



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Дальневосточный федеральный университет»  
(ДВФУ)

**ИНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ И КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

«СОГЛАСОВАНО»

Руководитель ОП



(подпись)

Ефремов Е.Л.

(Ф.И.О.)

« 28 » декабря 2021 г.

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор департамента математики



(подпись)

Заболотский В.С.

(Ф.И.О.)

« 28 » декабря 2021 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
Решение прикладных задач в пакете OpenFOAM  
**Направление подготовки 01.04.01 Математика**  
Математика и моделирование сложных систем  
**Форма подготовки очная**

курс 2 семестр 3

лекции 18 час.

практические занятия 32 час.

лабораторные работы 00 час.

в том числе с использованием МАО лек.    - / пр. 14 / лаб. 00 час.

всего часов аудиторной нагрузки 50 час.

в том числе с использованием МАО 14 час.

самостоятельная работа 58 час.

в том числе на подготовку к экзамену    - час.

контрольные работы (количество) не предусмотрены

курсовая работа / курсовой проект не предусмотрены

зачет 3 семестр

экзамен не предусмотрен

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта по направлению подготовки 01.04.01 Математика, утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 10 октября 2018 г. № 12.

Рабочая программа обсуждена на заседании департамента математики  
протокол № 6 от « 28 » декабря 2021 г.

Директор департамента      Заболотский В.С.

Составитель                      Фецов С.С.

Владивосток

2021

**I. Рабочая программа пересмотрена на заседании департамента:**

Протокол от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_

Директор департамента \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

**II. Рабочая программа пересмотрена на заседании департамента:**

Протокол от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_

Директор департамента \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

**III. Рабочая программа пересмотрена на заседании департамента:**

Протокол от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_

Директор департамента \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

**IV. Рабочая программа пересмотрена на заседании департамента:**

Протокол от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_

Директор департамента \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

## 1. Цель и задачи освоения дисциплины

Дисциплина «Решение прикладных задач в пакете OpenFOAM» предназначена для магистрантов 2 курса магистратуры 01.04.01 Математика, магистерской программы «Математика и моделирование сложных систем».

Дисциплина «Решение прикладных задач в пакете OpenFOAM» входит в блок дисциплин по выбору части дисциплин, формируемой участниками образовательных отношений (Б1.В.ДВ.02), реализуется на 2 курсе, в 3 семестре, завершается зачётом. Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 3 З.Е. (108 час.). Учебным планом предусмотрены лекционные занятия (18 час.), практические занятия (32 час.), самостоятельная работа (58 час.).

Язык реализации – русский.

**Цель:** получить представление о возможностях пакета программ OpenFOAM как инструмента исследовательской работы и инженерных расчетов в задачах механики сплошной среды.

**Задачи:**

- Сформировать понятие об общих этапах процесса компьютерного моделирования: предпроцессинг, расчет, постпроцессинг.
- Сформировать понимание основных принципов программирования математических моделей в пакете OpenFOAM.
- Обучить основным этапам подготовки к численному решению краевых задач для модельных уравнений в пакете OpenFOAM.
- Сформировать понятие об особенностях решения одномерных и многомерных краевых задач в пакете OpenFOAM.
- Освоить современные методы компьютерной визуализации и экспорта результатов численного расчета.
- Сформировать умение анализировать и излагать результаты численного расчета, обосновывать корректность полученных данных.

Для успешного изучения дисциплины «Решение прикладных задач в пакете OpenFOAM» у обучающихся должны быть сформированы следующие предварительные компетенции:

- Базовые навыки работы на персональном компьютере.
- Программирование на языках C, C++.
- Знание основ дифференциального и интегрального исчисления.
- Знание принципов математического описания процессов в сплошных средах, законов сохранения в сплошной среде, модельных уравнений в частных производных.
- Знание основ метода конечных разностей для решения уравнений в частных производных; понятий сходимости, аппроксимации, устойчивости.
- Знание метода конечных объемов для численного решения задач механики сплошных сред.

В результате изучения данной дисциплины у обучающихся формируются профессиональные компетенции.

Профессиональные компетенции выпускников и индикаторы их достижения:

Тип задач	Код и наименование профессиональной компетенции (результат освоения)	Код и наименование индикатора достижения компетенции
научно-исследовательский	ПК-2 Способен к организации научно-исследовательских и научно-производственных работ, к управлению научным коллективом	ПК-2.1 Использует методы современной математики и моделирования при решении теоретических и прикладных задач
		ПК-2.2 Осуществляет организационное управление научно-исследовательскими и научно-производственными работами, научным коллективом
		ПК-2.3 Готовит научные публикации и выступления на научных семинарах
педагогический	ПК-4 Способен участвовать в проектировании предметной среды образовательной программы	ПК-4.1 Организует и проводит исследование рынка услуг дополнительного образования детей и взрослых, обосновывает включение научно-исследовательских и научно-образовательных объектов в образовательную среду и процесс обучения математике и моделированию
		ПК-4.2 Проектирует элементы образовательной среды школьной математики на основе учета возможностей конкретного региона
		ПК-4.3 Планирует и проектирует образовательный процесс, элементы образовательной программы

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания (результата обучения по дисциплине)
ПК-2.1 Использует методы современной математики и моделирования при решении теоретических и прикладных задач	Знает базовые модели сплошных сред, реализованные в пакете программ OpenFOAM
	Умеет подготавливать и запускать расчет физических процессов в пакете OpenFOAM
	Владеет основными методами визуализации и обработки результатов расчетов пакета OpenFOAM
ПК-2.2 Осуществляет организационное управление научно-исследовательскими и научно-производственными работами, научным коллективом	Знает базовые принципы организации процесса численного моделирования
	Умеет организовывать все этапы процесса численного моделирования средствами OpenFOAM и Paraview
	Владеет средствами пред- и постпроцессинга, предоставляемым популярными свободно распространяемыми прикладными пакетами
ПК-2.3 Готовит научные публикации и выступления на научных семинарах	Знает способы визуального представления результатов компьютерного моделирования в пакете OpenFOAM.
	Умеет выявлять и представлять основные закономерности физико-технических процессов на основе результатов компьютерного моделирования
	Владеет методами визуализации и экспорта результатов

