

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

ИНСТИТУТ ЛАЗЕРНЫХ И ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

КАФЕДРА ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ

ОДОБРЕНО УМС ИИКС

Протокол № 8/1/2025

от 25.08.2025 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В СРЕДЕ OPENFOAM**

Направление подготовки  
(специальность)

[1] 01.03.02 Прикладная математика и информатика

Семестр	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практической подготовки/ В	СРС, час.	КСР, час.	Форма(ы) контроля, экз./зач./КР/КП
7	2	72	16	0	32		24	0	30
Итого	2	72	16	0	32	0	24	0	

## АННОТАЦИЯ

Курс является ознакомлением с современными методами пространственного гидродинамического и теплового анализа на примере простейших численных моделей с использованием свободного программного обеспечения SALOME, OpenFOAM и ParaView. В результате освоения курса слушатели изучат основных понятий, инструментов и алгоритмов работы свободных пакетов. Получат базовых навыков по проведению математического моделирования в задачах механики сплошной среды с использованием пакетов прикладных программ.

### 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения учебной дисциплины является наглядное знакомство студентов с некоторыми пакетами прикладного программного обеспечения используемого при проведении математического моделирования, достаточного для успешного и более основательного изучения современного прикладного программного обеспечения.

По окончании курса студенты получат навыки и знания по: эффективному использованию инструментария пакетов прикладных программ для выполнении основного цикла расчетов — от подготовки исходных данных до обработки результатов; проведению простейших гидродинамических и тепловых расчетов; подготовке геометрии расчетных областей и генерации сеток в среде SALOME; подготовке расчетной модели, проведению и мониторингу расчета в OpenFOAM; визуализации результатов в ParaView.

### 2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина логически и содержательно-методически связана с материалами следующих дисциплин, читаемых студентам физико-математических направлений.

### 3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
--------------------------------	--

Профессиональные компетенции в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

Задача профессиональной деятельности (ЗПД)	Объект или область знания	Код и наименование профессиональной компетенции; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
научно-исследовательский			

<p>Использование современного математического аппарата, вычислительной техники и программного обеспечения для создания цифровых двойников объектов и процессов.</p>	<p>Виртуальные модели, описывающие различные физические, технологические, экономические и другие процессы.</p>	<p>ПК-8.1 [1] - способен создавать цифровых двойников физических объектов и процессов</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 06.001, 06.042</p>	<p>З-ПК-8.1[1] - Знать математические алгоритмы, подходы и методы для создания моделей процессов в бизнесе, науке и технике ; У-ПК-8.1[1] - Уметь использовать современный математический аппарата и прикладные программные комплексы для моделирования технологических и бизнес-процессов; В-ПК-8.1[1] - Владеть навыками создания цифровых двойников</p>
<p>Использование современных информационных технологий и Интернет ресурсов для поиска и систематизации информации.</p>	<p>Информационные и Интернет ресурсы, содержащие результаты научных исследований и научно-техническую документацию.</p>	<p>ПК-3 [1] - Способен осуществлять целенаправленный поиск в сети Интернет и других источниках информации о научных достижениях в области прикладной математики , а также о современных программных средствах, относящихся к предмету исследований</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 06.013</p>	<p>З-ПК-3[1] - знать основные референтные базы данных научных публикаций, поисковые системы научной литературы;; У-ПК-3[1] - уметь осуществлять поиск научной литературы с использованием существующих поисковых систем и референтных баз данных;; В-ПК-3[1] - владеть навыками поиска научной литературы;</p>
<b>проектный</b>			
<p>Реализация научных проектов, составление научно-технических отчетов, конкурсной документации, экспертиза научных проектов по тематике профессиональной деятельности, составление рецензий на научные статьи, подготовка заявок на</p>	<p>Научно-исследовательские проекты, научно-техническая документация, научные статьи и заявки на проведение научно-исследовательских проектов.</p>	<p>ПК-5 [1] - способен к разработке, реализации и оценке проектов научно-исследовательской и инновационной направленности</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.008, 40.011</p>	<p>З-ПК-5[1] - знать принципы оценки научно-исследовательских проектов при проведении их экспертизы ; У-ПК-5[1] - уметь проводить разработку и экспертизу научно-исследовательских проектов;;</p>

выполнение научно-исследовательских проектов.			В-ПК-5[1] - владеть навыками разработки и экспертизы научно-исследовательских проектов;
---	--	--	---

#### 4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование ответственности за профессиональный выбор, профессиональное развитие и профессиональные решения (В18)
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование научного мировоззрения, культуры поиска нестандартных научно-технических/практических решений, критического отношения к исследованиям лженаучного толка (В19)
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование профессионально значимых установок: не производить, не копировать и не использовать программные и технические средства, не приобретённые на законных основаниях; не нарушать признанные нормы авторского права; не нарушать тайны передачи сообщений, не практиковать вскрытие информационных систем и сетей передачи данных; соблюдать конфиденциальность доверенной информации (В40)

#### 5. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Разделы учебной дисциплины, их объем, сроки изучения и формы контроля:

