

**Министерство науки и высшего образования РФ**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**

---

Направление подготовки/специальность: 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Наименование образовательной программы: Цифровое информационное моделирование инженерных систем зданий и сооружений

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины**  
**CFD-МОДЕЛИРОВАНИЕ В ПРОЕКТИРОВАНИИ**

<b>Блок:</b>	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
<b>Часть образовательной программы:</b>	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
<b>№ дисциплины по учебному плану:</b>	Б1.Ч.06
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	2 семестр - 4;
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	144 часа
<b>Лекции</b>	2 семестр - 16 часов;
<b>Практические занятия</b>	2 семестр - 32 часа;
<b>Лабораторные работы</b>	не предусмотрено учебным планом
<b>Консультации</b>	2 семестр - 2 часа;
<b>Самостоятельная работа</b>	2 семестр - 93,5 часа;
<b>в том числе на КП/КР</b>	не предусмотрено учебным планом
<b>Иная контактная работа</b>	проводится в рамках часов аудиторных занятий
<b>включая:</b>	
<b>Расчетное задание</b>	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
<b>Экзамен</b>	2 семестр - 0,5 часа;

**Москва 2024**

## ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

---

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Глазов В.С.
	Идентификатор	R781d247d-GlazovVS-1e208dd2

В.С. Глазов

---

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

---

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Маскинская А.Ю.
	Идентификатор	R4ac5cf7e-MaskinskyaAY-056d228

А.Ю.  
Маскинская

---

Заведующий выпускающей  
кафедрой

---

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Гаряев А.Б.
	Идентификатор	R75984319-GariayevAB-a6831ea7

А.Б. Гаряев

---

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** изучение пакетов прикладных программ и их применение для математического моделирования систем вентиляции, отопления и кондиционирования.

### Задачи дисциплины

- Способен разрабатывать математические модели, с использованием современных программных средств.;
- Способен использовать и сопровождать разработанные математические модели процессов тепло и массообмена для систем вентиляции, отопления и кондиционирования;
- Способен определять область применения результатов научно-исследовательских работ.

Формируемые у обучающегося **компетенции** и запланированные **результаты обучения** по дисциплине, соотнесенные с **индикаторами достижения компетенций**:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
ПК-1 Способен разрабатывать проектную и рабочую документацию инженерных систем объектов капитального строительства в соответствии с техническим заданием, с использованием современных программных средств, действующими нормативно-техническими документами, создавать, использовать и сопровождать информационные модели объектов капитального строительства и их инженерных сетей на всех этапах их жизненного цикла, а также координировать действия соисполнителей и определять область применения результатов научно-исследовательских работ	ИД-1ПК-1 Разрабатывает проектную и рабочую документацию инженерных систем объектов капитального строительства в соответствии с техническим заданием, с использованием современных программных средств, действующими нормативно-техническими документами и стандартами и бизнес-процессами организации	знать: - Принципы работы современных компьютерных кодов для моделирования процессов теплообмена и гидродинамики в инженерных системах; - Методы решения дискретных уравнений с использованием итерационных алгоритмов.  уметь: - Проводить расчеты и обрабатывать их результаты; - Выбирать алгоритм и способы работы в программных средствах при проектировании систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Цифровое информационное моделирование инженерных систем зданий и сооружений (далее – ОПОП), направления подготовки 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Базируется на уровне высшего образования (бакалавриат, специалитет).

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единицы, 144 часа.

№ п/п	Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации	Всего часов на раздел	Семестр	Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы										Содержание самостоятельной работы/ методические указания	
				Контактная работа							СР				
				Лек	Лаб	Пр	Консультация		ИКР		ПА	Работа в семестре	Подготовка к аттестации /контроль		
КПР	ГК	ИККП	ТК												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	Введение. Этапы решения прикладной задачи с использованием CFD кодов	8	2	2	-	2	-	-	-	-	-	4	-	<p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Введение. Этапы решения прикладной задачи с использованием CFD кодов"</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], 8-12</p>	
1.1	Введение. Этапы решения прикладной задачи с использованием CFD кодов	8		2	-	2	-	-	-	-	-	-	4		-
2	Первое знакомство с программой	12		2	-	4	-	-	-	-	-	-	6		-
2.1	Знакомство с ПО	12		2	-	4	-	-	-	-	-	-	6		-
3	Ф-переменные. Расчетная область	14		2	-	4	-	-	-	-	-	-	8		-
3.1	Ф-переменные. Расчетная область	14	2	-	4	-	-	-	-	-	-	8	-	<p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Ф-переменные. Расчетная область"</p> <p><b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> Задания ориентированы на решения минизаданий по разделу "Ф-переменные. Расчетная область". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать</p>	

