Воспроизведение истории разработки, адаптация и прогноз.	4	11-14	2	4	0	устный опрос
	Тема . Итоговая форма контроля	4		0	0	0	зачет
	Итого			18	28	0	

4.2 Содержание дисциплины

Тема 1. Добыча нефти из пласта с применением заводнения. Теоретические основы моделирования разработки нефтяных месторождений.

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Геологическая структура нефтяного пласта. Пористость, проницаемость, насыщенность, сжимаемость, скорость фильтрации. Вертикальные и горизонтальные скважины. Перфорация, дебит, забойное давление. Основные уравнения двухфазной фильтрации. Относительные фазовые проницаемости. Уравнения неразрывности. Закон Дарси. Функция Баклея-Леверетта. Уравнения для водонасыщенности и давления.

практическое занятие (4 часа(ов)):

Запись уравнений неразрывности двухфазного флюида в пористой среде. Обобщенный закон Дарси, скорости фильтрации фаз и суммарного потока. Относительные фазовые проницаемости, гидропроводность и функция Баклея-Леверетта. Вывод уравнений для водонасыщенности и давления.

Тема 2. Моделирование работы вертикальных и горизонтальных скважин. Постановка краевых задач моделирования разработки нефтяных месторождений.

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Моделирование вертикальных и горизонтальных скважин. Учет потери давления в длинных горизонтальных скважинах. Распределение дебита вдоль ствола скважины. Начальные и граничные условия. Постановка краевых задач моделирования разработки нефтяных месторождений.

практическое занятие (4 часа(ов)):

Моделирование работы вертикальных и горизонтальных скважин в режиме заданного забойного давления и заданного суммарного дебита. Решение задачи о падении давления вдоль ствола длинной скважины. Формулировка задачи с нелокальными граничными условиями о распределении дебита вдоль ствола несовершенной скважины. Постановка краевых задач двухфазной фильтрации в неоднородном нефтяном пласте, вскрытом системой скважин.

Тема 3. Осреднение и симметрия. Упрощенные модели РНМ. Взаимодействие водонефтяных пластов с замкнутыми резервуарами (линзами).

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Осреднение по толщине пласта или пачки. Радиальная симметрия течения в окрестности вертикальной скважины. Упрощенные RZ, RX и XY модели фильтрации. Двухфазная фильтрация в пластах со слабопроницаемой подошвой. Гидродинамическое взаимодействие водонефтяных пластов с замкнутыми резервуарами (линзами). Двумерные и одномерные модели.

практическое занятие (4 часа(ов)):

Вывод осредненных по толщине пласта уравнений фильтрации (XY-модель). Запись упрощенных уравнений с учетом радиальной или плоско-параллельной симметрии течения (RZ и RX-модели). Запись граничных условий, моделирующих гидродинамическое взаимодействие водонефтяных пластов с замкнутыми резервуарами (линзами) и подстилающими водоносными горизонтами. Численное решение простейших одномерных задач.

Тема 4. Численные методы конечных разностей и конечных объемов в задачах ММРМ.

лекционное занятие (4 часа(ов)):

Численные методы в задачах ММРМ. Метод конечных разностей (МКР) и конечных объемов (МКО) для решения уравнений для давления и насыщенности. Мультипликативное выделение особенности давления в окрестности скважин при расчетах на грубых сетках. TVD-схемы для устранения численной диссипации на фронте насыщенности. Уточнение решения за счет использования локальной сетки высокого разрешения.

практическое занятие (4 часа(ов)):

Построение сеточных схем МКР и МКО для численного решения модельных задач ММРМ.

Тема 5. Метод конечных элементов для расчета давления на неструктурированных сетках. Реализация схемы "upwind" на неструктурированных сетках для расчета насыщенности.

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Метод конечных элементов для расчета давления и скорости фильтрации на неструктурированных сетках. Численная схема расщепления по физическим процессам. Реализация схемы "upwind" и коррекции потока на неструктурированных сетках для расчета водонасыщенности.