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практ. (семинары)/ Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	7 Семестр						
1	Первый раздел	1-8	8/0/16		25	КИ-8	З-ПК-8.1, У-ПК-8.1, В-ПК-8.1, З-ПК-3, У-ПК-3,

						В-ПК-3, 3-ПК-5, У-ПК-5, В-ПК-5
2	Второй раздел	9-16	8/0/16	25	КИ-16	3-ПК-8.1, У-ПК-8.1, В-ПК-8.1, 3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, 3-ПК-5, У-ПК-5, В-ПК-5
	<i>Итого за 7 Семестр</i>		16/0/32	50		
	<b>Контрольные мероприятия за 7 Семестр</b>			50	ЗО	3-ПК-8.1, У-ПК-8.1, В-ПК-8.1, 3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, 3-ПК-5, У-ПК-5, В-ПК-5

\* – сокращенное наименование формы контроля

\*\* – сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

Обозначение	Полное наименование
ЗО	Зачет с оценкой
КИ	Контроль по итогам
3	Зачет

## КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>7 Семестр</i>	16	0	32
<b>1-8</b>	<b>Первый раздел</b>	8	0	16
1	<b>Тема 1. Введение</b> Примеры задач механики сплошной среды (МСС). Алгоритм процесса решения задач механики сплошной среды. Примеры пакетных решений. Свободное программное обеспечение (СПО) для задач МСС.	Всего аудиторных часов 2 Онлайн 0	0 0 0	4 0 0
2 - 4	<b>Тема 2. OpenFOAM – математическое моделирование МСС</b> Основные принципы. Системное окружение OpenFOAM. Файловая структура пакета. Формат хранения данных.	Всего аудиторных часов 2 Онлайн 0	0 0 0	4 0 0
5 - 7	<b>Тема 3. Salome – CAD/CAE интегрированная</b>	Всего аудиторных часов		

	<b>платформа</b> Поверхностный обзор возможностей Salome. Основной интерфейс. Трехмерное моделирование, подготовка геометрии. Генерация сетки. Создание структурированных и неструктурных сеток. Контроль качества расчетных сеток. Визуализация.	2	0	4
	<b>Онлайн</b>			
	0	0	0	
8	<b>Тема 4. Paraview – визуализация результатов моделирования</b> Конвейер визуализации. Панель управления объектом. Панель отображения.	Всего аудиторных часов		
	2 0 4			
	<b>Онлайн</b>			
	0	0	0	
<b>9-16</b>	<b>Второй раздел</b>	8	0	16
9	<b>Тема 4. Paraview – визуализация результатов моделирования</b> Основная панель, использование фильтров. Практика применения: визуализация скалярного поля, визуализация векторного поля, интерполяция, визуализация линий тока. Графики распределения вдоль направлений. Анализ результатов.	Всего аудиторных часов		
	4 0 8			
	<b>Онлайн</b>			
	0	0	0	
10 - 16	<b>Тема 5. Работа с пакетами OpenFOAM и Paraview на основе готовых примеров</b> Расчет поля напряжения в пластине. Несжимаемое течение в каверне. Турбулентное течение за обратным уступом.	Всего аудиторных часов		
	4 0 8			
	<b>Онлайн</b>			
	0	0	0	

Сокращенные наименования онлайн опций:

Обозначение	Полное наименование
ЭК	Электронный курс
ПМ	Полнотекстовый материал
ПЛ	Полнотекстовые лекции
ВМ	Видео-материалы
АМ	Аудио-материалы
Прз	Презентации
Т	Тесты
ЭСМ	Электронные справочные материалы
ИС	Интерактивный сайт

## ТЕМЫ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Недели	Темы занятий / Содержание
	<i>7 Семестр</i>
1 - 2	<b>Лабораторная работа №1</b> Теплопроводность (laplasianFoam). 2D и 3D тепло.
3 - 4	<b>Лабораторная работа №2</b> Уравнение переноса и диффузии (solidDisplacementFoam). Кейс с диффузией (скорость переноса = 0) возмущения в виде квадратика в постоянном поле скоростей (геометрия из cavity, Н.У. - setFields). Подготовка кейса с переносом возмущения в виде ступеньки в постоянном поле скоростей (геометрия из cavity, Н.У. - setFields). Исследовать зависимость от выбранной схемы (рассмотрение 3-5 схем). Проверка сходимости на сгущающейся сетке (50-100-200 ячеек).
5 - 8	<b>Лабораторная работа №3</b> Уравнение переноса и диффузии (solidDisplacementFoam). Продолжение счёта с

	изменением условий. Исследовать схемную диффузию. Скорость по диагонали области, Г.У. по двум сторонам 1 и 0, "диффузионный конус".
9 - 12	<b>Лабораторная работа №4</b> Запуск на нескольких процессорах, на примере модели VoF (interFoam). damBreak запуск с использованием трёх базового примера. Оценка ускорения при использовании нескольких потоков. Оценка интегрального закона сохранения. Добавление датчиков. Дополнительного входа для фазы alphaWater=1. Оценка интегрального закона сохранения.
13 - 16	<b>Лабораторная работа №5</b> Перенос результатов между кейсами (simpleFoam + scalarTransportFoam). Пример с обратным уступом (pitzDaily) - стационарное решение. Пример перенос вещества в заданном поле скоростей. Вычисление интергала по пассивному скаляру. Проверка закона сохранения.