	расчета пакета OpenFOAM в форматы, пригодные для вставки в текстовые редакторы и программы подготовки презентаций
ПК-4.1 Организует и проводит исследование рынка услуг дополнительного образования детей и взрослых, обосновывает включение научно-исследовательских и научно-образовательных объектов в образовательную среду и процесс обучения математике и моделированию	Знает о возможностях и преимуществах пакета OpenFOAM при обучении математическому моделированию по сравнению с другими CAE-системами
	Умеет обосновывать включение научно-исследовательских объектов на основе пакета OpenFOAM в процесс обучения математике и моделированию
	Владеет инструментами пакета OpenOFAM при обучении математическому моделированию
ПК-4.2 Проектирует элементы образовательной среды школьной математики на основе учета возможностей конкретного региона	Знает о возможностях применения пакета OpenFOAM в элементах школьной образовательной среды
	Умеет подготавливать и представлять наглядные решения математических и физических задач для научно-популярных лекций в школах
	Владеет методами наглядного и популярного представления математических и физических задач
ПК-4.3 Планирует и проектирует образовательный процесс, элементы образовательной программы	Знает о способах применения пакета OpenFOAM при обучении математическому моделированию и численным методам
	Умеет планировать и проектировать образовательный процесс, элементы образовательной программы
	Владеет возможностями пакета OpenFOAM при обучении математическому моделированию и численным методами

## 2. Трудоёмкость дисциплины и видов учебных занятий по дисциплине

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 3 зачётные единицы (108 академических часов). Форма обучения – очная.

Видами учебных занятий и работы обучающегося по дисциплине являются:

Обозначение	Виды учебных занятий и работы обучающегося
Лек	Лекции
Пр	Практические занятия
Лаб	Лабораторные работы
СР	Самостоятельная работа обучающегося в период теоретического обучения
Контроль	Самостоятельная работа обучающегося и контактная работа обучающегося с преподавателем в период промежуточной аттестации

## Структура дисциплины:

№	Наименование раздела дисциплины	Семестр	Количество часов по видам учебных занятий и работы обучающегося					Формы промежуточной аттестации
			Лек	Пр	Лаб	СР	Контроль	
1	Раздел 1. Введение. Численное моделирование сплошных сред в пакете OpenFOAM	3	10	4		12		УО-1, ПР-1, ПР-12
2	Раздел 2. Настройка входных данных и визуализация решения в OpenFOAM	3	0	12		22		УО-1, ПР-1, ПР-12
3	Раздел 3. Настройка элементов численного решения в OpenFOAM	3	4	6		12		УО-1, ПР-1, ПР-12
4	Раздел 4. Моделирование гидродинамики и теплообмена в OpenFOAM	3	4	10		12		УО-1, ПР-1, ПР-12
	Итого:		18	32		58		

## I. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА

### Лекционные занятия (18 часов)

**Раздел 1. Введение. Численное моделирование сплошных сред в пакете OpenFOAM (10 часов)**

**Тема 1. Модели сплошных сред (2 часа)**

Общий вид закона сохранения в сплошной среде. Законы сохранения массы, импульса, энергии. Модельные уравнения.

**Тема 2. Метод конечного объема (2 часа)**

Дискретизация расчетной области. Базовые требования к расчетной сетке. Дискретизация закона сохранения и переход к разностной схеме методом конечного объема. Общий вид конечно-объемной разностной схемы. СЛАУ. Хранение коэффициентов СЛАУ: нижние, верхние, диагональные коэффициенты матрицы, правая часть.

**Тема 3. Понятие численного моделирования и пакет OpenFOAM (2 часа)**

Понятие компьютерного моделирования. CAE-системы. Общие этапы процесса компьютерного моделирования. Пакет OpenFOAM. Формат и структура входных данных.

**Тема 4. Математические модели сплошных сред в OpenFOAM (4 часа)**

Язык записи математических моделей в OpenFOAM. Дифференциальные операторы в OpenFOAM. Поля и матрицы. Объемные и поверхностные поля.

Решатели OpenFOAM для моделей гидродинамики и теплообмена.

### **Раздел 3. Настройка элементов численного решения в OpenFOAM (4 часа)**

#### **Тема 5. Аппроксимация дифференциальных операторов (2 часа)**

Вычисление потоков через грани конечных объемов. Метод Грина-Гаусса. Интерполяция. Необходимость итераций. Невязка. Вычисление нормальных градиентов. Метод наименьших квадратов для вычисления градиентов в центрах ячеек.

#### **Тема 6. Решение разностных схем и решение СЛАУ (2 часа)**

Итерационные методы решения СЛАУ в OpenFOAM. Предобуславливание. Диагональное преобладание. Нижняя релаксация коэффициентов СЛАУ.

### **Раздел 4. Моделирование гидродинамики и теплообмена в OpenFOAM (4 часа)**

#### **Тема 7. Алгоритм SIMPLE (2 часа)**

Алгоритм SIMPLE. Уравнение для давления. Модифицированный алгоритм SIMPLE. Нижняя релаксация поля. Модифицированный алгоритм SIMPLE для сжимаемых течений.

#### **Тема 8. Алгоритмы SIMPLE, PISO и PIMPLE в OpenFOAM (2 часа).**

Решатель simpleFoam. Решатели icoFoam и pisoFoam. Решатель pimpleFoam. Решатели rhoSimpleFoam и rhoPimpleFoam. Решатель buoyantPimpleFoam. Псевдогидростатическое давление.