													выводы. В качестве задания используются следующие упражнения: <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], 13-23	
4	Расчетная область. Граничные условия	14	2	-	4	-	-	-	-	-	-	8	-	<b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> Задания ориентированы на решения минизаданий по разделу "Расчетная область. Граничные условия". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения: <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], 120-132
4.1	Расчетная область. Граничные условия	14	2	-	4	-	-	-	-	-	-	8	-	<b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> Задания ориентированы на решения минизаданий по разделу "Расчетная область. Граничные условия". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения: <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], 120-132
5	Функциональное наполнение кода	18	2	-	6	-	-	-	-	-	-	10	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Функциональное наполнение кода ANES"
5.1	Функциональное наполнение кода	18	2	-	6	-	-	-	-	-	-	10	-	<b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> Задания ориентированы на решения минизаданий по разделу "Функциональное наполнение кода ANES". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения: <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], 133-144
6	Сетки контрольных объемов МКО	14	2	-	4	-	-	-	-	-	-	8	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Сетки контрольных объемов МКО"
6.1	Сетки контрольных объемов МКО	14	2	-	4	-	-	-	-	-	-	8	-	<b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> Задания ориентированы на решения минизаданий по

													разделу "Сетки контрольных объемов МКО". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения: <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], 424-442
7	Дискретные уравнения и методы их решения	14	2	-	4	-	-	-	-	-	8	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Дискретные уравнения и методы их решения"
7.1	Дискретные уравнения и методы их решения	14	2	-	4	-	-	-	-	-	8	-	<b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> Задания ориентированы на решения минизаданий по разделу "Дискретные уравнения и методы их решения". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения: <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], п.2.2-2.3
8	Обработка результатов расчетов	14	2	-	4	-	-	-	-	-	8	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Обработка результатов расчетов"
8.1	Обработка результатов расчетов	14	2	-	4	-	-	-	-	-	8	-	<b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> Задания ориентированы на решения минизаданий по разделу "Обработка результатов расчетов". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются

													следующие упражнения: <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [3], 2-25
	Экзамен	36.0	-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	Всего за семестр	144.0	16	-	32	-	2	-	-	0.5	60	33.5	
	Итого за семестр	144.0	16	-	32		2		-	0.5		93.5	

**Примечание:** Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПр – аудиторные консультации по курсовым проектам/работам; ИККП – индивидуальные консультации по курсовым проектам/работам; ГК- групповые консультации по разделам дисциплины; СР – самостоятельная работа студента; ИКР – иная контактная работа; ТК – текущий контроль; ПА – промежуточная аттестация

## **3.2 Краткое содержание разделов**

### 1. Введение. Этапы решения прикладной задачи с использованием CFD кодов

#### 1.1. Введение. Этапы решения прикладной задачи с использованием CFD кодов

Что такое Computational Fluid Dynamics (CFD) технологии. История развития. Возможности CFD технологии. План практической работы студентов. Распределение индивидуальных задач. Анализ этапов на примере задач о естественной конвекции в объеме и течении в канале. Демонстрация возможностей программного обеспечения для описания расчетной области со сложной геометрией..

### 2. Первое знакомство с программой

#### 2.1. Знакомство с ПО

Изучение алгоритмов запуска. Изучение структуры файла проекта (его основные секции и операторы) и способов редактирования файла проекта (в текстовом редакторе и в дизайнера проекта). Макропеременные проекта. Результаты расчетов. Анализ результатов с помощью постпроцессоров..

### 3. Ф-переменные. Расчетная область

#### 3.1. Ф-переменные. Расчетная область

Обобщенное уравнение переноса в консервативной форме для CFD кодов и специфика его отдельных членов. Описание членов обобщенного уравнения в файле проекта. Линеаризация источников и «внутренние» источники кода. Типы физических граничных условий. Алгоритмы описания расчетной области (РО) в современных CFD кодах: простая базовая РО, алгоритм вычитания заблокированных объектов, суммирование геометрических объектов..

