

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова  
Механико-математический факультет  
Кафедра газовой и волновой динамики



УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
/Нигматулин Р.И./  
«10» июня 2019г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

**Наименование дисциплины (модуля):**

**Компьютерный практикум по специальности**

---

*наименование дисциплины (модуля)*

**Уровень высшего образования:**

**специалитет**

**Направление подготовки (специальность):**

**01.05.01 Фундаментальные математика и механика**

---

*(код и название направления/специальности)*

**Направленность (профиль) ОПОП: В-ПД**

**Фундаментальная механика**

---

*(если дисциплина (модуль) относится к вариативной части программы)*

**Форма обучения:**

**очная**

---

**очная, очно-заочная**

Рабочая программа рассмотрена и одобрена  
на заседании кафедры газовой и волновой динамики  
(протокол №\_15\_, «\_10\_»\_июня\_ \_\_20\_19\_ года)

Москва 2019

***На обратной стороне титула:***

Рабочая программа дисциплины (модуля) разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки / специальности «Фундаментальные математика и механика» (программы бакалавриата, магистратуры, реализуемых последовательно по схеме интегрированной подготовки; программы специалитета; программы магистратуры) в редакции приказа МГУ от 30 декабря 2016 г.

Год (годы) приема на обучение \_\_ 2015 \_\_\_\_\_

1. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО В-ПД относится к базовой части.
2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия (если есть):  
Знать: основные направления, проблемы, теории и методы современной математики и механики, основы механики сплошной среды в рамках программы ВУЗа.  
Уметь: решать стандартные задачи математического анализа, дифференциальные уравнения, применять численные методы для решения стандартных задач.  
Владеть: основными понятиями и теоремами из этих разделов математики, основами языков программирования С и С++, основами работы с вычислительной техникой, навыками работы в операционной системе Windows
3. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с требуемыми компетенциями выпускников.

Компетенции выпускников (коды)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с компетенциями
СПК-1	владение специальными разделами фундаментальной механики, методами анализа и решения задач специализации
СПК-2	способность к проведению самостоятельных научных и прикладных исследований в специальных областях механики
СПК-3	способность к применению знаний специализации в будущей профессиональной деятельности

4. Формат обучения \_стандартный\_

5. Объем дисциплины (модуля) составляет \_\_108\_\_ з.е., в том числе \_\_54\_\_ академических часов, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем, \_\_54\_\_ академических часов на самостоятельную работу обучающихся.

6. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля),  Форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе	
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) Виды контактной работы, часы	Самостоятельная работа обучающегося, часы <i>(виды самостоятельной работы – эссе, реферат, контрольная работа и пр.</i>

					<i>– указываются при необходимости)</i>
		Занятия лекционного типа*	Занятия семинарского типа*	Всего	
1. Основные понятия теории фильтрации: пористая среда, пористость, просветность, скорость фильтрации, проницаемость..	5		3	3	2
2. Закон Дарси. Простейшие модели пористых сред	5		3	3	2
3. Фильтрация смесей нескольких жидкостей, учёт капиллярных эффектов, капиллярное давление, функция Леверетта, влияние типа смачиваемости на процесс вытеснения.	5		3	3	2
4. Неустойчивость, возникающая при вытеснении вязкой жидкости из пористой среды, механизм возникновения неустойчивости, факторы влияющие на развитие неустойчивости.	5		3	3	2
5. Решение задач: прямолинейно-параллельное фильтрационное течение, плоскордиальное фильтрационное течение, поршневое вытеснение.	6		3	3	3
6. Основы численного моделирования фильтрационных процессов, двумерная программа моделирующая вытеснение вязкой жидкости из пористой среды, описание работы с программой.	6		3	3	3

