

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



**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор  
по образовательной деятельности КФУ  
Проф. Минзарипов Р.Г.

\_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**Программа дисциплины**  
Подземная гидромеханика БЗ.ДВ.2

Направление подготовки: 010800.62 - Механика и математическое моделирование

Профиль подготовки: Общий профиль

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

**Автор(ы):**

Егоров А.Г.

**Рецензент(ы):**

Коноплев Ю.Г.

**СОГЛАСОВАНО:**

Заведующий(ая) кафедрой:

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

Казань  
2013

## 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) заведующий кафедрой, д.н. (с.н.с.) Егоров А.Г.  
Кафедра аэрогидромеханики отделение механики , Andrey.egorov@kpfu.ru

### **1. Цели освоения дисциплины**

Целями освоения дисциплины "Подземная гидромеханика" (ПГ) являются:  
изучение и практическое освоение основных этапов математического моделирования гидродинамических процессов в пористых средах, включая физическую постановку задачи, выбор математической модели и формулировку начально-краевой задачи, построение сеточной модели области, выбор или разработка сеточных аппроксимаций. Основное внимание уделено вопросам подземной гидромеханики нефтяного пласта. Обсуждаются решения фундаментальных задач нефтепромыслового характера.

. Лекционный курс сопровождается лабораторными и самостоятельными занятиями, где студенты обязаны решить набор задач ПГ, закрепить полученные теоретические навыки и приемы программирования.

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

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

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

В результате освоения дисциплины студент:

1. должен знать:

предмет и задачи ПГ, основные этапы моделирования физико-механических процессов в пористых средах.

2. должен уметь:

в краевых задачах ПГ и численно-аналитических методах их решения.

3. должен владеть:

теоретическими знаниями о методах качественного исследования задач ПГ.

Приобрести навыки постановок, выбора моделей, методов решений, расчетов, анализов, выводов

### **4. Структура и содержание дисциплины/ модуля**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных(ые) единиц(ы) 180 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины зачет в 7 семестре; зачет в 8 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. Основные характеристики пористых сред. Уравнения однофазной фильтрации. Элементарный представительный объем. Пористость, проницаемость. Закон Дарси. Границы его применимости и обобщения. Закон Форхгеймера. Формула Козени Влияние давления на характеристики пористой среды и жидкости. Сжимаемость жидкостей и газов. Эффективные напряжения. Основные уравнения фильтрационной консолидации. Идеализация глубокозалегающего тонкого пласта. Уравнение пьезопроводности	7	1-3	0	0	0	

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
2.	Тема 2. Простейшие установившиеся напорные течения. Уравнение стационарной фильтрации жидкости и газа. Постановка граничных условий на границах месторождения и на вертикальных скважинах. Плоские задачи фильтрации. Использование методов ТФКП для расчета плоских установившихся течений. Плоскопараллельный поток. Течение к скважине. Формула Дюпюи. Совершенные и несовершенные скважины. Приток к галерее скважин.	7	4-7	0	0	0	

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
3.	Тема 3. Качественные методы теории напорных течений. Обобщенная трубка тока. Вариационный принцип для давления. Преобразование Юнга-Фейнхеля и двойственные вариационные принципы. Вариационный принцип для скоростей фильтрации. Использование двойственных вариационных принципов для получения двусторонних оценок расходных характеристик обобщенной трубки тока. Оценка эффективной проницаемости неоднородной среды. Вариационные принципы для нелинейных законов фильтрации. Принцип вдавливания, принцип сравнения областей..	7	8-10	0	0	0	

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
4.	Тема 4. Нестационарное движение однородной сжимаемой жидкости. Постановка основных задач. Плоскопараллельное движение. Плоскорадиальное движение. Определение параметров пласта по результатам пьезометрических испытаний скважины. Метод интегральных соотношений. Основные уравнения фильтрации газа. Пологие безнапорные течения. Уравнения Буссинеска. Постановка основных задач фильтрации газа и безнапорной фильтрации	7	11-18	0	0	0	
5.	Тема 5. Автомодельные задачи теории фильтрации. Методы построения автомодельных решений: анализ размерностей, инвариантность относительно группы преобразований. Автомодельные пологие безнапорные движения при нулевом начальном уровне жидкости. Предельные автомодельные решения. Задача о закачке или отборе газа через скважину. Линеаризация Лейбензона.	8	1-3	0	0	0	