## **II. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА И САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ**

### **Практические занятия (32 часа)**

#### **Раздел 1. Введение. Численное моделирование сплошных сред в пакете OpenFOAM (4 часа)**

**Занятие 1.** Основные элементы структуры решателей OpenFOAM (2 часа).

**Занятие 2.** Общая структура задачи (2 часа).

#### **Раздел 2. Настройка входных данных и анализ решения в OpenFOAM (12 часов)**

**Занятие 3–4.** Одномерные задачи. Часть 1 (4 часа).

1. Задача Дирихле для уравнения теплопроводности в стержне.
  - a. Уравнение теплопроводности и решатель laplacianFoam.
  - b. Создание сетки с помощью утилиты blockMesh.
  - c. Задание одномерной геометрии.
  - d. Определение начальных и граничных условий.
  - e. Определение параметров модели.

- f. Файл controlDict.
  - g. Запуск через скрипты.
  - h. Визуализация в Paraview.
2. Теплопроводность при наличии источника тепла.
    - a. Объект fvOptions.
    - b. Функционал scalarSemiImplicitSource.
    - c. Визуализация в Gnuplot.
  3. Задача Неймана для уравнения теплопроводности в стержне.
    - a. Краевое условие fixedGradient
    - b. Краевое условие zeroGradient.
  4. Плоская симметрия в OpenFOAM.
    - a. Ограничение symmetryPlane.
    - b. Визуализация отраженного решения.

#### **Занятие 5.** Одномерные задачи. Часть 2 (2 часа).

1. Теплопроводность с локализованным источником тепла.
2. Построение неравномерной сетки из нескольких блоков.
3. Адаптация сетки с использованием одного блока.
4. Теплопроводность при неравномерных начальных условиях.

#### **Занятие 6.** Многомерные задачи (2 часа).

1. Теплопроводность в прямоугольнике.
2. Теплопроводность в кубе.
3. Круговые массивы в OpenFOAM.
4. Задачи с осевой и полярной симметрией.

#### **Занятие 7.** Импорт сетки в OpenFOAM (2 часа).

1. Построение сетки в пакете Gmsh и импорт в OpenFOAM.
2. Построение сетки в пакете Salome и импорт в OpenFOAM.

#### **Занятие 8.** Распараллеливание расчетов (2 часа).

### **Раздел 3. Настройка элементов численного решения (6 часов)**

#### **Занятие 9.** Вычисление конвективных потоков через грани ячеек (2 часа).

1. Задача конвективного переноса скалярной величины.
  - a. Уравнение конвекции-диффузии и решатель scalarTransportFoam.
  - b. Объект fvSchemes.
  - c. Интерполяция: схемы upwind и linear.
2. Итерации в решении. Начальная и конечная невязки.
  - a. Схема linearUpwind.
  - b. Объект fvSolution. Управление итерационным процессом.
  - c. Сходимость итерационного процесса. Невязки в OpenFOAM.

**Занятие 10.** Аппроксимация нормальных градиентов (2 часа).

1. Стационарная задача диффузии.
  - a. Аппроксимация производных по времени.
  - b. Схема Gauss linear orthogonal.
2. Аппроксимация нормального градиента на неортогональной сетке.
  - a. Неортогональная сетка.
  - b. Схема Gauss linear corrected.

**Занятие 11.** Решение СЛАУ. Нижняя релаксация СЛАУ (2 часа).

1. Решение СЛАУ в OpenFOAM.
  - a. Раздел solvers файла fvSolution.
  - b. Управление параметрами решения СЛАУ.
2. Нижняя релаксация СЛАУ.
  - a. Проблема диагонального преобладания.
  - b. Адаптация шага по времени.
  - c. Нижняя релаксация СЛАУ.

**Раздел 4. Модели гидродинамики и теплообмена в OpenFOAM (10 часов)**

**Занятие 12.** Основные гидродинамические решатели OpenFOAM (2 часа).

**Занятие 13–14.** Плоские течения вязкой несжимаемой жидкости (4 часа).

1. Течение в полости с подвижной крышкой.
2. Течение Куэтта.
3. Течение Блазиуса.

**Занятие 15–16.** Плоские течения газа при естественной конвекции (4 часа).

1. Естественная конвекция в закрытом объеме.
2. Естественная конвекция в открытом объеме.
  - a. Условие свободного потока.
  - b. Граничное условие inletOutlet.

### **Задания для самостоятельной работы**

**Самостоятельная работа № 1. Основные элементы ОС Linux и системы BlackBoard.**

*Требования:*

1. Уметь работать в командной консоли Linux.
2. Знать основные элементы системы BlackBoard.

## Самостоятельная работа № 2. Решение задачи стационарной теплопроводности.

*Требования.* Задание индивидуальное. Отчет – в форме расчетно-графической работы (ПР-12).

### III. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся по дисциплине включает:

- план-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине, в том числе примерные нормы времени на выполнение по каждому заданию;
- требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы;
- критерии оценки выполнения самостоятельной работы.

#### План-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине

№ п/п	Дата/сроки выполнения	Вид самостоятельной работы	Примерные нормы времени на выполнение	Форма контроля
1	1 неделя семестра	Linux. BlackBoard.	4 часа	УО-1 (собеседование/устный опрос)
2	2 неделя семестра	Повторение теоретического материала по темам 1 и 2	4 часа	УО-1 (собеседование/устный опрос)
3	3 неделя семестра	Самостоятельные задания к практическим занятиям 1 и 2. Подготовка к тесту по разделу 1.	4 часа	ПР-1 (тест)
4	4–5 неделя семестра	Выполнение самостоятельных заданий к практическому занятию 3–4.	4 часа	ПР-12
5	6–7 неделя семестра	Выполнение самостоятельных заданий к практическому занятию 5	4 часа	ПР-12
6	8–9 неделя	Выполнение	4 часа	ПР-12

