


МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИИ  
ФГБОУ ВО «БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
КАФЕДРА ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ

Утверждено:  
на заседании кафедры  
протокол №10 от «08» апреля 2020.

Зав. кафедрой  /Ковалева Л.А.

Согласовано:  
Председатель УМК ФТИ

 / Балапанов М.Х.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

Дисциплина ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НА OPENFOAM

*(наименование дисциплины)*

Б1.В.03 вариативная часть, обязательные дисциплины

*(Цикл дисциплины и его часть (базовая, вариативная, дисциплина по выбору))*

**программа магистратуры**

Направление подготовки (специальность)

03.04.01 Прикладные математика и физика.

*(код и наименование направления подготовки (специальности))*

Направленность (профиль) подготовки


Моделирование нефтегазовых процессов и технологий

*(наименование направленности (профиля) подготовки)*

Квалификация

Магистр

*(квалификация)*

<p><u>Доцент, кандидат физико-математических наук,</u> <u>доцент.</u> (должность, ученая степень, ученое звание)</p>	<p> / <u>Мусин А.А.</u> (подпись, Фамилия И.О.)</p>
--	---

Для приема: 2020г.

Уфа 2020г

Составитель / составители: Мусин А.А.

Рабочая программа дисциплины утверждена на заседании кафедры протокол от «08» апреля 2020 №10

Заведующий кафедрой  / Л.А.Ковалева

### Список документов и материалов

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы	
2. Цель и место дисциплины в структуре образовательной программы	
3. Содержание рабочей программы (объем дисциплины, типы и виды учебных занятий, учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся)	
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	
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	
4.3. <i>Рейтинг-план дисциплины (при необходимости)</i>	
5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины	
5.1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины	
5.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» и программного обеспечения, необходимых для освоения дисциплины	
6. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине	

**1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных  
спланируемыми результатами освоения образовательной программы  
(с ориентацией на карты компетенций)**

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. знать методы анализа и синтеза информации	ОК-1	
	2. знать: структуру и возможности CFD пакета; задачи научных исследований в области физики, решаемые с помощью CFD пакета.	ПК-1	
Умения	1. уметь абстрактно мыслить, анализировать и обобщать, полученную в ходе научных исследований информацию	ОК-1	
	2. уметь: работать с CFD пакетом (подготовка расчетного модуля, построение сетки, выбор начальных и граничных условий, запуск модели на расчет); представлять расчетные результаты в графическом виде	ПК-1	
Владения (навыки / опыт деятельности)	1. владеть навыками анализа информации, полученной в ходе научных исследований и ее синтеза	ОК-1	
	2. владеть навыками решения стандартных задач теплофизики и гидродинамики средствами CFD пакета.	ПК-1	

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

Дисциплина «Численное моделирование на OpenFoam» относится к вариативной части.

Дисциплина изучается на 1 курсе в 1 семестре.

Цель дисциплины заключается в том, чтобы развивать и совершенствовать у магистрантов навыки практического использования CFD пакета OpenFoam для решения задач теплофизики и гидродинамики на компьютере. Для успешного освоения дисциплины «Численное моделирование на OpenFoam» магистранты должны знать основы математики, физики и информатики, знать методы численного моделирования, уметь ставить задачи и строить математические модели из области теплофизики и гидродинамики, уметь применять численные методы для решения задач математической физики, иметь навыки решения физических задач на компьютере. Полученные в ходе освоения дисциплины знания необходимы при изучении спецкурсов, а также при выполнении курсовых и выпускной квалификационной работы.

Для освоения дисциплины необходимы компетенции, сформированные в рамках изучения следующих дисциплин: «Линейные и нелинейные уравнения математической физики», «Численные методы и вычислительная математика», «Теория тепломассопереноса», «Механика сплошных сред».

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

Содержание рабочей программы представлено в Приложении № 1.

