


ФГБОУ ВО «БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
КАФЕДРА ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ

Утверждено:  
на заседании кафедры  
протокол №65 от «12» января 2022г.

Согласовано:  
Председатель УМК ФТИ

Зав. кафедрой  / Ковалева Л.А.

 / Балапанов М.Х.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

дисциплина Многофазные течения


Б1.В.ДВ.04.02 вариативная часть, обязательная дисциплина

**программа магистратуры**

Направление подготовки  
03.04.02 Физика

Направленность подготовки  
«Цифровые модели и технологии нефтегазовых месторождений»

Квалификация  
Магистр


Разработчик (составитель) <u>Доцент, кандидат физико-математических наук</u> <u>профессор</u>	 /Киреев В.Н.
---	---

Для приема: 2022 г.

Уфа 2022 г.

Составитель / составители: Киреев В.Н.

Рабочая программа дисциплины *утверждена* на заседании кафедры протокол от «12» января 2022  
г. № 5

Заведующий кафедрой  / Л.А.Ковалева

## Список документов и материалов

<b>1 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы .....</b>	<b>4</b>
<b>2 Цель и место дисциплины в структуре образовательной программы.....</b>	<b>5</b>
<b>3 Содержание рабочей программы (объем дисциплины, типы и виды учебных занятий, учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся).....</b>	<b>5</b>
<b>4 Фонд оценочных средств по дисциплине .....</b>	<b>6</b>
4.1 Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания .....	6
4.2 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций .....	9
4.3 Рейтинг-план дисциплины .....	9
<b>5 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины.....</b>	<b>10</b>
5.1 Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины .....	10
5.2 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» и программного обеспечения, необходимых для освоения дисциплины.....	10
<b>6 Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.....</b>	<b>11</b>

## 1 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

В результате освоения образовательной программы обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине:

**ОК-1** – способностью к абстрактному мышлению, анализу, синтезу;

**ПК-1** – способностью самостоятельно и (или) в составе исследовательской группы разрабатывать, исследовать и применять математические модели для качественного и количественного описания явлений и процессов и (или) разработки новых технических средств.

Результаты обучения		Формируемая компетенция (с указанием кода)	Примечание
Знания	1. Основные характеристики многофазных течений в трубах, основы их классификации и основные математические модели	<b>ОК-1</b>	
	2. Современные численные методы моделирования многофазных течений	<b>ПК-1</b>	
Умения	1. Ставить и решать задачи о многофазных течениях	<b>ОК-1</b>	
	2. Программно реализовывать численные методы в виде компьютерного кода	<b>ПК-1</b>	
Владения (навыки / опыт деятельности)	1. Навыки анализа оригинальных работ по численному моделированию многофазных течений	<b>ОК-1</b>	
	2. Навыки использования современных численных методов для моделирования двухфазных течений.	<b>ПК-1</b>	

## **2 Цель и место дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина «*Многофазные течения в трубах*» относится к *вариативной* части и является дисциплиной по выбору.

Дисциплина изучается на *2 курсе в 4 семестре*.

Целями освоения дисциплины «*Многофазные течения в трубах*» является получение студентами теоретических знаний и практических навыков в области математического описания и численного моделирования многофазных течений в трубах, а также ознакомление с современным состоянием теории многофазных сред: освоение классических методов и моделей многофазных течений; освоение основных методов численного моделирования многофазных потоков; иметь представление о современных пакетах прикладных программ численного моделирования многофазных потоков.

Для освоения дисциплины «*Многофазные течения в трубах*» необходимы компетенции, сформированные в рамках изучения следующих дисциплин:

- Математический анализ
- Аналитическая геометрия
- Линейная алгебра
- Дифференциальные уравнения
- Векторный и тензорный анализ
- Механика сплошных сред
- Программирование

Знания и умения, накопленные при изучении дисциплины «*Многофазные течения в трубах*», используются при выполнении магистерской диссертации.

## **3 Содержание рабочей программы (объем дисциплины, типы и виды учебных занятий, учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся)**

Содержание рабочей программы представлено в Приложении № 1.