### 4. Расчетная область. Граничные условия

#### 4.1. Расчетная область. Граничные условия

Алгоритм построения РО. Основные объекты для построения РО. Описание граничных условий в файле проекта. Граничные условия по умолчанию..

### 5. Функциональное наполнение кода

#### 5.1. Функциональное наполнение кода

Двухпараметрические модели турбулентности кода. Модели k-ε для больших и низких турбулентных чисел Рейнольдса. Логарифмический профиль скорости для сдвигового течения. Пристенные функции. Настройка сетки контрольных объемов для различных моделей. Задание турбулентных начальных условий..

### 6. Сетки контрольных объемов МКО

#### 6.1. Сетки контрольных объемов МКО

Основные элементы КО (вершины, ребра, грани и контрольные объемы). Два типа сеток КО: структурированные и неструктурированные. Недостатки и преимущества этих сеток. Основные правила построения сеток КО. Понятие сеточной сходимости. Структурированные сетки кода . Краткое описание и алгоритмы их построения. Неструктурированные сетки кода..

## 7. Дискретные уравнения и методы их решения

### 7.1. Дискретные уравнения и методы их решения

Стандартная форма дискретных уравнений метода МКО и их основные свойства. Основные численные схемы, используемые в современных CFD кодах. Итерационный алгоритм решения системы дискретных уравнений. Модель поправок. Критерии «сходимости» итерационного процесса. Методы достижения сходимости итераций. Управление итерационным процессом. Методы решения дискретных уравнений. Примеры итерационных алгоритмов: метод прогонки, методы уменьшения невязки с использованием прекодиционеров, мульти-сеточные алгоритмы. Линейные солверы..

## 8. Обработка результатов расчетов

### 8.1. Обработка результатов расчетов

Просмотр и анализ результатов в постпроцессоре. Расчет полей переменных..

## **3.3. Темы практических занятий**

1. 1. Описание физической и математической постановки индивидуальной задачи. Анализ и формулировка этапов решения. Установка кода.;
2. 2. Построение РО. Выбор и назначение патчей.;
3. 3. Выбор и настройка параметров моделей турбулентности.;
4. 4. Построение расчетной сетки. Выбор трех вариантов сеток для индивидуальных задач: грубой (coarse), базовой (base) и подробной (fine), с целью исследования сеточной сходимости.;
5. 5. Описание граничных условий искомых переменных в проекте задачи.;
6. 6. Демонстрация различных численных схем на примере тестовых задач.;
7. 7. Выбор макропеременных индивидуальных задач.;
8. 8. Анализ результатов расчетов. Обработка результатов в виде графиков, таблиц, полей искомых переменных постпроцессором.

## **3.4. Темы лабораторных работ**

не предусмотрено

## **3.5 Консультации**

## **3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ**

Курсовой проект/ работа не предусмотрены

### 3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

Запланированные результаты обучения по дисциплине (в соответствии с разделом 1)	Коды индикаторов	Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1)								Оценочное средство (тип и наименование)	
		1	2	3	4	5	6	7	8		
<b>Знать:</b>											
Методы решения дискретных уравнений с использованием итерационных алгоритмов	ИД-1 <sub>ПК-1</sub>	+	+								Расчетное задание/КМ-1
Принципы работы современных компьютерных кодов для моделирования процессов тепломассообмена и гидродинамики в инженерных системах	ИД-1 <sub>ПК-1</sub>		+	+	+			+			Расчетное задание/КМ-2
<b>Уметь:</b>											
Выбирать алгоритм и способы работы в программных средствах при проектировании систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха	ИД-1 <sub>ПК-1</sub>						+	+	+		Расчетное задание/КМ-3
Проводить расчеты и обрабатывать их результаты	ИД-1 <sub>ПК-1</sub>							+	+	+	Расчетное задание/КМ-4

#### **4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ)**

##### **4.1. Текущий контроль успеваемости**

**2 семестр**

Форма реализации: Защита задания

1. КМ-4 (Расчетное задание)

Форма реализации: Обмен электронными документами

1. КМ-1 (Расчетное задание)
2. КМ-2 (Расчетное задание)
3. КМ-3 (Расчетное задание)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

##### **4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине**

*Экзамен (Семестр №2)*

Оценка за семестр определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и экзаменационной составляющих. В приложение к диплому выносятся оценка за семестр.

В диплом выставляется оценка за 2 семестр.