	семестра	самостоятельных заданий к практическому занятию 6		
7	10 неделя семестра	Выполнение самостоятельных заданий к практическому занятию 7.	4 часа	ПР-12
8	11–12 неделя семестра	Выполнение самостоятельных заданий к практическому занятию 8. Подготовка к тесту по разделу 2.	6 часов	ПР-1 (тест)
9	13 неделя семестра	Выполнение самостоятельных заданий к практическому занятию 9	4 часа	ПР-12
10	14 неделя семестра	Выполнение самостоятельных заданий к практическому занятию 10	4 часа	ПР-12
11	15 неделя семестра	Подготовка к тесту по разделу 3	4 часа	ПР-1 (тест)
12	16 неделя семестра	Выполнение самостоятельных заданий к практическому занятию 13-14	4 часа	ПР-12
13	17–18 неделя семестра	Выполнение самостоятельных заданий к практическому занятию 15–16. Подготовка к тесту по разделу 3. Выполнение итогового самостоятельного задания	8 часов	ПР-1 (тест), ПР-12
Итого:			58 часов	

### **Рекомендации по самостоятельной работе студентов**

*Планирование и организация времени, отведенного на выполнение заданий самостоятельной работы.*

Изучив график выполнения самостоятельных работ, следует правильно её организовать. Рекомендуется изучить структуру каждого задания, обратить внимание на график выполнения работ, отчетность по каждому заданию

предоставляется в последнюю неделю согласно графику. Обратите внимание, что итоги самостоятельной работы влияют на окончательную оценку по дисциплине.

### *Работа с литературой.*

При выполнении ряда заданий требуется работать с литературой. Рекомендуется использовать различные возможности работы с литературой: фонды научной библиотеки ДВФУ (<http://www.dvfu.ru/library/>) и других ведущих вузов страны, а также доступных для использования научно-библиотечных систем.

В процессе выполнения самостоятельной работы рекомендуется работать со следующими видами изданий:

а) Научные издания, предназначенные для научной работы и содержащие теоретические, экспериментальные сведения об исследованиях. Они могут публиковаться в форме: монографий, научных статей в журналах или в научных сборниках;

б) Учебные издания (учебники, учебные пособия, тексты лекций), в которых содержится наиболее полное системное изложение дисциплины или какого-то ее раздела;

Существуют два метода работы над источниками:

– сплошное чтение обязательно при изучении учебника, глав монографии или статьи, то есть того, что имеет учебное значение. Старайтесь при сплошном чтении не пропускать комментарии, сноски, справочные материалы. Анализируйте рисунки, диаграммы, графики, старайтесь понять, какие тенденции и закономерности они отражают;

– метод выборочного чтения дополняет сплошное чтение; он применяется для поисков дополнительных, уточняющих необходимых сведений в словарях, энциклопедиях, иных справочных изданиях. Этот метод крайне важен для повторения изученного и его закрепления, особенно при подготовке к зачету.

Для того чтобы каждый метод принес наибольший эффект, необходимо фиксировать все важные моменты, связанные с интересующей вас темой.

Конспект – это способ самостоятельно изложить содержание книги или статьи в логической последовательности. Конспектируя какой-либо источник, надо стремиться к тому, чтобы немногими словами сказать о многом. В тексте конспекта желательно поместить не только выводы или положения, но и их аргументированные доказательства: факты, цифры, цитаты.

Составляя конспект, делайте ссылки на страницы, с которых вы взяли конспектируемое положение.

## Методические рекомендации по выполнению заданий для самостоятельной работы и критерии оценки

*Самостоятельная работа №1.* От обучающегося требуется:

1. Уметь работать в командной консоли Linux.
2. Знать основные элементы системы BlackBoard.

Результат выполнения задания оценивается посредством устного опроса.

Критерии оценки. Используется зачетная система. Допускается не более 2 ошибок.

*Самостоятельная работа № 3.* Отчет – в форме расчетно-графической работы (ПР-12).

Критерии оценки.

Оценка	Требования
<b>«зачтено»</b>	Задача стационарной теплопроводности решена в пакете OpenFOAM в соответствии со своим вариантом. Получены распределения температуры и построены в пакете Paraview. Сделано сравнение полученного решения с решением полученным «вручную». Студент способен пояснить каждый этап процесса решения.
<b>«не зачтено»</b>	Задача стационарной теплопроводности не решена или решение не верно. Задача полностью решена, но студент не может ответить на поясняющие вопросы.

## IV. КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА

№ п/п	Контролируемые модули/разделы / темы дисциплины	Код индикатора достижения компетенции	Результаты обучения	Оценочные средства – наименование	
				текущий контроль	промежуточная аттестация
1	Раздел 1. Введение. Численное моделирование сплошных сред в пакете OpenFOAM	ПК-2.1 Использует методы современной математики и моделирования при решении теоретических и прикладных задач	Знает базовые модели сплошных сред, реализованные в пакете программ OpenFOAM	УО-1; ПР-1	вопросы к зачету
		ПК-2.2 Осуществляет организационное управление научно-исследовательским и и научно-производственным и работами, научным коллективом	Знает базовые принципы организации процесса численного моделирования	УО-1; ПР-1	вопросы к зачету