## 4 Фонд оценочных средств по дисциплине

### 4.1 Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

#### ОК-1 – способностью к абстрактному мышлению, анализу, синтезу

Этап (уровень) освоения компетенции	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения			
		2 («Не удовлетворительно»)	3 («Удовлетворительно»)	4 («Хорошо»)	5 («Отлично»)
Первый этап (Пороговый уровень)	Знать основные характеристики многофазных течений в трубах, основы их классификации и основные математические модели	Имеет частичные знания об основных понятиях и законах	В целом знает об основных понятиях и законах	Знает об основных понятиях и законах	Знает об основных понятиях и законах
Второй этап (Базовый уровень)	Уметь ставить и решать задачи о многофазных течениях	Не показывает сформированные умения в оценке достоверности результатов, полученных с помощью экспериментальных и теоретических методов исследования; Не умеет анализировать и применять физические законы и явления для решения задач	Умеет частично оценивать степень достоверности результатов, полученных с помощью экспериментальных и теоретических методов исследования; Не в полной мере применяет физические законы и явления для решения задач	Оценивает степень достоверности результатов, полученных с помощью экспериментальных и теоретических методов исследования; Применяет физические законы и явления для решения задач	Достоверно оценивает результаты, полученные с помощью экспериментальных и теоретических методов исследования; Анализирует и применяет физические законы и явления для решения задач

Третий этап (Повышенный уровень)	Владеть навыками анализа оригинальных работ по численному моделированию многофазных течений	Не владеет методами обработки и анализа экспериментальной и теоретической физической информации;	Владеет методами обработки и анализа экспериментальной и теоретической физической информации;	Использует методы обработки и анализа экспериментальной и теоретической физической информации;	Владеет в полной мере методами обработки и анализа экспериментальной и теоретической физической информации;
-------------------------------------	---	--	---	--	---

**ПК-1** – способностью самостоятельно и (или) в составе исследовательской группы разрабатывать, исследовать и применять математические модели для качественного и количественного описания явлений и процессов и (или) разработки новых технических средств

Этап (уровень) освоения компетенции	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения			
		2 («Не удовлетворитель но»)	3 («Удовлетворительн о»)	4 («Хорошо»)	5 («Отлично »)
Первый этап (Пороговый уровень)	Знать современные численные методы моделирования многофазных течений	Имеет частичные знания об основных понятиях и законах	В целом знает об основных понятиях и законах	Знает об основных понятиях и законах	Знает об основных понятиях и законах
Второй этап (Базовый уровень)	Уметь программно реализовывать численные методы в виде компьютерного кода	Не показывает сформированные умения в оценке достоверности результатов, полученных с помощью экспериментальных и теоретических методов исследования; Не умеет анализировать и применять физические законы и явления для решения задач	Умеет частично оценивать степень достоверности результатов, полученных с помощью экспериментальных и теоретических методов исследования; Не в полной мере применяет физические законы и явления для решения задач	Оценивает степень достоверности результатов, полученных с помощью экспериментальных и теоретических методов исследования; Применяет физические законы и явления для решения задач	Достоверно оценивает результаты, полученные с помощью экспериментальных и теоретических методов исследования; Анализирует и применяет физические законы и явления для решения

					задач
Третий этап (Повышенный уровень)	Владеть навыками использования современных численных методов для моделирования двухфазных течений	Не владеет методами обработки и анализа экспериментальной и теоретической физической информации;	Владеет методами обработки и анализа экспериментальной и теоретической физической информации;	Использует методы обработки и анализа экспериментальной и теоретической физической информации;	Владеет в полной мере методами обработки экспериментальной и теоретической физической информации;

#### Показатели сформированности компетенции:

Критериями оценивания являются баллы, которые выставляются преподавателем за виды деятельности (оценочные средства) по итогам изучения модулей (разделов дисциплины), перечисленных в рейтинг-плане дисциплины (*для экзамена*: текущий контроль – максимум 60 баллов; рубежный контроль – максимум 40 баллов, поощрительные баллы – максимум 10).

Шкалы оценивания:

*для экзамена*:

от 45 до 59 баллов – «удовлетворительно»;

от 60 до 79 баллов – «хорошо»;

от 80 баллов – «отлично».