практическое занятие (4 часа(ов)):

Метод конечных элементов (МКЭ) для расчета давления и скорости фильтрации на неструктурированных треугольных сетках. Интегральное тождество, определение матриц масс и жесткости. Решение модельной задачи пьезопроводности. Реализация явной противопотоковой схемы для расчета водонасыщенности на неструктурированной МКЭ-сетке.

Тема 6. Метод суперэлементов для решения двумерных и трехмерных задач фильтрации на произвольных сетках.

лекционное занятие (4 часа(ов)):

Метод суперэлементов для расчета средних полей при двухфазной фильтрации на грубых неструктурированных сетках. Апскейлинг абсолютной проницаемости. Апскейлинг относительных фазовых проницаемостей. Оценки точности осредненного решения. Уточнение решения на локальных сетках высокого разрешения.

практическое занятие (4 часа(ов)):

Вывод уравнений метода суперэлементов для расчета средних полей при двухфазной фильтрации на грубых неструктурированных сетках. Различные варианты постановки задачи апскейлинга абсолютной проницаемости коллектора. Постановка задачи о параметрах функций относительных фазовых проницаемостей при расчетах на суперэлементах.

Тема 7. Адаптация фильтрационной модели. Обратные задачи. Воспроизведение истории разработки, адаптация и прогноз.

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Адаптация фильтрационной модели. Обратные задачи. Методы определения фильтрационных свойств пласта по КВД. Коррекция упругоэластичности, абсолютной проницаемости, эффективного радиуса скважины. Адаптация модели по истории разработки залежи, прогноз показателей нефтедобычи.

практическое занятие (4 часа(ов)):

Формулировка обратных коэффициентных задач при адаптации фильтрационной модели. Решение простейших одномерных задач адаптации.

4.3 Структура и содержание самостоятельной работы дисциплины (модуля)

N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
1.	Тема 1. Добыча нефти из пласта с применением заводнения. Теоретические основы моделирования разработки нефтяных месторождений.	3	1-2	подготовка к устному опросу	2	устный опрос
2.	Тема 2. Моделирование работы вертикальных и горизонтальных скважин. Постановка краевых задач моделирования разработки нефтяных месторождений.	3	3-6	подготовка к устному опросу	2	устный опрос
3.	Тема 3. Осреднение и симметрия. Упрощенные модели РНМ. Взаимодействие водонефтяных пластов с замкнутыми резервуарами (линзами).	3	7-10	подготовка к устному опросу	2	устный опрос
4.	Тема 4. Численные методы конечных разностей и конечных объемов в задачах ММРНМ.	3	11-16	подготовка к контрольной работе	4	контрольная работа
5.	Тема 5. Метод конечных элементов для расчета давления на неструктурированных сетках. Реализация схемы "upwind" на неструктурированных сетках для расчета насыщенности.	4	1-4	подготовка к устному опросу	18	устный опрос

N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
6.	Тема 6. Метод суперэлементов для решения двумерных и трехмерных задач фильтрации на произвольных сетках.	4	5-10	подготовка к контрольной работе	20	контрольная работа
7.	Тема 7. Адаптация фильтрационной модели. Обратные задачи. Воспроизведение истории разработки, адаптация и прогноз.	4	11-14	подготовка к устному опросу	14	устный опрос
	Итого				62	

5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения

лекции с применением средств мультимедиа, самостоятельная работа (программирование) с использованием учебного пособия по курсу ММРМ, лабораторные занятия, контрольные работы, зачет. В течение семестра студенты решают набор модельных задач подземной гидромеханики, указанных преподавателем, к каждому лабораторному занятию. В каждом семестре проводятся контрольные работы (на лабораторных занятиях). К зачету допускаются студенты, сдавшие все задачи и показавшие положительные результаты по текущей работе в течение семестра.

6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов

Тема 1. Добыча нефти из пласта с применением заводнения. Теоретические основы моделирования разработки нефтяных месторождений.

