

**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

**Оценочные материалы
по дисциплине
CFD-моделирование в проектировании**

**Москва
2024**

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Разработчик

	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

ОБЩАЯ ЧАСТЬ

Оценочные материалы по дисциплине предназначены для оценки достижения обучающимися запланированных результатов обучения по дисциплине, этапа формирования запланированных компетенций и уровня освоения дисциплины.

Оценочные материалы по дисциплине включают оценочные средства для проведения мероприятий текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации.

Формируемые у обучающегося компетенции:

1. 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-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

и включает:

для текущего контроля успеваемости:

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)

БРС 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.

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %				
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
	Срок КМ:	5	8	12	16

Введение. Этапы решения прикладной задачи с использованием CFD кодов				
Введение. Этапы решения прикладной задачи с использованием CFD кодов	+			
Первое знакомство с программой				
Знакомство с ПО	+	+		
Ф-переменные. Расчетная область				
Ф-переменные. Расчетная область		+		
Расчетная область. Граничные условия				
Расчетная область. Граничные условия		+		
Функциональное наполнение кода				
Функциональное наполнение кода			+	
Сетки контрольных объемов МКО				
Сетки контрольных объемов МКО		+	+	+
Дискретные уравнения и методы их решения				
Дискретные уравнения и методы их решения			+	+
Обработка результатов расчетов				
Обработка результатов расчетов				+
Вес КМ:	20	30	30	20

СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

I. Оценочные средства для оценки запланированных результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Индекс компетенции	Индикатор	Запланированные результаты обучения по дисциплине	Контрольная точка
ПК-1	ИД-1 _{ПК-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	КМ-1 КМ-1 (Расчетное задание) КМ-2 КМ-2 (Расчетное задание) КМ-3 КМ-3 (Расчетное задание) КМ-4 КМ-4 (Расчетное задание)

II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания

КМ-1. КМ-1

Формы реализации: Обмен электронными документами

Тип контрольного мероприятия: Расчетное задание

Вес контрольного мероприятия в БРС: 20

Процедура проведения контрольного мероприятия: Проверка выполнения п. 1, 2 и 3 расчетного задания на основе отчета по расчетному заданию.

Краткое содержание задания:

1. Формулировка физической и математической постановки задачи.
2. Выбор Ф-переменных прикладной задачи, макропеременных и формулировка граничных условий.
3. Построение расчетной области и задание необходимых патчей

Контрольные вопросы/задания:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Знать: Методы решения дискретных уравнений с использованием итерационных алгоритмов	1.1.Какие физические процессы требуется смоделировать в индивидуальном задании? 2.2.Какие зависимые переменные необходимо использовать для моделирования? 3.3.Какие основные принципы выбора геометрии расчетной области? 4.4. Знать все этапы решения индивидуальной задачи

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5 («отлично»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 90

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

Оценка: 4 («хорошо»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 80

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

Оценка: 3 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

КМ-2. КМ-2

Формы реализации: Обмен электронными документами

Тип контрольного мероприятия: Расчетное задание

Вес контрольного мероприятия в БРС: 30

Процедура проведения контрольного мероприятия: Проверка выполнения п. 4 и 5 расчетного задания на основе отчета по расчетному заданию.

Краткое содержание задания:

1. Построение базовой численной сетки, доказательство сеточной сходимости.
2. Задание граничных условий на языке файла проекта

Контрольные вопросы/задания:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Знать: Принципы работы современных компьютерных кодов для моделирования процессов тепломассообмена и гидродинамики в инженерных системах	1.1. Какие основные принципы построения “правильных” сеток КО? 2.2. Какие физические граничные условия необходимы для замыкания математической постановки задачи? 3.3. Что является критерием получения правильных результатов расчета в процессе итерационного решения задачи в Решателе?

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5 («отлично»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 90

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

Оценка: 4 («хорошо»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 80

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

Оценка: 3 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

КМ-3. КМ-3

Формы реализации: Обмен электронными документами

Тип контрольного мероприятия: Расчетное задание

Вес контрольного мероприятия в БРС: 30

Процедура проведения контрольного мероприятия: Проверка выполнения п. 6 и 7 расчетного задания на основе отчета по расчетному заданию.

Краткое содержание задания:

1. Выполнение расчетов. Анализ полученных результатов.
2. Обработка результатов и сравнение с имеющимися в литературе данными.