**4.2 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций**

Этапы освоения	Результаты обучения	Компетенция	Оценочные средства
1-й этап Знания	1. Основные характеристики многофазных течений в трубах, основы их классификации и основные математические модели	<b>ОК-1</b>	Лабораторные работы
	2. Современные численные методы моделирования многофазных течений	<b>ПК-1</b>	
2-й этап Умения	1. Ставить и решать задачи о многофазных течениях	<b>ОК-1</b>	Лабораторные работы
	2. Программно реализовывать численные методы в виде компьютерного кода	<b>ПК-1</b>	
3-й этап Владеть навыками	1. Навыки анализа оригинальных работ по численному моделированию многофазных течений	<b>ОК-1</b>	Лабораторные работы
	2. Навыки использования современных численных методов для моделирования двухфазных течений.	<b>ПК-1</b>	

**Темы лабораторной работы №1**

Тема 1.1 Численное решение задачи о расслоенном течении двух вязких несжимаемых несмешивающихся жидкостей с фиксированной границей раздела с помощью метода контрольного объема

**Темы лабораторной работы №2**

Тема 2.1 Численное решение задачи о деформации жидкой капли при сдвиговом течении с помощью метода Volume-of-Fluid

Тема 2.2 Численное решение задачи о всплытии газового пузырька с помощью метода Volume-of-Fluid

Тема 2.3 Численное решение задачи о неустойчивости Рэлея-Тейлора с помощью метода Volume-of-Fluid

**4.3 Рейтинг-план дисциплины**

Рейтинг–план дисциплины представлен в приложении 2.

## **5 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **5.1 Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

#### **Основная литература:**

1. Нигматулин Р.И. Динамика многофазных сред. Часть 1. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. – 464 с.
2. Ландау Л.Д., Лившиц Е.М. Теоретическая физика. В 10 т. Т. 6. Гидродинамика. – 5-е изд., стереот. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001. – 736 с.
3. Патанкар С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 152 с.
4. Prosperetti A., Tryggvason G. Computational Methods for Multiphase Flow. – Cambridge University Press, 2007. – 470 p.
5. Hirt C.W., Nichols B.D. Volume of fluid (VOF) method for the dynamics of free boundaries // Journal of Computational Physics. – 2001. – Vol. 39, No. 1. – pp. 201–225

#### **Дополнительная литература:**

1. Нигматулин Р.И. Механика сплошной среды. Кинематика. Динамика. Термодинамика. Статистическая динамика – М.: Изд-во ГЭОТАР-Медиа, 2014. – 640 с.
2. Куликовский А.Г., Погорелов Н.В., Семенов А.Ю. Математические вопросы численного решения гиперболических систем уравнений. – М.: Физматлит, 2001. – 608 с.

### **5.2 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» и программного обеспечения, необходимых для освоения дисциплины**