*Количество часов/зет указывается в соответствии с учебным планом, заполняется отдельно по каждой форме обучения.*

#### 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

Код и формулировка компетенции:

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	
		«Не зачтено»	«Зачтено»
Первый этап (уровень)	Знать методы анализа и синтеза информации	Не владеет знаниями методов анализа и синтеза информации	Знает методы анализа и синтеза информации, может привести примеры
Второй этап (уровень)	Уметь абстрактно мыслить, анализировать и обобщать, полученную в ходе научных исследований информацию	Не обладает абстрактным мышлением	Может абстрактно мыслить, анализировать и обобщать, полученную в ходе научных исследований информацию
Третий этап (уровень)	Владеть навыками анализа информации, полученной в ходе научных исследований и ее синтеза	Не владеть навыками анализа информации	Владеть навыками анализа информации, полученной в ходе научных исследований и ее синтеза

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	
		«Не зачтено»	«Зачтено»
Первый этап (уровень)	Знать: структуру и возможности CFD пакета; задачи научных исследований в области физики, решаемые с помощью	Имеет фрагментарные знания о структуре и возможностях CFD пакета	Знает структуру и возможности CFD пакета и может привести примеры задач научных исследований в области физики, решаемые с помощью CFD пакета.

	CFD пакета.		
Второй этап (уровень)	Уметь: работать с CFD пакетом (подготовка расчетного модуля, построение сетки, выбор начальных и граничных условий, запуск модели на расчет); представлять расчетные результаты в графическом виде	Не умеет работать с CFD пакетом	Может подготовить расчетный модуль, построить сетку, выбрать начальные и граничные условия и запустить модель на расчет в CFD пакете, а также представить расчетные результаты в графическом виде
Третий этап (уровень)	Владеть навыками решения стандартных задач теплофизики и гидродинамики средствами CFD пакета	Не способен самостоятельно решать стандартные задачи теплофизики и гидродинамики средствами CFD пакета	Самостоятельно решает стандартные задачи теплофизики и гидродинамики средствами CFD пакета

Критериями оценивания по каждому заданию являются баллы (2 балла за каждое задание), которые выставляются преподавателем за виды деятельности по итогам изучения разделов дисциплины.

Шкалы оценивания по итогам изучения всех разделов дисциплины:

*для зачета:*

зачтено – от 6 до 10 баллов,

не зачтено – от 0 до 5 баллов.

**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. знать методы анализа и синтеза информации	ОК-1	Лабораторные работы
	2. знать: структуру и возможности CFD пакета; задачи научных исследований в области физики, решаемые с помощью CFD пакета.	ПК-1	Лабораторные работы, отчет
2-й этап Умения	1. уметь абстрактно мыслить, анализировать и обобщать, полученную в ходе научных	ОК-1	Лабораторные работы

	исследований информацию		
	2. уметь: работать с CFD пакетом (подготовка расчетного модуля, построение сетки, выбор начальных и граничных условий, запуск модели на расчет); представлять расчетные результаты в графическом виде	ПК-1	Лабораторные работы, отчет
3-й этап	1. владеть навыками анализа информации, полученной в ходе научных исследований и ее синтеза	ОК-1	Лабораторные работы
Владеть навыками	2. владеть навыками решения стандартных задач теплофизики и гидродинамики средствами CFD пакета.	ПК-1	Лабораторные работы, отчет

Зачет является оценочным средством для всех этапов освоения компетенций.