7. Трёхмерная программа, моделирующая вытеснение вязкой жидкости из пористой среды, описание работы с программой.	6		3	3	3
8. Текущий контроль успеваемости (устное собеседование)	6		3	3	3
9. Исследование влияния отношения вязкостей на процесс вытеснения: практическая работа с программой.	6		3	3	3
10. Исследование влияния числа Пекле на процесс вытеснения: практическая работа с программой.	6		3	3	3
11. Исследование влияния выбора граничного условия на процесс вытеснения: практическая работа с программой.	6		3	3	3
12. Исследование зависимости коэффициента извлечения нефти от параметров, контролируемых капиллярные эффекты: практическая работа с программой.	6		3	3	3
13. Эксперименты по вытеснению модели нефти из образца керна на установке ПЛАСТ-АТМ10.	6		3	3	3
14. Численный расчёт процессов вытеснения с параметрами, соответствующими эксперименту.	6		3	3	3
15. Подбор параметров, отвечающих за капиллярные эффекты	6		3	3	3
16. Сравнение результатов с экспериментальными данными: практическая работа с программой	6		3	3	3
17. Обработка результатов эксперимента 1.	6		3	3	3
18. Обработка результатов эксперимента 2	6		3	3	3
Промежуточная аттестация зачёт ____	4				

<b>Итого</b>	108	<i>(количество часов, ** отведенных на промежуточную аттестацию)</i>

*\*Внимание! В таблице должно быть зафиксировано проведение текущего контроля успеваемости, который может быть реализован, например, в рамках занятий семинарского типа.*

*\*\* Часы, отводимые на проведение промежуточной аттестации, выделяются из часов самостоятельной работы обучающегося*

7. Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю)

7.1. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости.

1. Исследовать влияние выбора параметра на визуализацию вытеснения. Указание: Произвести один расчёт, затем, варьируя в скриптах FilmL и FilmR значение параметра  $s^*$ , для каждого значения параметра вывести границу раздела жидкостей в последовательные моменты времени.
2. Исследовать влияние отношения вязкостей (параметр M) на процесс вытеснения. Указание: Произвести несколько расчётов, варьируя в конфигурационном файле отношение вязкостей (Viscosity ratio) от 1 до 1000. Для каждого расчёта вывести границу раздела жидкостей в последовательные моменты времени, а также графики зависимости остаточной насыщенности от времени.
3. Исследовать влияние значения числа Пекле на процесс вытеснения. Указание: Произвести несколько расчётов, варьируя в конфигурационном файле число Пекле (Peclet number) от 50 до 10000, значение отношения вязкостей установить равным 100. Для каждого расчёта вывести границу раздела жидкостей в последовательные моменты времени, а также графики зависимости остаточной насыщенности от времени.
4. Исследовать влияние выбора граничных условий: контроль давления или контроль расхода. Указание:
  - 4А. произвести несколько расчётов, варьируя в конфигурационном файле отношение вязкостей (Viscosity ratio) от 1 до 1000, значение параметра выбора граничного условия (Pressure(0) or Volume(1) control) установить равным 0. Для каждого расчёта вывести границу раздела жидкостей в последовательные моменты времени, а также графики зависимости остаточной насыщенности от времени.
  - 4Б. произвести несколько расчётов, варьируя в конфигурационном файле отношение вязкостей (Viscosity ratio) от 1 до 1000, значение параметра выбора граничного условия (Pressure(0) or Volume(1) control) установить равным 1. Для каждого расчёта вывести границу раздела жидкостей в последовательные моменты времени, а также графики зависимости остаточной насыщенности от времени.
5. Исследовать зависимость КВН (коэффициент вытеснения нефти) от параметров контролирующих капиллярные эффекты. Указания:
  - 5А. Произвести 3 расчёта, установив в конфигурационном файле следующие значения параметров: Capillary pressure level = 0.01 ; Barrier for expression for J-function= 0.02 ; Residual saturation =(0.1 / 0.3 / 0.5 ) В качестве граничного условия выбрать контроль давления (Pressure(0) or Volume(1) control) Для каждого расчёта вывести границу раздела жидкостей в последовательные моменты времени, а также графики зависимости остаточной насыщенности от времени.
  - 5Б. Произвести 3 расчёта, установив в конфигурационном файле следующие значения параметров: Capillary pressure level = 0.03 ; Barrier for expression for J-function= 0.02 ; Residual saturation =(0.1 / 0.3 / 0.5 ) В качестве граничного условия выбрать контроль давления (Pressure(0) or Volume(1) control) Для каждого расчёта вывести границу раздела жидкостей в последовательные моменты времени, а также графики зависимости остаточной насыщенности от времени.