Контрольные вопросы/задания:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Уметь: Выбирать алгоритм и способы работы в программных средствах при проектировании систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха	1.1. Уметь использовать макропеременные проекта для описания параметров задачи 2.2. Уметь привести математическую постановку своей задачи к математическим моделям кода 3.3. Уметь использовать операторы генератора сеток для построения неоднородных неструктурированных сеток

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5 («отлично»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 90

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

Оценка: 4 («хорошо»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 80

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

Оценка: 3 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

КМ-4. КМ-4

Формы реализации: Защита задания

Тип контрольного мероприятия: Расчетное задание

Вес контрольного мероприятия в БРС: 20

Процедура проведения контрольного мероприятия: Проверка выполнения п. 8 расчетного задания.

Краткое содержание задания:

Окончательная подготовка отчета по расчетному заданию и краткой презентации

Контрольные вопросы/задания:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Уметь: Проводить расчеты и обрабатывать их	1.1. Уметь кратко рассказать о полученных результатах 2.2. Уметь использовать постпроцессор для представления

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
результаты	результатов моделирования (сетки КО, изоконтур основных полей, различные графики в одномерных сечениях).

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5 («отлично»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 90

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

Оценка: 4 («хорошо»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 80

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

Оценка: 3 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

2 семестр

Форма промежуточной аттестации: Экзамен

Пример билета

1. Аппроксимация потока на гранях КО в задачах диффузии при произвольно изменяющемся коэффициенте диффузии.
2. Стандартный вид дискретного аналога обобщенного дифференциального уравнения диффузии.

Процедура проведения

Студент отвечает на вопросы и решает задачу в билете.

1. Перечень компетенций/индикаторов и контрольных вопросов проверки результатов освоения дисциплины

1. Компетенция/Индикатор: 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

Вопросы, задания

- 1.1. Обобщенное дифференциальное уравнение переноса. Физический смысл отдельных членов. Получение дискретного аналога методом контрольного объема. Стандартный вид дискретного аналога
- 2.2. Аппроксимация потока на гранях КО в задачах диффузии при произвольно изменяющемся коэффициенте диффузии. Стандартный вид дискретного аналога обобщенного дифференциального уравнения диффузии.
- 3.3. Особенности численного решения уравнений Навье-Стокса. Переменные завихренности — функция тока. Уравнение для давления. Особенности итерационного метода решения уравнения для давления.
- 4.4. Схемная диффузия. Причины появления схемной диффузии, методы, применяемые для ее уменьшения.
- 5.5. Для уравнения диффузии $\text{div}(\Gamma \text{grad} \Phi) = 0$
 - 1) вывести дискретный аналог граничного условия III рода

$$\left(-\Gamma \frac{\partial \Phi}{\partial n}\right)_B = \alpha(\Phi_B - \Phi_f),$$

где n — внешняя нормаль к границе, Φ_B — значение искомой функции в точке «B», принадлежащей границе, α , Φ_f — свободные параметры.

2) какие значения α и Φ_f должны быть заданы для того, чтобы в граничной точке «B» рассчитанное значение искомой функции Φ оказалось равным Φ_0 ?

6.6. Метод задания граничного условия II рода с помощью дополнительного источников члена в примыкающем к границе КО

7.7. Используя схему с разностями против потока определите коэффициенты дискретного аналога для уравнения

$$\text{div}(\rho u \Phi - \Gamma \text{grad} \Phi) = 0$$

для внутреннего двумерного КО с узловой точкой «Р» при условии $\Gamma = 0$ во всей области, течение одномерное, сетки равномерные. Направления течения см. на рис. 1, 2.

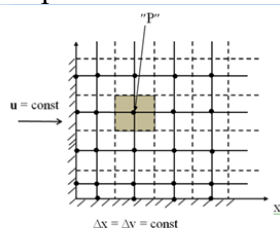


Рис. 1

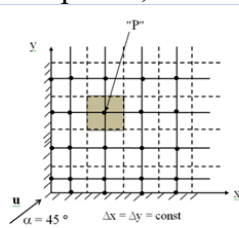


Рис. 2

8.8.«Шахматные» расчетные сетки КО для расчета поля скорости. Основные преимущества

9.9.Алгоритм SIMPLE

10.10.Алгоритм SIMPLER

11.11.Метод блокированных ячеек при расчете полей скорости и температуры в областях сложной геометрии. Метод задания произвольных значений зависимой переменной во внутренних точках расчетной области

12.12.Принципиальные проблемы прямого моделирования турбулентности. Осреднение Рейнольдса и Фавра. Рейнольдсовы напряжения.