Примерные вопросы к текущему контролю:

1. Уравнение теплопроводности
2. Граничные условия для уравнения теплопроводности
3. Система уравнений движения жидкости
4. Граничные условия для системы уравнений движения жидкости
5. Метод контрольных объемов
6. Алгоритм Simple
7. Этапы решения задач на компьютере
8. OpenFoam – общее описание, составные части пакета (препроцессинг, решатель, постпроцессинг)
9. Создание геометрии
10. Задание граничных условий
11. Свойства сред
12. Выбор и редактирование решателя
13. Компиляция проекта и запуск на расчет
14. Визуализация результатов и расчётных сеток
15. Анализ результатов научных исследований

### Критерии оценки:

- 2 балла выставляется магистранту, если магистрант дал полные, развернутый ответ на теоретический вопрос, продемонстрировал знание функциональных возможностей, терминологии, основных элементов, умение применять теоретические знания при выполнении лабораторных заданий. Магистрант без затруднений ответил на все дополнительные вопросы;



- 1 балл выставляется магистранту, если при ответе на теоретические вопросы магистрантом допущено несколько ошибок в толковании основных понятий. Логика и полнота ответа страдают заметными изъянами. Заметны пробелы в знании основных методов. Теоретические вопросы в целом изложены достаточно, но с пропусками материала. Имеются принципиальные ошибки в логике построения ответа на вопрос.

### **Задания для лабораторных работ**

Лабораторная работа 1. Подготовка расчетной сетки.

Даны несколько вариантов геометрии расчетной области (канал прямоугольного сечения, сужающийся/расширяющийся канал и др.). Подготовить расчетную сетку с помощью утилиты blockMesh. Задать граничные поверхности. Визуализация и анализ результатов проводится с помощью пакета Paraview.

Лабораторная работа 2. Распределение температуры в брус.

Рассматривается брус, на двух противоположных гранях которого поддерживается постоянная (разная) температура. Внутри бруса имеются распределенные источники тепла. Необходимо смоделировать динамику изменения температуры бруса в разные моменты времени при наличии и отсутствии распределенных источников тепла. Использовать модифицированный решатель, созданный на основе решателя buoyantPimpleFoam. Провести анализ результатов. Визуализация и анализ результатов проводится с помощью пакета Paraview. Результаты оформить в виде отчета.

Лабораторная работа 3. Течение Пуазейля.

Рассматривается течение вязкой несжимаемой жидкости между двумя параллельными плоскостями под действием постоянного перепада давления. Смоделировать динамику изменения скорости и давления в жидкости. Использовать решатель isoFoam. Получить течение Пуазейля. Сравнить стационарное распределение скорости по сечению канала с аналитическим решением. Провести анализ результатов. Визуализация и анализ результатов проводится с помощью пакета Paraview. Результаты оформить в виде отчета.

Лабораторная работа 4. Течение жидкости в канале переменного сечения.

Рассматривается течение вязкой несжимаемой жидкости в канале переменного сечения под действием постоянного перепада давления. Смоделировать динамику изменения скорости и давления в жидкости. Использовать решатель isoFoam. Изучить процесс формирования вихрей при изменении числа Рейнольдса. Провести анализ результатов. Визуализация и анализ результатов проводится с помощью пакета Paraview. Результаты оформить в виде отчета.

#### **Критерии оценки:**

- 2 балла выставляется, если магистрант продемонстрировал знание функциональных возможностей, основных элементов, умение применять теоретические знания при выполнении лабораторной работы. Работа выполнена полностью, без существенных ошибок;
- 1 балл выставляется, если магистрант продемонстрировал умение применять теоретические знания при выполнении лабораторной работы, однако при выполнении задания допущены несущественные ошибки;

**Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**  
**5.1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

**Основная литература:**

1. Хабибуллин И.Л. Физика сплошных сред в примерах и задачах: Учебное пособие. – Уфа: БашГУ, 2009. – 87с. (<https://bashedu.bibliotech.ru/Account/LogOn>)
2. Нигматулин Р. И. Механика сплошной среды, Кинематика. Динамика. Термодинамика. Статистическая динамика / Р. И. Нигматулин.—Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2014. – 640 с.
3. Патанкар, С. В. Численное решение задач теплопроводности и конвективного теплообмена при течении в каналах / С. В. Патанкар ; пер. с англ.: Е. В. Калабина, под ред. Г. Г. Янькова .— Москва : МЭИ, 2003 .— 312 с.

