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: Щербатов И.А. Идентификатор: R6b2590a8-ShcherbatovIA-d91ec17	И.А. Щербатов

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: Методы решения дискретных уравнений с использованием итерационных алгоритмов Принципы работы современных компьютерных кодов для моделирования процессов тепломассообмена и гидродинамики в инженерных системах Уметь: Выбирать алгоритм и способы работы в программных средствах при проектировании систем отопления, вентиляции и кондиционорования воздуха Проводить расчеты и обрабатывать их результаты	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 кондиционорования 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, изоконтуры 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.

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

1. Компетенция/Индикатор: 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

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 завихренность — 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 div(ΓgradΦ) = 0

1) вывести дискретный аналог граничного условия III рода

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

где *n* — внешняя нормаль к границе, Φ*B* — значение искомой функции в точке «*B*», принадлежащей границе, Alfa , Φ*f* — свободные параметры.

2) какие значения Alfa и Φ*f* должны быть заданы для того, чтобы в граничной точке «*B*» рассчитанное значение искомой функции Φ оказалось равным Φ0?

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

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

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

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

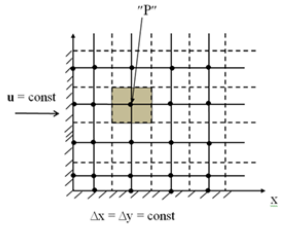

Рис. 1

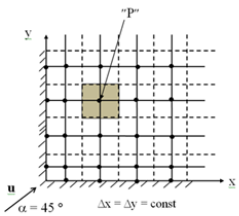

Рис. 2

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

$$\overline{\left(-\rho u_i' u_j'\right)}$$

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*-e модель с пристеночными функциями. Реализация пристеночных функций при численном решении методом КО *уравнения движения* в приближении пограничного слоя
19.19.Стандартная *k*-e модель с пристеночными функциями. Реализация пристеночных функций при численном решении методом КО уравнения *энергии* в приближении пограничного слоя
20.20.Стандартная *k*-e 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*t* 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 имеют 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: a. 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) <= 0.5
б. Relax(U) = 0.9
в. Relax(U) >= 0.5

Верный ответ: a. Relax(U) <= 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 .. 1.e-5
в. Достигнуто заданное время расчета

Верный ответ: б. Безразмерная невязка дискретных уравнений < 1.e-4 .. 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. + > 30-40
в. Y+ = `20

Верный ответ: а. Y+ < 1

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

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.