13.13.Гипотеза Буссинеска. Основные недостатки гипотезы. Используемые аналогии между молекулярной и турбулентной вязкостями. Формула Прандтля для турбулентной вязкости. Пределы ее применимости, преимущества и недостатки.

14.14.Формула Прандтля—Колмогорова для турбулентной вязкости. Пример однопараметрической модели турбулентности, использующий формулу Прандтля—Колмогорова. Преимущества и недостатки модели.

15.15.Уравнение переноса для компонент тензора напряжений Рейнольдса

$$\overline{(-\rho u'_i u'_j)}$$

Физический смысл отдельных членов. Какие члены в этом уравнении требуют модельных замыкающих соотношений? Что изменится, если проделать свертку этого уравнения, т.е. принять $i = j$.

16.16.«Замыкание» уравнения для кинетической энергии турбулентных пульсаций

17.17.Качественное поведение характеристик турбулентности в сдвиговых пристеночных слоях

18.18.Стандартная k - ϵ модель с пристеночными функциями. Реализация пристеночных функций при численном решении методом КО уравнения движения в приближении пограничного слоя

19.19.Стандартная k - ϵ модель с пристеночными функциями. Реализация пристеночных функций при численном решении методом КО уравнения энергии в приближении пограничного слоя

20.20.Стандартная k - ϵ модель с пристеночными функциями. Реализация пристеночных функций при численном решении методом КО уравнения для кинетической энергии турбулентных пульсаций в приближении пограничного слоя

- 21.21. Отличие k -е моделей турбулентности для расчета течений с низкими числами Re от стандартной k -е модели.
- 22.22. Алгебраическая модель для рейнольдсовых напряжений. Примеры применения.

Материалы для проверки остаточных знаний

1.1. Что лежит в основе МКО?

Ответы:

- а. Интегральные балансы импульса и массы, записанные для каждого контрольного объема
- б. Аппроксимация частных производных в уравнениях баланса с помощью рядов Тейлора
- в. Вариационный подход, основанный на минимизации соответствующей величины - функционала

Верный ответ: а. Интегральные балансы импульса и массы, записанные для каждого контрольного объема

2.2. В чем заключается главное отличие структурированных и неструктурированных сеток?

Ответы:

- а. В структурированных сетках КО можно однозначно пронумеровать с помощью трех одномерных индексов
- б. КО структурированных сеток всегда имеют форму параллелепипеда
- в. Расчетная область при использовании структурированных сеток всегда имеет форму параллелепипеда

Верный ответ: а. В структурированных сетках КО можно однозначно пронумеровать с помощью трех одномерных индексов

3.3. Что обозначают первые два символа в названии алгоритма SIMPLE?

Ответы:

- а. Semi-Implicit (Полунеявный)
- б. Simple Integration (Простое интегрирование)
- в. Staggered Interpolation (Сдвинутая интерполяция)

Верный ответ: а. Semi-Implicit (Полунеявный)

4.4. Что такое шахматные сетки?

Ответы:

- а. Это структурированные сетки, в которых компоненты вектора скорости определены на гранях КО
- б. Это неструктурированные сетки, в которых форма КО чередуется в направлении осей координат
- в. Это структурированные сетки, в которых ширина КО периодически меняется в направлении осей координат

Верный ответ: а. Это структурированные сетки, в которых компоненты вектора скорости определены на гранях КО

5.5. Какие условия накладываются на коэффициенты нижней релаксации для скоростей при использовании метода SIMPLE на шахматных структурированных сетках?

Ответы:

- а. $Relax(U) \leq 0.5$
- б. $Relax(U) = 0.9$
- в. $Relax(U) \geq 0.5$

Верный ответ: а. $Relax(U) \leq 0.5$

6.6. Основные особенности системы дискретных уравнений Навье-Стокса в методе МКО?