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. Фильтрация в трещиновато-пористых и слоисто-неоднородных пластах. Физические основы модели. Неравновесность распределения давления. Модель Баренблатта фильтрации жидкости в трещиновато-пористом пласте. Особенности постановки задач для модели Баренблатта. Динамические процессы в окрестности скважины. Особенности фильтрационных течений в слоистых пластах.	8	4-6	0	0	0	
7.	Тема 7. Процессы тепло- и массопереноса в пористой среде. Эффекты сорбции и дисперсии. Изотермы сорбции. Коэффициенты дисперсивности. Уравнения тепло-массопереноса и массопереноса с учетом сорбции. Крупномасштабное приближение. Модельные задачи массопереноса от точечного источника при наличии линейной и нелинейной сорбции. Учет гистерезиса в законе сорбции	8	7-9	0	0	0	



N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
8.	Тема 8. Основные понятия многофазной фильтрации. Примеры совместного нахождения несмешивающихся флюидов в пористой среде. Распределение фаз. Понятие фазовой насыщенности и капиллярного давления. Капиллярное равновесие в пористой среде. Гистерезис капиллярного давления. Обобщенный закон Дарси для двухфазной фильтрации. Функция Леверетта. ОФП. Уравнения двухфазной фильтрации. Среднее давление для несжимаемых жидкостей.	8	10-12	0	0	0	
9.	Тема 9. Задача Баклея-Леверетта. Крупномасштабное описание. Определение изосаты. Скачок насыщенности. Распространение скачка насыщенности. Геометрическая интерпретация. Определение фронтальной насыщенности и средней насыщенности в безводный период. Расчет насыщенности после прорыва воды.	8	12-14	0	0	0	

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
10.	Тема 10. Структура течения при мелкомасштабном описании. Стабилизированная зона. Граничные условия и концевые эффекты при мелкомасштабном описании. Капиллярная пропитка.	8	14-16	0	0	0	
	Тема . Итоговая форма контроля	7		0	0	0	зачет
	Тема . Итоговая форма контроля	8		0	0	0	зачет
	Итого			0	0	0	

#### 4.2 Содержание дисциплины

**Тема 1. Основные характеристики пористых сред. Уравнения однофазной фильтрации. Элементарный представительный объем. Пористость, проницаемость. Закон Дарси. Границы его применимости и обобщения. Закон Форхгеймера. Формула Козени**  
**Влияние давления на характеристики пористой среды и жидкости. Сжимаемость жидкостей и газов. Эффективные напряжения. Основные уравнения фильтрационной консолидации. Идеализация глубокозалегающего тонкого пласта. Уравнение пьезопроводности**

**Тема 2. Простейшие установившиеся напорные течения. Уравнение стационарной фильтрации жидкости и газа. Постановка граничных условий на границах месторождения и на вертикальных скважинах. Плоские задачи фильтрации. Использование методов ТФКП для расчета плоских установившихся течений. Плоскопараллельный поток. Течение к скважине. Формула Дюпюи. Совершенные и несовершенные скважины. Приток к галерее скважин.**

**Тема 3. Качественные методы теории напорных течений. Обобщенная трубка тока. Вариационный принцип для давления. Преобразование Юнга-Фейнхеля и двойственные вариационные принципы. Вариационный принцип для скоростей фильтрации. Использование двойственных вариационных принципов для получения двусторонних оценок расходных характеристик обобщенной трубки тока. Оценка эффективной проницаемости неоднородной среды. Вариационные принципы для нелинейных законов фильтрации. Принцип вдавливания, принцип сравнения областей..**

**Тема 4. Нестационарное движение однородной сжимаемой жидкости. Постановка основных задач. Плоскопараллельное движение. Плоскорадиальное движение. Определение параметров пласта по результатам пьезометрических испытаний скважины. Метод интегральных соотношений. Основные уравнения фильтрации газа. Пологие безнапорные течения. Уравнения Буссинеска. Постановка основных задач фильтрации газа и безнапорной фильтрации**

**Тема 5. Автомодельные задачи теории фильтрации. Методы построения автомодельных решений: анализ размерностей, инвариантность относительно группы преобразований. Автомодельные пологие безнапорные движения при нулевом начальном уровне жидкости. Предельные автомодельные решения. Задача о закачке или отборе газа через скважину. Линеаризация Лейбензона.**