2	Раздел 2. Настройка входных данных и визуализация решения в OpenFOAM	ПК-2.1 Использует методы современной математики и моделирования при решении теоретических и прикладных задач	Умеет подготавливать и запускать расчет физических процессов в пакете OpenFOAM	ПР-12;	вопросы к зачету
			Владеет основными методами визуализации и обработки результатов расчетов пакета OpenFOAM	ПР-12;	
		ПК-2.2 Осуществляет организационное управление научно-исследовательскими и научно-производственными работами, научным коллективом	Умеет организовывать все этапы процесса численного моделирования средствами OpenFOAM и Paraview	ПР-12	вопросы к зачету
			Владеет средствами пред- и постпроцессинга, предоставляемым популярными свободно распространяемыми прикладными пакетами	ПР-12	
		ПК-2.3 Готовит научные публикации и выступления на научных семинарах	Знает способы визуального представления результатов компьютерного моделирования в пакете OpenFOAM.	УО-1; ПР-12	вопросы к зачету
			Умеет выявлять и представлять основные закономерности физико-технических процессов на основе результатов компьютерного моделирования	ПР-12	вопросы к зачету
Владеет методами визуализации и экспорта результатов расчета пакета OpenFOAM в форматы, пригодные для вставки в текстовые редакторы и программы подготовки презентаций	ПР-12		вопросы к зачету		
3	Раздел 3. Настройка элементов численного решения в OpenFOAM	ПК-2.2 Осуществляет организационное управление научно-исследовательскими и научно-производственными работами, научным коллективом	Умеет организовывать все этапы процесса численного моделирования средствами OpenFOAM и Paraview	ПР-12	вопросы к зачету
		ПК-2.3 Готовит научные публикации и выступления на научных семинарах	Умеет выявлять и представлять основные закономерности физико-технических процессов на основе результатов компьютерного моделирования	ПР-12	вопросы к зачету
4	Раздел 4. Моделирование гидродинамики и теплообмена в OpenFOAM	ПК-2.2 Осуществляет организационное управление научно-исследовательскими и научно-производственными работами, научным коллективом	Умеет организовывать все этапы процесса численного моделирования средствами OpenFOAM и Paraview	ПР-12	вопросы к зачету
		ПК-2.3 Готовит научные публикации и выступления на научных семинарах	Умеет выявлять и представлять основные закономерности физико-технических процессов на основе результатов компьютерного моделирования	ПР-12	вопросы к зачету

		выступления на научных семинарах	результатов компьютерного моделирования		
	ПК-4.1 Организует и проводит исследование рынка услуг дополнительного образования детей и взрослых, обосновывает включение научно-исследовательских и научно-образовательных объектов в образовательную среду и процесс обучения математике и моделированию		Знает о возможностях и преимуществах пакета OpenFOAM при обучении математическому моделированию по сравнению с другими CAE-системами	УО-1	вопросы к зачету
			Умеет обосновывать включение научно-исследовательских объектов на основе пакета OpenFOAM в процесс обучения математике и моделированию	УО-1	вопросы к зачету
			Владеет инструментами пакета OpenOFAM при обучении математическому моделированию	УО-1	вопросы к зачету
	ПК-4.2 Проектирует элементы образовательной среды школьной математики на основе учета возможностей конкретного региона		Знает о возможностях применения пакета OpenFOAM в элементах школьной образовательной среды	УО-1	вопросы к зачету
			Умеет подготавливать и представлять наглядные решения математических и физических задач для научно-популярных лекций в школах	ПР-12	вопросы к зачету
			Владеет методами наглядного и популярного представления математических и физических задач	ПР-12	вопросы к зачету
	ПК-4.3 Планирует и проектирует образовательный процесс, элементы образовательной программы		Знает о способах применения пакета OpenFOAM при обучении математическому моделированию и численным методам	УО-1	вопросы к зачету
			Умеет планировать и проектировать образовательный процесс, элементы образовательной программы	УО-1	вопросы к зачету
			Владеет возможностями пакета OpenFOAM при обучении математическому моделированию и численным методам	УО-1	вопросы к зачету

Типовые контрольные задания, методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений и навыков и (или) опыта деятельности, а также качественные критерии оценивания, которые описывают уровень сформированности компетенций, представлены в разделе VIII.

## V. СПИСОК УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Основная литература

1. Moukalled F. The Finite Volume Method in Computational Fluid Dynamics [Electronic resource] / Moukalled F., Mangani L., Darwish M. - Cham : Springer International Publishing, 2015. – 791 p. – Режим доступа: <https://lib.dvfu.ru/lib/item?id=chamo:861207&theme=FEFU>

2. Гулин, А. В. Введение в численные методы в задачах и упражнениях : учебное пособие / А. В. Гулин, О. С. Мажорова, В. А. Морозова. - СПб : АРГАМАК-МЕДИА : ИНФРА-М, 2019. - 368 с. – Режим доступа: <https://lib.dvfu.ru/lib/item?id=Znanium:Znanium-883943&theme=FEFU>

3. Павловский, В. А. Вычислительная гидродинамика. Теоретические основы: Учебное пособие / В. А. Павловский, Д. В. Никущенко. – 2-е изд., стер. – СПб.: Издательство «Лань», 2021. – 368 с. – Режим доступа: <https://lanbook.com/catalog/fizika/vychislitel'naya-gidrodinamika-teoreticheskie-osnovy/>

4. Учайкин, В. В. Механика. Основы механики сплошных сред. Задачи с указаниями и ответами / В. В. Учайкин. – СПб.: Издательство «Лань», 2018. – 320 с. – Режим доступа: <https://lanbook.com/catalog/fizika/mekhanika-osnovy-mekhaniki-sploshnykh-sred-zadachi-s-ukazaniyami-i-otvetami/>

### Дополнительная литература

1. Андерсон Д. Вычислительная гидромеханика и теплообмен. Том 1 / Андерсон Д., Таннехилл Дж., Плетчер Р. – М. : Мир, 1990. – 384 с. URL: <https://lib.dvfu.ru/lib/item?id=chamo:28231&theme=FEFU>

2. Андерсон Д. Вычислительная гидромеханика и теплообмен. Том 2 / Андерсон Д., Таннехилл Дж., Плетчер Р. – М. : Мир, 1990. – 384 с. URL: <https://lib.dvfu.ru/lib/item?id=chamo:28232&theme=FEFU>

3. Патанкар, С. Численные методы решения задач теплообмена и

динамики жидкости: Пер. с англ. / С. Патанкар. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 152 с.

4. Рябенский, В. С. Введение в вычислительную математику [Электронный ресурс] / В. С. Рябенский. - 3-е изд., испр. и доп. - Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2008. - 288 с.  
– URL: <https://znanium.com/catalog/product/544692>

#### **Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»**

1. Учебник Moukalled F. The Finite Volume Method in Computational Fluid Dynamics <http://link.springer.com/openurl?genre=book&isbn=978-3-319-16874-6>.
2. Сайт OpenFOAM [www.openfoam.com](http://www.openfoam.com).
3. OpenFOAMWiki [wiki.openfoam.com](http://wiki.openfoam.com).
4. Форум CFD Online [cfd-online.com](http://cfd-online.com).