Ответы:

- а. Это нелинейная система алгебраических уравнений (коэффициенты уравнений зависят от зависимых переменных) и матрица этой системы сильно разреженная
- б. Матрица этой системы имеет трехдиагональную структуру
- в. Коэффициенты дискретных уравнений могут иметь разные знаки

Верный ответ: а. Это нелинейная система алгебраических уравнений (коэффициенты уравнений зависят от зависимых переменных) и матрица этой системы сильно разреженная

7.7. Какие операторы в файле проекта кода используются для описания формы и границ расчетной области?

Ответы:

- а. Операторы зон для построения сеток КО по осям координат
- б. Операторы описания патчей
- в. Операторы описания свойств теплоносителя

Верный ответ: б. Операторы описания патчей

8.8. Какой критерий используется в CFD кодах для получения решения итерационным методом?

Ответы:

- а. Достигнуто заданное число итераций
- б. Безразмерная невязка дискретных уравнений $< 1.e-4 \dots 1.e-5$
- в. Достигнуто заданное время расчета

Верный ответ: б. Безразмерная невязка дискретных уравнений $< 1.e-4 \dots 1.e-5$

9.9. Какой алгоритм распараллеливания расчетов CFD задач используется при работе с подсистемой MPI (Интерфейс Передачи Сообщений)?

Ответы:

- а. Разбиение расчетной области на подобласти, число которых равно числу используемых ядер кластера
- б. Распараллеливание циклов внутри программного кода

Верный ответ: а. Разбиение расчетной области на подобласти, число которых равно числу используемых ядер кластера

10.10. Что такое сеточная сходимость?

Ответы:

- а. Выбор базовой сетки КО для расчетов на основе сравнения результатов на серии все более мелких детальных сетках
- б. Выбор сетки на основе минимального числа итераций, необходимых для сходимости итерационного процесса

Верный ответ: а. Выбор базовой сетки КО для расчетов на основе сравнения результатов на серии все более мелких детальных сетках

11.11. Как описываются граничные условия?

Ответы:

- а. Как линеаризованные поверхностные источники, привязанные к граням границы расчетной области
- б. Как выражения для граничного значения Ф-переменной, заданные в специальных нулевых КО на границе

Верный ответ: а. Как линеаризованные поверхностные источники, привязанные к граням границы расчетной области

12.12. Какая модель турбулентности не требует привлечения дополнительной эмпирической информации для замыкания математической постановки?

Ответы:

- а. DNS модель
- б. Алгебраическая модель Прандтля
- в. Двухпараметрическая k-eps модель

Верный ответ: а. DNS модель

13.13. При использовании двухпараметрических моделей турбулентности с пристенными функциями необходимо, чтобы безразмерное расстояние от центра пристенного контрольного объема до стенки (Y^+) удовлетворяло условию:

Ответы:

- а. $Y^+ < 1$
- б. $Y^+ > 30-40$
- в. $Y^+ = 10$

Верный ответ: б. $Y^+ > 30-40$

14.14. При использовании двухпараметрических моделей турбулентности для низких турбулентных чисел Рейнольдса необходимо, чтобы безразмерное расстояние от центра пристенного контрольного объема до стенки (Y^+) удовлетворяло условию:

Ответы:

Ответы:

- а. $Y^+ < 1$
- б. $Y^+ > 30-40$
- в. $Y^+ = 20$

Верный ответ: а. $Y^+ < 1$

15.15. В двухпараметрической k - ϵ модели турбулентности первая Φ -переменная – k – это энергия турбулентных пульсаций, какой физический смысл имеет вторая Φ -переменная ϵ ?

Ответы:

- а. Это характерное время жизни турбулентных вихрей
- б. Это скорость диссипации турбулентной энергии
- в. Это характерное масштаб турбулентных вихрей

Верный ответ: б. Это скорость диссипации турбулентной энергии

II. Описание шкалы оценивания

Оценка: 5 («отлично»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Работа выполнена в рамках "продвинутого" уровня. Ответы даны верно, четко сформулированные особенности практических решений

Оценка: 4 («хорошо»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения знания: Работа выполнена в рамках "базового" уровня. Большинство ответов даны верно. В части материала есть незначительные недостатки

Оценка: 3 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Работа выполнена в рамках "порогового" уровня. Основная часть задания выполнена верно.

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания: Работа не выполнена или выполнена преимущественно неправильно

III. Правила выставления итоговой оценки по курсу

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 выносится оценка за семестр.