**Дополнительная литература:**

1. OpenFOAM The Open Source CFD Toolbox User Guide // OpenFOAM Foundation Ltd. – 2018. – 166 с.
2. OpenFOAM The Open Source CFD Toolbox Programmer’s Guide // OpenFOAM Foundation Ltd. – 2018. – 104 с.

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

1. [www.openfoam.com](http://www.openfoam.com) – официальный сайт пакета OpenFOAM
2. [www.cfd-online.com](http://www.cfd-online.com) – сайт по CFD пакетам
3. <http://bluecfd.github.io> – BlueCFD - версия OpenFOAM для запуска на операционных системах Windows.

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

<i>Наименование специализированных аудиторий, кабинетов, лабораторий</i>	<i>Вид занятий</i>	<i>Наименование оборудования, программного обеспечения</i>
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
<p><b>1. Учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа:</b> аудитория № 421 компьютерный класс (физмат корпус-учебное).</p> <p><b>2. Учебная аудитория для проведения групповых и индивидуальных консультаций:</b> № 421 (физмат корпус-учебное).</p> <p><b>3. Учебная аудитория для текущего контроля и промежуточной аттестации:</b> № 421 (физмат корпус-учебное).</p> <p><b>4. 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>Аудитория № 421</b> Учебная мебель, учебно-наглядные пособия, Графические станции DEPO Race 535/ Мониторы АОС23 - 11 шт.</p> <p><b>Читальный зал №1</b> 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><b>Читальный зал №2</b> Научный и учебный фонд, научная периодика, Wi-Fi доступ мобильных устройств, неограниченный доступ к ЭБС и БД; количество посадочных мест – 50</p> <p><b>Аудитория №406</b> 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><b>Аудитория №610г</b></p>	<p>1. Windows 8 Russian. Windows Professional 8 Russian Upgrade. Договор № 104 от 17.06.2013 г. Лицензии бессрочные</p> <p>2. Microsoft Office Standard 2013 Russian. Договор № 114 от 12.11.2014 г. Лицензии бессрочные</p>

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

**СОДЕРЖАНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ**

дисциплины Численное моделирование на OpenFoam на 1 семестр  
(наименование дисциплины)

очно-заочная

форма обучения

<b>Вид работы</b>	<b>Объем дисциплины</b>
Общая трудоемкость дисциплины (ЗЕТ / часов)	2
Учебных часов на контактную работу с преподавателем:	24,2
лекций	-
практических/ семинарских	-
лабораторных	24
других (групповая, индивидуальная консультация и иные виды учебной деятельности, предусматривающие работу обучающихся с преподавателем) (ФКР)	0,2
Учебных часов на самостоятельную работу обучающихся (СР)	48
Учебных часов на подготовку к экзамену/зачету/дифференцированному зачету (Контроль)	-

Форма(ы) контроля:

зачет 1 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
1.	Численные методы решения задач теплофизики и гидродинамики. Метод контрольных объемов.				4	О1, О2, О3	Повторить/изучить материал	Опрос
2.	Использование CFD пакетов. Организация CFD пакетов. Этапы работы в пакете OpenFoam.			2	4	Д1, Д2	Повторить материал	Опрос
3.	Подготовка расчетной сетки.			2	4	Д1, Д2	Повторить материал	Лабораторная работа
4.	Задание граничных условий. Свойства среды. Этапы расчета.			2	4	Д1, Д2	Повторить материал	Лабораторная работа
5.	Графическая визуализация расчетных данных.			2	8	Д1, Д2	Повторить материал	Лабораторная работа
6.	Расчет распределения температуры в брус			4	8	О1, О3, Д1, Д2	Повторить материал	Лабораторная работа
7.	Моделирование течения Пуазейля			6	8	О2, О3, Д1, Д2	Повторить материал	Лабораторная работа
8.	Моделирование течения жидкости в канале переменного сечения			6	8	О2, О3, Д1, Д2	Повторить материал	Лабораторная работа
	<b>Всего часов:</b>			24	48			