1. Сайт, посвящённый вычислительной гидродинамике <https://www.cfd-online.com/>

**6 Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

Вид занятий	Наименование специализированных аудиторий, кабинетов, лабораторий	Наименование оборудования, программного обеспечения
<p><b>1. Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа:</b> аудитория № 218 (физмат корпус-учебное).</p> <p><b>2. Учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа:</b> аудитория № 425 (физмат корпус-учебное).</p> <p><b>3. Учебная аудитория для проведения групповых и индивидуальных консультаций:</b> аудитория № 218 (физмат корпус-учебное).</p> <p><b>4. Учебная аудитория для текущего контроля и промежуточной аттестации:</b> аудитория № 218 (физмат корпус-учебное).</p> <p><b>5. Помещения для самостоятельной работы:</b> Читальный зал №1 (главный корпус, 1 этаж), Читальный зал №2 (корпус физмата, 2 этаж), аудитория № 406 компьютерный класс (физмат корпус-учебное).</p> <p><b>6. Помещения для хранения и ремонта оборудования:</b> аудитория №610г (физмат корпус-учебное)</p>	<p align="center"><b>Аудитория № 425</b></p> <p>Учебная мебель, учебно-наглядные пособия, компьютер в составе Asus Intel Core i3, монитор, кондиционер (сплит-система)Haier, копировальный аппарат Canon FC-230, персональный компьютер в комплекте №1 KlamaS office, монитор DELL 21 - 8 шт., принтер HP Laser Jet 1220 лазерный, принтер Samsung ML-1750 лазерный, проектор BenQ Projector, системный блок компьютера Celeron, шкаф лабораторный.</p> <p align="center"><b>Аудитория № 218</b></p> <p>Учебная мебель, доска аудиторная, кондиционер(сплит-система) Haier, экран настенный с электроприводом Classic Lyra, ноутбук HPMini, проектор BenQ.</p> <p align="center"><b>Читальный зал №1</b></p> <p>Научный и учебный фонд, научная периодика, ПК (моноблок) - 3 шт, Wi-Fi доступ для мобильных устройств, неограниченный доступ к ЭБС и БД; количество посадочных мест – 76.</p> <p align="center"><b>Читальный зал №2</b></p> <p>Научный и учебный фонд, научная периодика, Wi-Fi доступ мобильных устройств, неограниченный доступ к ЭБС и БД; количество посадочных мест – 50</p> <p align="center"><b>Аудитория №406</b></p> <p>Учебная мебель, доступ в интернет, Компьютер в составе Asus – 4 шт.; Кондиционер(сплит-система) Haier, МФУ Kyocera; Персональный компьютер в комплекте № 1 iRU Corp – 6 шт.</p> <p align="center"><b>Аудитория №610г</b></p>	<p>1. Windows 8 Russian. OLP NL OLP NL AcademicEdition. Договор №104 от 17.06.2013 г. Лицензии бессрочные.№104 от 17.06.2013 г. Лицензии бессрочные.</p> <p>2. Windows Professional 8 Russian. OLP NL AcademicEdition. Договор №104 от 17.06.2013 г. Лицензии бессрочные.</p> <p>3. Microsoft Office Standart 2013 Russian. OLP NL OLP NL AcademicEdition. Договор №114 от 12.11.2014 г. Лицензии бессрочные.</p> <p>4. Права на использование Roxar software. Лицензия № RU 970297-A</p>

ФГБОУ ВО «БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
ФИЗИКО - ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

**СОДЕРЖАНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ**

дисциплины \_\_\_\_\_ Многофазные течения \_\_\_\_\_ на 4 семестр

очная, очно-заочная  
(форма обучения)

<b>Вид работы</b>	<b>Объем дисциплины</b>
Общая трудоемкость дисциплины (ЗЕТ / часов)	2/72
Учебных часов на контактную работу с преподавателем:	28,2
лекций	8
практических/ семинарских	–
лабораторных	20
других (групповая, индивидуальная консультация и иные виды учебной деятельности, предусматривающие работу обучающихся с преподавателем) (ФКР)	0,2
Учебных часов на самостоятельную работу обучающихся (СР)	43,8
Учебных часов на подготовку к экзамену/зачету/дифференцированному зачету (Контроль)	

Форма(ы) контроля: \_\_\_\_\_  
экзамен 4 семестр

№ п/п	Тема и содержание	Форма изучения материалов: лекции, практические занятия, семинарские занятия, лабораторные работы, самостоятельная работа и трудоемкость (в часах)				Основная и дополнительная литература, рекомендуемая студентам (номера из списка)	Задания по самостоятельной работе студентов	Форма текущего контроля успеваемости (коллоквиумы, контрольные работы, компьютерные тесты и т.п.)
		ЛК	ПР/СЕМ	ЛР	СР			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>МОДУЛЬ 1</b>								
1	Многофазные течения, их классификация. Основы математического моделирования многофазных течений	1		3	2	[1], [2]		
2	Математическая модель для расслоенного режима течения в трубах. Вывод аналитического решения.	1		3	2	[1], [2]		
3	Метод контрольного объема для решения задачи о расслоенном течении двух несмешивающихся жидкостей с фиксированной границей раздела	2		3	2	[3]		Лабораторная работа №1
<b>МОДУЛЬ 2</b>								
4	Численные методы отслеживания межфазной границы в многофазных течениях	2		4	4	[4]		
5	Метод Volume-of-Fluid. Учет сил поверхностного натяжения на межфазной границе	1		4	3	[5]		
6	Алгоритм численного решения задач двухфазного течения	1		4	2,8	[3], [4], [5]		Лабораторная работа №2
	<b>Всего часов:</b>	<b>8</b>		<b>20</b>	<b>15,8</b>			