#### **Перечень информационных технологий и программного обеспечения**

1. Пакет OpenFOAM ([www.openfoam.com](http://www.openfoam.com))
2. Пакет программного обеспечения Microsoft Office

#### **Профессиональные базы данных и информационные справочные системы**

1. База данных Scopus <http://www.scopus.com/home.url>
2. База данных Web of Science <http://apps.webofknowledge.com/>

## **VI. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Планирование и организация времени, отведенного на изучение дисциплины.** Приступить к освоению дисциплины следует в самом начале учебного семестра. Рекомендуем изучить структуру и основные положения Рабочей программы дисциплины. Обратит внимание, что итоги самостоятельной работы влияют на окончательную оценку по дисциплине. Все

задания необходимо выполнять и предоставлять на оценку в соответствии с графиком.

В процессе изучения материалов учебного курса предлагаются следующие формы работ: чтение лекций, практические задания, задания для самостоятельной работы.

*Лекционные занятия* призваны помочь учащимся ориентироваться в предлагаемом материале, заложить научные и методологические основы для самостоятельной работы.

*Практические занятия* акцентированы на наиболее принципиальных вопросах курса и направлены на выработку практических умений.

В ходе *самостоятельной работы* студенты отбирают необходимый материал по изучаемому вопросу и анализируют его. Студентам необходимо ознакомиться с основными источниками, без которых невозможно полноценное понимание проблематики курса.

Во всех формах контроля знаний, включая экзамен, внимание обращается на понимание проблематики курса, на умение практически применять знания и делать выводы.

**Работа с литературой.** Рекомендуется использовать различные возможности работы с литературой: фонды научной библиотеки ДВФУ и электронные библиотеки (<http://www.dvfu.ru/library/>), а также доступные для использования другие научно-библиотечные системы.

**Подготовка к зачету.** К сдаче зачета допускаются обучающиеся, выполнившие все задания, предусмотренные учебной программой дисциплины, посетившие не менее 85% аудиторных занятий.

## VII. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Перечень материально-технического и программного обеспечения дисциплины приведен в таблице.

### Материально-техническое и программное обеспечение дисциплины

Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
D820 - учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, групповых и	Мультимедийное оборудование: Экран проекционный ScreenLine Trim White Ice 50 см черная кайма сверху,	

индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации (36 п.м.)	размер рабочей области 236x147 см Документ-камера Avervision CP355AF ЖК-панель 47", Full HD, LG M4716 CCBA Мультимедийный проектор Mitsubishi EW330U, 3000 ANSI Lumen, 1280x800 Сетевая видеокамера Multipix MP-HD718.	
D732 - учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации (45 п.м.)	Мультимедийное оборудование: Экран проекционный Projecta Elpro Large Electron, 300x173 см, размер рабочей области 290x163 Документ-камера Avervision CP 355 AF Мультимедийный проектор, Mitsubishi FD630U, 4000 ANSI Lumen, 1920x1080 Сетевая видеокамера Multipix MP-HD718 ЖК-панель 47", Full HD, LG M4716 CCBA ЖК-панель 42", Full HD, LG M4214 CCBA ЖК-панель 42", Full HD, LG M4214 CCBA.	

Для освоения дисциплины требуется компьютерный класс с мультимедийным оборудованием и установленными пакетами OpenFOAM версии v2012, Paraview, Gnuplot, Gmsh, Salome.

Для проведения учебных занятий по дисциплине, а также для организации самостоятельной работы студентам доступно следующее лабораторное оборудование и специализированные кабинеты, соответствующие действующим санитарным и противопожарным нормам, а также требованиям техники безопасности при проведении учебных и научно-производственных работ.

В целях обеспечения специальных условий обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в ДВФУ все здания оборудованы пандусами, лифтами, подъемниками, специализированными местами, оснащенными туалетными комнатами, табличками информационно-навигационной поддержки.

## **VIII. ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**

Для дисциплины «Решение прикладных задач в пакете OpenFOAM» используются следующие оценочные средства:

Устный опрос:

1. Собеседование (УО-1)

Письменные работы:

1. Тест (ПР-1)

2. Контрольно-расчетная работа (ПР-12)

### **Устный опрос**

Устный опрос позволяет оценить знания и кругозор студента, умение логически построить ответ, владение монологической речью и иные коммуникативные навыки.

Обучающая функция состоит в выявлении деталей, которые по каким-то причинам оказались недостаточно осмысленными в ходе учебных занятий и при подготовке к зачёту.

Собеседование (УО-1) – средство контроля, организованное как специальная беседа преподавателя с обучающимся на темы, связанные с изучаемой дисциплиной, и рассчитанное на выяснение объема знаний обучающегося по определенному разделу, теме, проблеме и т.п.

Презентация / сообщение (УО-3) – продукт самостоятельной работы обучающегося, представляющий собой публичное выступление по представлению полученных результатов решения определенной учебно-практической, учебно-исследовательской или научной темы.

### **Письменные работы**

Письменный ответ приучает к точности, лаконичности, связности изложения мысли. Письменная проверка используется во всех видах контроля и осуществляется как в аудиторной, так и во внеаудиторной работе.

Тест (ПР-1) – система стандартизированных заданий, позволяющая автоматизировать процедуру измерения уровня знаний и умений обучающегося.

Расчетно-графическое задание (ПР-12) – средство проверки умений применять полученные знания по заранее определенной методике для решения задач или заданий по модулю или дисциплине.

**Методические рекомендации, определяющие процедуры оценивания результатов освоения дисциплины**

## **Оценочные средства для промежуточной аттестации**

Промежуточная аттестация студентов по дисциплине «Решение прикладных задач в пакете OpenFOAM» проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной. Форма отчётности по дисциплине – зачёт (3-й, осенний семестр). Зачет по дисциплине включает ответы на 3 вопроса, каждый из которых относится к разделам 2, 3 и 4.