устный опрос , примерные вопросы:

Как добывают нефть из пласта с применением заводнения? Дайте определение основных свойств пористого коллектора. Что такое гидропроводность, доля воды в потоке, относительные фазовые проницаемости? Какова структура уравнений пьезопроводности и напущенности? Как они выводятся? Записать закон Дарси для однофазной и двухфазной фильтрации. Что такое тензор проницаемости?

Тема 2. Моделирование работы вертикальных и горизонтальных скважин. Постановка краевых задач моделирования разработки нефтяных месторождений.

устный опрос , примерные вопросы:

Записать граничные условия на несовершенной скважине. В чем различие математического описания нагнетательной и добывающей скважины? Как ставится задача о распределении дебита вдоль ствола скважины? Как учитывается особенность поведения давления в окрестности скважины?

Тема 3. Осреднение и симметрия. Упрощенные модели РМ. Взаимодействие водонефтяных пластов с замкнутыми резервуарами (линзами).

устный опрос , примерные вопросы:

Какие допущения принимаются при осреднении уравнений фильтрации по z ? Какова структура осредненных уравнений? Как моделируются скважины с помощью дельта-функции Дирака в XY-модели? Запишите систему уравнений RZ- и XY-моделях фильтрации. Как моделируется взаимодействие водонефтяных пластов с замкнутыми резервуарами (линзами)? Запишите граничное условие гидродинамического контакта основного коллектора с подстилающим водоносным горизонтом.

Тема 4. Численные методы конечных разностей и конечных объемов в задачах ММРМ.

контрольная работа , примерные вопросы:

Темы контрольной работы. Построение конечно-разностных схем для уравнений давления и насыщенности. Построение конечно-объемных сеток и сеточных схем в фильтрационной модели.

Тема 5. Метод конечных элементов для расчета давления на неструктурированных сетках. Реализация схемы "upwind" на неструктурированных сетках для расчета насыщенности.

устный опрос , примерные вопросы:

Записать интегральное тождество, определяющее обобщенное решение задачи пьезопроводности. Как определяются матрицы масс и жесткости метода конечных элементов для расчета давления на неструктурированных треугольных сетках? Как вычисляются скорости фильтрации на треугольных сетках? Как реализуется явная схема "upwind" для расчета насыщенности на неструктурированных сетках?

Тема 6. Метод суперэлементов для решения двумерных и трехмерных задач фильтрации на произвольных сетках.

контрольная работа , примерные вопросы:

Сетка суперэлементов (СЭ). Постановка задач апскейлинга для СЭ. Структура данных и сборка уравнений в методе СЭ. Реализация схемы "upwind" и TVD при решении уравнения переноса насыщенности на неструктурированной сетку СЭ.

Тема 7. Адаптация фильтрационной модели. Обратные задачи. Воспроизведение истории разработки, адаптация и прогноз.

устный опрос , примерные вопросы:

Назовите этапы адаптации фильтрационной модели. Какие задачи решаются на этапе воспроизведения истории разработки? Как ставятся обратные коэффициентные задачи? Что такое адаптация по кривым восстановления давления (КВД)? Чем отличается "модель КВД" от модели "глобальной динамики"? Как выполняется прогноз разработки в рамках фильтрационной модели?

Тема . Итоговая форма контроля

Примерные вопросы к зачету:

Проверка теоретических знаний и практических навыков осуществляется по 100-балльной рейтинговой системе, принятой к КФУ. 50 баллов отводится для оценки текущей успеваемости, 50 - для оценки на зачете. Проводятся две контрольные работы в конце каждого семестра; на лабораторных работах проверяются и зачитываются компьютерные программы, составленные каждым студентом и реализующие все МРСУ.

Зачет принимается в конце семестра А; зачет ставится, если сумма баллов текущей успеваемости и оценки на зачете превышает 51.