**Тема 6. Фильтрация в трещиновато-пористых и слоисто-неоднородных пластах. Физические основы модели. Неравновесность распределения давления. Модель Баренблатта фильтрации жидкости в трещиновато-пористом пласте. Особенности постановки задач для модели Баренблатта. Динамические процессы в окрестности скважины. Особенности фильтрационных течений в слоистых пластах.**

**Тема 7. Процессы тепло- и массопереноса в пористой среде. Эффекты сорбции и дисперсии. Изотермы сорбции. Коэффициенты дисперсивности. Уравнения тепло-массопереноса и массопереноса с учетом сорбции. Крупномасштабное приближение. Модельные задачи массопереноса от точечного источника при наличии линейной и нелинейной сорбции. Учет гистерезиса в законе сорбции**

**Тема 8. Основные понятия многофазной фильтрации. Примеры совместного нахождения несмешивающихся флюидов в пористой среде. Распределение фаз. Понятие фазовой насыщенности и капиллярного давления. Капиллярное равновесие в пористой среде. Гистерезис капиллярного давления. Обобщенный закон Дарси для двухфазной фильтрации. Функция Леверетта. ОФП. Уравнения двухфазной фильтрации. Среднее давление для несжимаемых жидкостей.**

**Тема 9. Задача Баклея-Леверетта. Крупномасштабное описание. Определение изосаты. Скачок насыщенности. Распространение скачка насыщенности. Геометрическая интерпретация. Определение фронтальной насыщенности и средней насыщенности в безводный период. Расчет насыщенности после прорыва воды.**

**Тема 10. Структура течения при мелкомасштабном описании. Стабилизированная зона. Граничные условия и концевые эффекты при мелкомасштабном описании. Капиллярная пропитка.**

## **5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения**

лекции с применением средств мультимедиа, самостоятельная работа (программирование), практические занятия, контрольные работы, зачет. В течение семестра студенты решают набор задач ПГ, указанных преподавателем, к каждому практическому занятию. В каждом семестре проводятся контрольные. К зачетам 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. Основные характеристики пористых сред. Уравнения однофазной фильтрации. Элементарный представительный объем. Пористость, проницаемость. Закон Дарси. Границы его применимости и обобщения. Закон Форхгеймера. Формула Козени. Влияние давления на характеристики пористой среды и жидкости. Сжимаемость жидкостей и газов. Эффективные напряжения. Основные уравнения фильтрационной консолидации. Идеализация глубокозалегающего тонкого пласта. Уравнение пьезопроводности**

**Тема 2. Простейшие установившиеся напорные течения. Уравнение стационарной фильтрации жидкости и газа. Постановка граничных условий на границах месторождения и на вертикальных скважинах. Плоские задачи фильтрации. Использование методов ТФКП для расчета плоских установившихся течений. Плоскопараллельный поток. Течение к скважине. Формула Дюпюи. Совершенные и несовершенные скважины. Приток к галерее скважин.**

**Тема 3. Качественные методы теории напорных течений. Обобщенная трубка тока. Вариационный принцип для давления. Преобразование Юнга-Фейнхеля и двойственные вариационные принципы. Вариационный принцип для скоростей фильтрации. Использование двойственных вариационных принципов для получения двусторонних оценок расходных характеристик обобщенной трубки тока. Оценка эффективной проницаемости неоднородной среды. Вариационные принципы для нелинейных законов фильтрации. Принцип вдавливания, принцип сравнения областей..**

**Тема 4. Нестационарное движение однородной сжимаемой жидкости. Постановка основных задач. Плоскопараллельное движение. Плоскорадиальное движение. Определение параметров пласта по результатам пьезометрических испытаний скважины. Метод интегральных соотношений. Основные уравнения фильтрации газа. Пологие безнапорные течения. Уравнения Буссинеска. Постановка основных задач фильтрации газа и безнапорной фильтрации**

**Тема 5. Автомодельные задачи теории фильтрации. Методы построения автомодельных решений: анализ размерностей, инвариантность относительно группы преобразований. Автомодельные пологие безнапорные движения при нулевом начальном уровне жидкости. Предельные автомодельные решения. Задача о закачке или отборе газа через скважину. Линеаризация Лейбензона.**