### **Методические указания по сдаче зачёта**

Зачёт принимается ведущим преподавателем. При большом количестве групп у одного преподавателя или при большой численности потока по распоряжению директора департамента (заместителя директора по учебной и воспитательной работе) допускается привлечение в помощь ведущему преподавателю других преподавателей. В первую очередь привлекаются преподаватели, которые проводили лабораторные занятия по дисциплине в группах.

В исключительных случаях, по согласованию с заместителем директора Института по учебной и воспитательной работе, директор департамента имеет право принять зачёт в отсутствие ведущего преподавателя.

Форма проведения зачёта (устная, письменная и др.) утверждается на заседании департамента по согласованию с руководителем в соответствии с рабочей программой дисциплины.

Во время проведения зачёта студенты могут пользоваться рабочей программой дисциплины, а также с разрешения преподавателя, проводящего зачёт, справочной литературой и другими пособиями (учебниками, учебными пособиями, рекомендованной литературой и т.п.).

Время, предоставляемое студенту на подготовку к ответу на зачёте, должно составлять не более 20 минут. По истечении данного времени студент должен быть готов к ответу.

Присутствие на зачёте посторонних лиц (кроме лиц, осуществляющих проверку) без разрешения соответствующих лиц (ректора либо проректора по учебной и воспитательной работе, директора Института, руководителя ОПОП или директора департамента) не допускается. Инвалиды и лица с ограниченными возможностями здоровья, не имеющие возможности самостоятельного передвижения, допускаются на зачёт с сопровождающими.

При промежуточной аттестации обучающимся устанавливается оценка «зачтено» или «не зачтено», которая вносится в экзаменационную ведомость. При неявке студента на зачёт в ведомости делается запись «не явился».

## Вопросы к зачёту

1. Функционал операторов `fvm::ddt` и `fvc::ddt` и различие между ними.
2. Функционал операторов `fvm::div` и `fvc::div` и различие между ними.
3. Функционал операторов `fvm::laplacian` и `fvc::laplacian` и различие между ними.
4. Какую операцию выполняет оператор `fvc::grad`?
5. Какую операцию выполняет оператор `fvm::Sp`?
6. Какую модель реализует решатель `laplacianFoam`?
7. Какую модель реализует решатель `scalarTransportFoam`?
8. Какую модель реализует решатель `icoFoam`?
9. Какой решатель OpenFOAM реализует модель теплопроводности?
10. Какой решатель OpenFOAM реализует модель конвекции-диффузии?
11. Какой решатель OpenFOAM реализует модель нестационарного течения несжимаемой жидкости?
12. Какой решатель OpenFOAM реализует модель стационарного течения несжимаемой жидкости?
13. Какие способы построения расчетной сетки в OpenFOAM вам известны?
14. Какие способы визуализации расчетов, полученных в OpenFOAM, вам известны?
15. Какое уравнение реализовано в следующем коде:  
`fvm::div(U,T)+fvm::laplacian(a,T) == 0`?
16. Какое уравнение реализовано в следующем коде:  
`fvm::ddt(T)+fvm::laplacian(a,T)-fvm::Sp(k,T) == 0`?
17. Какие минимально необходимые каталоги должны быть расположены в директории задачи для успешного запуска решателя OpenFOAM?
18. Какие основные объекты/файлы должны быть расположены в каталоге `system`?
19. За какие параметры расчета отвечает файл `controlDict`?
20. За какие параметры расчета отвечает файл `fvSolutions`?
21. За какие параметры расчета отвечает файл `fvSchemes`?
22. Какие изменения в модель позволяет вносить объект `fvOptions`?
23. Какие основные объекты/файлы расположены в каталоге `constant`?
24. Что является основным результатом запущенного расчета в OpenFOAM?
25. Какое граничное условие реализует ограничение `fixedValue`?
26. Какое граничное условие реализует ограничение `zeroGradient`?
27. Какое граничное условие реализует ограничение `fixedGradient`?

28. Какое граничное условие реализует ограничение noSlip?  
 29. Какое ограничение на расчет реализует ограничение symmetryPlane?  
 30. Какое ограничение на расчет реализует ограничение cyclic?  
 31. Какое ограничение на расчет реализует ограничение wedge?

### Критерии выставления оценки студенту на зачёте

К зачёту допускаются обучающиеся, выполнившие программу обучения по дисциплине, прошедшие все этапы текущей аттестации.

Оценка	Требования к сформированным компетенциям
«зачтено»	Студент ответил на 2 вопроса из 3 или все вопросы, показав развернутое связное, логическое, последовательное раскрытие предмета. Студент обнаружил способность применить полученные знания на практике.
«не зачтено»	Студент не смог дать обоснованного ответа на 2 и более вопросов.

### Оценочные средства для текущей аттестации

Текущая аттестация студентов по дисциплине проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной.

Текущая аттестация проводится в форме контрольных мероприятий (собеседования, теста, контрольно-расчетных работ) по оцениванию фактических результатов обучения студентов и осуществляется ведущим преподавателем.

Объектами оценивания выступают:

- учебная дисциплина: активность на занятиях, своевременность выполнения различных видов заданий, посещаемость всех видов занятий по аттестуемой дисциплине;
- степень усвоения теоретических знаний;
- уровень овладения практическими умениями и навыками по всем видам учебной работы;
- результаты самостоятельной работы.

Составляется календарный план контрольных мероприятий по дисциплине. Оценка посещаемости, активности обучающихся на занятиях, своевременность выполнения различных видов заданий ведётся на основе журнала, который ведёт преподаватель в течение учебного семестра.