**Примечание:** Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

#### **5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

##### **5.1 Печатные и электронные издания:**

1. Роуч, П. Вычислительная гидродинамика : пер. с англ. / П. Роуч . – М. : Мир, 1980 . – 616 с.;
2. Патанкар, С. В. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости : пер. с англ. / С. В. Патанкар . – М. : Энергоатомиздат, 1984 . – 150 с.;
3. "Моделирование в программном пакете openfoam. Практикум", Издательство: "БашГУ", Уфа, 2020 - (28 с.)  
<https://e.lanbook.com/book/179925>.

##### **5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:**

1. СДО "Прометей";
2. Office / Российский пакет офисных программ;
3. Windows / Операционная система семейства Linux;
4. Видеоконференции (Майнд, Сберджаз, ВК и др).

##### **5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:**

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" - [http://biblioclub.ru/index.php?page=main\\_ub\\_red](http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red)

3. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
4. База данных ВИНТИ online - <http://www.viniti.ru/>
5. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
6. ЭБС "Консультант студента" - <http://www.studentlibrary.ru/>
7. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
8. Портал открытых данных Российской Федерации - <https://data.gov.ru>
9. База открытых данных Министерства труда и социальной защиты РФ - <https://rosmintrud.ru/opendata>
10. База открытых данных профессиональных стандартов Министерства труда и социальной защиты РФ - <http://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/>
11. База открытых данных Министерства экономического развития РФ - <http://www.economy.gov.ru>
12. База открытых данных Росфинмониторинга - <http://www.fedsfm.ru/opendata>
13. Информационно-справочная система «Кодекс/Техэксперт» - <Http://proinfosoft.ru;>  
<http://docs.cntd.ru/>
14. Национальный портал онлайн обучения «Открытое образование» - <https://openedu.ru>
15. Официальный сайт Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии - <http://protect.gost.ru/>
16. Открытая университетская информационная система «РОССИЯ» - <https://uisrussia.msu.ru>
17. Официальный сайт Министерства науки и высшего образования Российской Федерации - <https://minobrnauki.gov.ru>
18. Официальный сайт Федеральной службы по надзору в сфере образования и науки - <https://obrnadzor>
19. Федеральный портал "Российское образование" - <http://www.edu.ru>
20. Информιο - <https://www.informio.ru/>
21. АНО «Россия – страна возможностей» - <https://rsv.ru/education/>

## 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	Г-408, Учебная аудитория	парта, стол преподавателя, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, экран, доска маркерная
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	В-104-3, Учебная аудитория каф. "ТМПУ"	парта, стол преподавателя, стул, доска меловая, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Г-407, Учебная аудитория	парта, стол преподавателя, стул, доска меловая
Помещения для самостоятельной работы	НТБ-303, Лекционная аудитория	стол компьютерный, стул, стол письменный, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, кондиционер
Помещения для консультирования	В-104-5, Преподавательская каф. "ТМПУ"	стол, стул, шкаф для документов, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, документы, журналы, книги, учебники,

		пособия
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	В-02, Архив	стеллаж для хранения книг, стол для работы с документами, стул

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

### CFD-моделирование в проектировании

(название дисциплины)

#### 2 семестр

**Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:**

КМ-1 КМ-1 (Расчетное задание)

КМ-2 КМ-2 (Расчетное задание)

КМ-3 КМ-3 (Расчетное задание)

КМ-4 КМ-4 (Расчетное задание)

**Вид промежуточной аттестации – Экзамен.**

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	5	8	12	16
1	Введение. Этапы решения прикладной задачи с использованием CFD кодов					
1.1	Введение. Этапы решения прикладной задачи с использованием CFD кодов		+			
2	Первое знакомство с программой					
2.1	Знакомство с ПО		+	+		
3	Ф-переменные. Расчетная область					
3.1	Ф-переменные. Расчетная область			+		
4	Расчетная область. Граничные условия					
4.1	Расчетная область. Граничные условия			+		
5	Функциональное наполнение кода					
5.1	Функциональное наполнение кода				+	
6	Сетки контрольных объемов МКО					
6.1	Сетки контрольных объемов МКО			+	+	+
7	Дискретные уравнения и методы их решения					
7.1	Дискретные уравнения и методы их решения				+	+
8	Обработка результатов расчетов					

8.1	Обработка результатов расчетов				+	
		Вес КМ, %:	20	30	30	20