**Тема 6. Фильтрация в трещиновато-пористых и слоисто-неоднородных пластах. Физические основы модели. Неравновесность распределения давления. Модель Баренблатта фильтрации жидкости в трещиновато-пористом пласте. Особенности постановки задач для модели Баренблатта. Динамические процессы в окрестности скважины. Особенности фильтрационных течений в слоистых пластах.**

**Тема 7. Процессы тепло- и массопереноса в пористой среде. Эффекты сорбции и дисперсии. Изотермы сорбции. Коэффициенты дисперсивности. Уравнения тепло-массопереноса и массопереноса с учетом сорбции. Крупномасштабное приближение. Модельные задачи массопереноса от точечного источника при наличии линейной и нелинейной сорбции. Учет гистерезиса в законе сорбции**

**Тема 8. Основные понятия многофазной фильтрации. Примеры совместного нахождения несмешивающихся флюидов в пористой среде. Распределение фаз. Понятие фазовой насыщенности и капиллярного давления. Капиллярное равновесие в пористой среде. Гистерезис капиллярного давления. Обобщенный закон Дарси для двухфазной фильтрации. Функция Леверетта. ОФП. Уравнения двухфазной фильтрации. Среднее давление для несжимаемых жидкостей.**

**Тема 9. Задача Баклея-Леверетта. Крупномасштабное описание. Определение изосаты. Скачок насыщенности. Распространение скачка насыщенности. Геометрическая интерпретация. Определение фронтальной насыщенности и средней насыщенности в безводный период. Расчет насыщенности после прорыва воды.**

**Тема 10. Структура течения при мелкомасштабном описании. Стабилизированная зона. Граничные условия и концевые эффекты при мелкомасштабном описании. Капиллярная пропитка.**

**Тема . Итоговая форма контроля**

**Тема . Итоговая форма контроля**

Примерные вопросы к зачету:

Проверка теоретических знаний и практических навыков осуществляется по 100-балльной рейтинговой системе, принятой к КФУ.

### **7.1. Основная литература:**

1. Баренблатт Г.И., Ентов В.М., Рыжик В.М. Движение жидкостей и газов в природных пластах. М., "Недра", 1984, 211 с.
2. Коллинз Р. Течение жидкостей через пористые материалы. М.: Мир, 1964. - 351 с.
3. Подземная гидромеханика. К.С.♦Басниев, И.Н.♦Кочина, В.М.♦Максимов. - М.: Недрa, 1993, 416♦с.

4. Эрлагер Р. Гидродинамические методы исследования скважин. - М.: ИКИ, 2006 г. - 512 с.
5. Хейфец Л.И., Неймарк А.В. Многофазные процессы в пористых средах. М.: Химия, 1982. 320с.

### **7.2. Дополнительная литература:**

1. Булыгин В.Я. Гидромеханика нефтяного пласта. - М.: Недра, 1974. - 232 с.
2. Физика нефтяного и газового пласта. А.Х.♦Мирзаджанзаде, И.М.♦Ахметов, А.Г.♦Ковалев. - М.: Недра, 1992, 272♦с.
3. Дерягин♦Б.В., Чураев♦Н.В., Муллер♦В.М. Поверхностные силы. - М.: Наука, 1985. - 398♦с.
4. Адам♦Н.К. Физика и химия поверхностей. М.: ОГИЗ, 1947. - 632♦с.
5. J.C.Parker, R.J.Lenhard, Experimental Validation of the Theory of Extending Two-Phase Saturation-Pressure Relations to Three-Fluid Phase Systems for Monotonic Drainage Paths / Water Resources Research, V.24, No. 3, P.♦373-380, 1988.
6. Егоров А.Г., Костерин А.В., Скворцов Э.В. Консолидация и акустические волны в насыщенных пористых средах. - Казань: Изд-во Казан ун-та, 1990. - 102 с.

### **7.3. Интернет-ресурсы:**

## **8. Материально-техническое обеспечение дисциплины/модуля согласно утвержденному учебному плану**

Освоение дисциплины "Подземная гидромеханика" предполагает использование следующего материально-технического обеспечения:

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО и учебным планом по направлению 010800.62 "Механика и математическое моделирование" и профилю подготовки Общий профиль .

Автор(ы):

Егоров А.Г. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.

Рецензент(ы):

Коноплев Ю.Г. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.