## Вопросы для собеседования / устного опроса

### Раздел 1.

1. Какую операцию выполняет оператор `fvm::Sp`?
2. Функционал операторов `fvm::ddt` и `fvc::ddt` и различие между ними.
3. Функционал операторов `fvm::div` и `fvc::div` и различие между ними.
4. Функционал операторов `fvm::laplacian` и `fvc::laplacian` и различие между ними.
5. Какую операцию выполняет оператор `fvc::grad`?
6. Какую операцию выполняет оператор `fvm::Sp`?
7. Какое уравнение реализовано в следующем коде:  
`fvm::div(U,T)+fvm::laplacian(a,T)==0`?
8. Какое уравнение реализовано в следующем коде:  
`fvm::ddt(T)+fvm::laplacian(a,T)-fvm::Sp(k,T)==0`?

### Раздел 2.

1. Какой решатель OpenFOAM реализует модель теплопроводности?
2. Какую модель реализует решатель `laplacianFoam`?
3. Как способы построения расчетной сетки в OpenFOAM вам известны?
4. Какое граничные условие реализуют ограничения `fixedValue`, `fixedGradient`, `zeroGradient`?
5. Какое ограничение на расчет реализует ограничение `symmetryPlane`, `cyclic`, `wedge`?
6. Какие минимально необходимые каталоги должны быть расположены в директории задачи для успешного запуска решателя OpenFOAM?
7. Что является основным результатом запущенного расчета в OpenFOAM?
8. Какие способы визуализации расчетов, полученных в OpenFOAM, вам известны?
9. Какие основные объекты/файлы должны быть расположены в каталоге `system`?
10. За какие параметры расчета отвечает файл `controlDict`?
11. Какие изменения в модель позволяет вносить объект `fvOptions`?

### Раздел 3.

1. Какой решатель OpenFOAM реализует модель конвекции-диффузии?
2. Какую модель реализует решатель `scalarTransportFoam`?
3. За какие параметры расчета отвечает файл `fvSolutions`?
4. За какие параметры расчета отвечает файл `fvSchemes`?
5. Как выбрать решатель для конкретной СЛАУ в OpenFOAM?
6. Как задать значение коэффициента релаксации для конкретной СЛАУ в OpenFOAM?

7. Как задать схемы интерполяции для разностных схем в OpenFOAM?

#### Раздел 4.

1. Какую модель реализует решатель isoFoam?
2. Какой решатель OpenFOAM реализует модель нестационарного течения несжимаемой жидкости?
3. Какой решатель OpenFOAM реализует модель стационарного течения несжимаемой жидкости?
4. Какой решатель OpenFOAM реализует модель течения сжимаемой жидкости при естественной и принудительной конвекции?
5. Какое граничное условие реализует ограничение noSlip?

#### Критерии оценивания

Оценка	Требования
«зачтено»	Студент показал развернутый ответ на вопрос, неточности в ответе исправляет самостоятельно.
«не зачтено»	Не смог ответить на заданный вопрос и на уточняющие вопросы.

#### Типовые задания для тестов

##### Раздел 1.

1. Даны скалярные поля  $k$  и  $T$ . Какая математическая запись соответствует операторам `fvm::laplacian(k,T)` и `fvc::laplacian(k,T)`?
  - a.  $k\Delta T$
  - b.  $\text{div}(k \text{ grad } T)$
  - c.  $|k - T|$
  - d.  $\nabla k \cdot \nabla T$
2. Даны поверхностное скалярное поле  $\phi$ , являющееся полем потока векторного поля  $U$ , и скалярное поле  $T$ . Какую операцию выполняет оператор `fvm::div(phi,T)`?
  - a. Вычисляет дивергенцию поля  $\vec{U}T$  по заданной схеме интерполяции
  - b. Вычисляет поле  $\text{div}(\vec{U}T)$
  - c. Вычисляет коэффициенты матрицы СЛАУ, соответствующие дискретизации оператора  $\text{div}(\vec{U}T)$
  - d. Вычисляет поле  $\text{div}(\phi T)$  по заданной схеме для поля  $\vec{U}$

##### Раздел 2.

1. Все задачи OpenFOAM всегда решаются в
  - a. одномерном пространстве

- b. двумерном пространстве
  - c. трехмерном пространстве
2. Параметр simpleGrading утилиты blockMesh
    - a. Требуется на вход минимум три числа с плавающей запятой, каждое из которых задает отношение размера последней к размеру первой ячейки вдоль осей x, y, z
    - b. Требуется на вход минимум три целых числа, каждое из которых задает отношение размера последней к размеру первой ячейки вдоль осей x, y, z
    - c. Задает масштаб для размеров ячеек.
    - d. Градуирует размеры ячеек по заданному правилу

### Раздел 3.

1. Какой файл позволяет задать схемы интерполяции для дискретизации дифференциальных операторов в OpenFOAM?
  - a. constant
  - b. system
  - c. fvOptions
  - d. fvSchemes
  - e. fvSolution
2. Коэффициенты релаксации СЛАУ задаются в
  - a. разделе relaxationFactors файла fvSchemes
  - b. разделе relaxationFactors файла fvSolution
  - c. файле controlDict

### Раздел 4.

1. Какое граничное условие реализует ограничение noSlip?
  - a. непроницаемости
  - b. прилипания
  - c. задает нормальный поток

## Задания для контрольно-расчетных работ

Задание для итоговой контрольно-расчетной работы.

Дано уравнение Пуассона:

$$-\lambda \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) = Q, (x, y) \in \Omega.$$

Это уравнение описывает установившийся процесс распространения

тепла в сплошной среде, занимающую область  $\Omega$  на декартовой плоскости. На границе области  $\Omega$  известны следующие условия:

$$T = \tilde{T}(x, y), (x, y) \in \Gamma_1,$$

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial n} = Q_b, (x, y) \in \Gamma_2.$$

Нужно решить поставленную задачу в пакете OpenFOAM на заданной сетке. Задание индивидуальное.

### Критерии оценки контрольно-расчетных работ

Оценка	Требования
«зачтено»	Студент выполнил контрольно-расчетную работу в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности этапов проведения работы, при необходимости задает наводящие вопросы.
«не зачтено»	Студент выполнил работу не полностью, объем выполненной части не позволяет запускать расчет; в ходе работы допущены грубые ошибки. Контрольно-расчетная работа не выполнена.