ВОПРОСЫ К ЗАЧЕТУ

1. Добыча нефти из пласта с применением заводнения. Схема.
2. Основные свойства коллектора: пористость, проницаемость, насыщенность, гидропроводность, доля воды в потоке, относительные фазовые проницаемости.
3. Структура уравнений пьезопроводности и водонасыщенности. Вывод уравнений двухфазной фильтрации.
4. Закон Дарси для однофазной и двухфазной фильтрации. Тензор проницаемости. Апскейлинг абсолютной проницаемости.

5. Апскейлинг относительных фазовых проницаемостей.
6. Граничные условия на совершенной и несовершенной скважине. Различие математического описания нагнетательной и добывающей скважины.
7. Моделирование горизонтальных скважин и боковых стволов.
8. Задача о распределении дебита вдоль ствола скважины. Нелокальные граничные условия.
9. Учёт логарифмической особенности поведения давления в окрестности скважины при расчетах на грубой сетке.
10. Осреднение уравнений фильтрации по тощине пласта. Моделирование скважин с помощью дельта-функции Дирака в XY-модели.
11. Система уравнений секторной RZ-модели фильтрации.
12. Построение конечно-разностных схем для уравнений давления и насыщенности.
13. Построение конечно-объемных сеток и сеточных схем в фильтрационной модели.
14. Метод конечных элементов для расчета давления на неструктурированных сетках. Реализация схемы "upwind" на неструктурированных сетках для расчета насыщенности.
14. Метод суперэлементов для решения двумерных и трехмерных задач фильтрации на произвольных сетках.
15. Адаптация фильтрационной модели. Обратные задачи.
16. Интерпретация результатов гидродинамических исследований на скважинах. КПД, КВД, цикла.
17. Квазирешения обратных задач интерпретации ГДИ скважин.
18. Воспроизведение истории разработки месторождения, адаптация модели и прогноз.

7.1. Основная литература:

Механика сплошной среды, Нигматулин, Роберт Искандерович, 2014г.

1. Марон В. И. Гидравлика двухфазных потоков в трубопроводах. Изд-во "Лань". 2012, 256 с.
http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=3189
2. Высоцкий Л.И., Коперник Г.Р., Высоцкий И.С. Математическое и физическое моделирование потенциальных течений жидкости. Изд-во "Лань". 2014, 64 с.
http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=44842

7.2. Дополнительная литература:

1. Новиков И.И. Термодинамика. Изд-во "Лань". 2009, 592 с.
http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=286
2. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа: учебник. - Издание 7-е, исправленное. - Москва: Дрофа, 2003. - 840 с.
3. Роуч, П. Дж. Вычислительная гидродинамика / Пер. с англ. В. А. Гущина, В. Я. Митницкого; Под ред. П. И. Чушкина / П. Дж. Роуч. - М.: Мир, 1980. - 616 с.

7.3. Интернет-ресурсы:

- Георесурсы. - Научно-технический журнал - <http://www.georesources.ksu.ru>
- Каневская Р.Д. Математическое моделирование разработки месторождений нефти и газа с применением гидравлического разрыва пласта -
http://eknigi.org/estestvennye_nauki/164150-matematicheskoe-modelirovanie-razrabotki.html
- Моделирование нефтяных и газовых месторождений -
http://www.twirpx.com/files/geologic/mmethods/oil_gas/
- Научная электронная библиотека - <http://elibrary.ru/>

Нефть.Газ.Новации. - Научно-технический журнал - <http://www.neft-gaz-novacii.ru>

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины(модуля)

Освоение дисциплины "Математическое моделирование разработки нефтяных месторождений" предполагает использование следующего материально-технического обеспечения:

учебные аудитории для проведения лекционных и семинарских занятий, компьютерный класс с набором базового программного обеспечения разработчика - системы программирования на языках C++ и Delphi с возможностью много-пользовательской работы и централизованного администрирования.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО и учебным планом по направлению 010800.68 "Механика и математическое моделирование" и магистерской программе Механика жидкости, газа и плазмы .

Автор(ы):

Мазо А.Б. _____

"__" _____ 201__ г.

Рецензент(ы):

"__" _____ 201__ г.