## 6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Лекции проводятся в традиционной форме с использованием мультимедийного проектора или интерактивной доски. На лабораторных работах и при выполнении домашних заданий студенты используют персональный компьютеры. Обсуждение результатов математического моделирования проводится в интерактивной форме дискуссии и предполагает активное участие студентов. Обязательным требованием является самостоятельная работа студентов, выполнение индивидуальных заданий, работа с литературой.

## 7. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

Компетенция	Индикаторы освоения	Аттестационное мероприятие (КП 1)
ПК-3	З-ПК-3	ЗО, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-3	ЗО, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-3	ЗО, КИ-8, КИ-16
ПК-5	З-ПК-5	ЗО, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-5	ЗО, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-5	ЗО, КИ-8, КИ-16
ПК-8.1	З-ПК-8.1	ЗО, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-8.1	ЗО, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-8.1	ЗО, КИ-8, КИ-16

## Шкалы оценки образовательных достижений

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-

балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов	Оценка по 4-х балльной шкале	Отметка о зачете	Оценка ECTS
90-100	5 – «отлично»	«Зачтено»	A
85-89			B
75-84	4 – «хорошо»		C
70-74			D
65-69	3 – «удовлетворительно»		E
60-64			
Ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	«Не зачтено»	F

Оценка «отлично» соответствует глубокому и прочному освоению материала программы обучающимся, который последовательно, четко и логически стройно излагает свои ответы, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответах материалы монографической литературы.

Оценка «хорошо» соответствует твердым знаниям материала обучающимся, который грамотно и, по существу, излагает свои ответы, не допуская существенных неточностей.

Оценка «удовлетворительно» соответствует базовому уровню освоения материала обучающимся, при котором освоен основной материал, но не усвоены его детали, в ответах присутствуют неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности.

Отметка «зачтено» соответствует, как минимум, базовому уровню освоения материала программы, при котором обучающийся владеет необходимыми знаниями, умениями и навыками, умеет применять теоретические положения для решения типовых практических задач.

Оценку «неудовлетворительно» / отметку «не зачтено» получает обучающийся, который не знает значительной части материала программы, допускает в ответах существенные ошибки, не выполнил все обязательные задания, предусмотренные программой. Как правило, такие обучающиеся не могут продолжить обучение без дополнительных занятий.

## **8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:**

**ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:**

**ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:**

Специальное программное обеспечение не требуется

LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

<https://online.mephi.ru/>

<http://library.mephi.ru/>

## **9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

## **10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ**

### **1. Проведение лекционных и практических/лабораторных занятий**

В рамках курса предусмотрено проведение лекционных и практических/лабораторных занятий. Используя прослушанный на лекциях материал, студенты должны научиться решать поставленные перед ними задачи.

В рамках занятий проводится активное обсуждение и анализ поставленных задач, вопросов и затруднений возникающих в процессе подготовки заданий.

На каждом занятии отмечается посещаемость студентов.

При изучении курса студентам рекомендуется внимательно ознакомиться с программой дисциплины, ознакомиться с ресурсами перечисленными в разделе рекомендованная литература.

### **2. Организация контроля успеваемости студентов**

Организация контроля успеваемости студентов проводится с использование фонда оценочных средств по данной дисциплине (ФОС). Фонд оценочных средств (ФОС) – является неотъемлемой частью учебно-методического комплекса учебной дисциплины и предназначен для контроля и оценки образовательных достижений обучающихся, освоивших программу данной дисциплины.

При проведении текущего контроля успеваемости по дисциплине используются

- Лабораторные работы
- Домашнее задание

Рубежный контроль проводится на 8 и 16 неделях. Промежуточный контроль выставляется на основе зачета.

## **11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ**

### **1. Проведение лекционных и практических/лабораторных занятий**

В рамках курса предусмотрено проведение лекционных и практических/лабораторных занятий. Используя прослушанный на лекциях материал, студенты должны научиться решать поставленные перед ними задачи.

В рамках занятий проводится активное обсуждение и анализ поставленных задач, вопросов и затруднений возникающих в процессе подготовки заданий.

На каждом занятии отмечается посещаемость студентов.

При изучении курса студентам рекомендуется внимательно ознакомиться с программой дисциплины, ознакомиться с ресурсами перечисленными в разделе рекомендованная литература.

## 2. Организация контроля успеваемости студентов

Организация контроля успеваемости студентов проводится с использование фонда оценочных средств по данной дисциплине (ФОС). Фонд оценочных средств (ФОС) – является неотъемлемой частью учебно-методического комплекса учебной дисциплины и предназначен для контроля и оценки образовательных достижений обучающихся, освоивших программу данной дисциплины.

При проведении текущего контроля успеваемости по дисциплине используются

- Лабораторные работы
- адание

Рубежный контроль проводится на 8 и 16 неделях. Промежуточный контроль выставляется на основе зачета.

Автор(ы):

Чмыхов Михаил Александрович, к.ф.-м.н., доцент