5В. Произвести 3 расчёта, установив в конфигурационном файле следующие значения параметров: Capillary pressure level = 0.05 ; Barrier for expression for J-function= 0.02 ; Residual saturation =(0.1 / 0.3 / 0.5 ) В качестве граничного условия выбрать контроль давления (Pressure(0) or Volume(1) control) Для каждого расчёта вывести границу раздела жидкостей в последовательные моменты времени, а также графики зависимости остаточной насыщенности от времени.

6. 6А. Подобрать коэффициенты, отвечающие за капиллярные эффекты таким образом, чтобы КВН соответствовал эксперименту №1 о вытеснении керосина водой из образца пористой среды с поддержанием постоянного расхода.
- 6Б. Подобрать коэффициенты, отвечающие за капиллярные эффекты таким образом, чтобы КВН соответствовал эксперименту №2 о вытеснении масла водой из образца пористой среды с поддержанием постоянного расхода.
- 6В. Подобрать коэффициенты, отвечающие за капиллярные эффекты таким образом, чтобы КВН соответствовал эксперименту №3 о вытеснении керосина водой из образца пористой среды с поддержанием постоянного перепада давления.
- 6Г. Подобрать коэффициенты, отвечающие за капиллярные эффекты таким образом, чтобы КВН соответствовал эксперименту №4 о вытеснении масла водой из образца пористой среды с поддержанием постоянного перепада давления. Указание: Подобрать параметры расчётов согласно данным о жидкостях и образце пористой среды используемых в эксперименте (см. главу 4). Ввести необходимые параметры в конфигурационный файл и, варьируя параметры, отвечающие за капиллярные эффекты произвести серию численных расчётов, таким образом, чтобы КВН оказался максимально приближен к натурному эксперименту. Вывести на одном графике изменение насыщенности для численного и реального эксперимента.

7.2. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации. Форма отчетности – зачет.

1. Что такое фильтрация? Что такое пористость, проницаемость, скорость фильтрации? Какими уравнениями описывается фильтрационное течение? Приведите примеры фильтрационных течений.
2. Определить удельную поверхность фиктивного грунта, пористость которого 0,25, а диаметр шаров равен 0,2мм.
3. Образец пористой среды объёмом  $V \text{ см}^3$  после насыщения керосином с плотностью  $\rho \text{ г/см}^3$  стал тяжелее на  $M \text{ г}$ . Определить пористость образца.
4. Определить проницаемость(в Дарси) при фильтрации через образец длиной 1 см и площадью поперечного сечения  $1 \text{ см}^2$  жидкости с динамическим коэффициентом вязкости  $1 \text{ мПа}\cdot\text{с}$ , если при перепаде давления 98 кПа расход жидкости составляет  $3 \text{ см}^3/\text{с}$ .
5. Определить коэффициент просветности, зная, что истинная скорость движения через образец равна  $v$ , коэффициент проницаемости  $k$ , вязкость  $\mu$  и разность давлений  $\Delta p$  при длине образца  $L$ .

6. Образец пористой среды массой  $M_1$  и объёмом  $V$  насытили жидкостью с плотностью  $\rho$ , после чего масса образца стала  $M_2$ . Определите пористость этого образца. Какая это пористость: полная или эффективная?
7. Определить эффективную поверхность фиктивного грунта, пористость которого  $m=0,2$ , а диаметр шаров равен  $0,1$  мм. Найти также число шаров в  $1\text{ м}^2$ .
8. Определить скорость фильтрации и коэффициент проницаемости цилиндрического образца пористой среды диаметром  $d=5$  см, длиной  $l=20$  см, если разность давлений на концах образца составляет  $300\text{ мм.рт.ст.}$ , объёмный расход жидкости  $Q=1,7$  л/час, динамический коэффициент вязкости жидкости  $\mu = 5 \text{ мПа} \cdot \text{с}$ . Определить также истинную скорость движения частиц, учитывая, что среда изотропная и пористость  $m=0,1$ .
9. Рассмотреть течение однородной несжимаемой жидкости с вязкостью  $\mu$  в прямоугольной области заполненной изотропной однородной пористой средой с проницаемостью  $k$ . Верхнюю и нижнюю границу области считать непроницаемыми. Со стороны левой стенки осуществляется приток жидкости, которая затем фильтруется к правой границе. Давление на левой и правой границе считать установившимся и равным  $p_1$  на левой и  $p_2$  на правой границе области ( $p_2 < p_1$ ) Какими уравнениями описывается это течение? Как будут распределены скорость и давление в области и почему?
10. См. задачу 9 для случая плоскорадиального течения.
11. См. задачу 9 для случая поршневого вытеснения жидкости с вязкостью  $\mu_1$  жидкостью с вязкостью  $\mu_2$ .
12. Определите среднее время прохода «меченой частицы» через кольцеобразную область в случае плоскорадиального потока однородной несжимаемой жидкости в однородной изотропной пористой среде.
13. Что подразумевается под «неустойчивостью» вытеснения жидкости из пористой среды. В каком случае и почему развивается «неустойчивость»?
14. Какие факторы влияют на процесс вытеснения нефти водой из пористой среды? Как картина вытеснения зависит от отношения вязкостей вытесняемой и вытесняющей жидкостей и от числа Пекле.
15. Что такое капиллярное давление? Как учёт капиллярных эффектов влияет на результат моделирования процесса вытеснения и на значение КВН (коэффициент вытеснения нефти)? Каким может быть КВН при учёте капиллярных эффектов? Без учёта?
16. Что влияет на график зависимости насыщенности вытесняющей жидкости в образце от времени?

ШКАЛА И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ результатов обучения (РО) по дисциплине (модулю)				
Оценка	2	3	4	5
РО и				

соответствующие виды оценочных средств				
<b>Знания</b> (виды оценочных средств: устные и письменные опросы и контрольные работы, тесты, и т.п.)	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Сформированные систематические знания
<b>Умения</b> (виды оценочных средств: практические контрольные задания, написание и защита рефератов на заданную тему и т.п.)	Отсутствие умений	В целом успешное, но не систематическое умение	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности непринципиального характера)	Успешное и систематическое умение
<b>Навыки (владения, опыт деятельности)</b> (виды оценочных средств: выполнение и защита курсовой работы, отчет по практике, отчет по НИР и т.п.)	Отсутствие навыков (владений, опыта)	Наличие отдельных навыков (наличие фрагментарного опыта)	В целом, сформированные навыки (владения), но используемые не в активной форме	Сформированные навыки (владения), применяемые при решении задач

#### 8. Ресурсное обеспечение:

##### Перечень основной литературы

1. Скрылёва Е.И., Никитин В.Ф., Логвинов О.А., Смирнов Н.Н. Фильтрационные течения в пористых средах: Учебное пособие, 2017, 72 с.
2. Леонтьев Н.Е. Основы теории фильтрации: Учебное пособие. – М.: Изд-во Центра прикладных исследований при механико-математическом факультете МГУ, 2009. – 88 с.
3. Баренблатт Г.И., Ентов В.М., Рыжик В.М. Теория нестационарной фильтрации жидкости и газа. М.: Недра, 1972. 288 с.

4. Басниев К.С., Кочина И.Н., Максимов В.М. Подземная гидромеханика: Учебник для вузов. – М.: Недра, 1993. 416 с.
5. Дмитриев Н.М., Кадет В.В. Подземная гидромеханика. Пособие для семинарских занятий. М.: Интерконтакт Наука, 2008, 174 с.
6. Чарный И.А. Подземная гидрогазодинамика. М.: Гостоптехиздат, 1963. 396 с.
7. Акулич А.Н., Смирнов Н.Н., Тюренкова В.В., Лапко В.А., Галкин В.А. Математическое моделирование распространения трещины гидроразрыва. Сургут, Изд. Центр СурГУ, 2016.

9. Язык преподавания.

Русский.

10. Преподаватель (преподаватели).

Скрылева Евгения Игоревна

Шамина Анастасия Александровна

11. Автор (авторы) программы.

Скрылева Евгения Игоревна

Шамина Анастасия Александровна