

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

Направление подготовки/специальность: 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика

Наименование образовательной программы: Теплофизика и молекулярная физика

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

**Оценочные материалы
по дисциплине
Компьютерные технологии в ядерной энергетике и теплофизике**

**Москва
2024**

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Разработчик

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Яньков Г.Г.
	Идентификатор	Rbb1f0c84-YankovGG-11a2e4dc

Г.Г. Яньков

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной
программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Яньков Г.Г.
	Идентификатор	Rbb1f0c84-YankovGG-11a2e4dc

Г.Г. Яньков

Заведующий
выпускающей кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Герасимов Д.Н.
	Идентификатор	Ra5495398-GerasimovDN-6b58615

Д.Н.
Герасимов

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. ОПК-1 Способен формулировать цели и задачи исследования, выбирать критерии оценки, выявлять приоритеты решения задач

ИД-1 Способен к анализу комплексных проблем в области ядерной энергетики и теплофизики

ИД-2 Способен к составлению алгоритмов для решения конкретных задач в области ядерной энергетики и теплофизики

2. ОПК-2 Способен применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы

ИД-1 Применяет математический аппарат для решения теплофизических задач атомной энергетики

ИД-2 Применяет компьютерные технологии для решения теплофизических задач ядерной энергетики

3. ОПК-3 Способен оформлять результаты научно-исследовательской деятельности в виде статей, докладов, научных отчетов и презентаций с использованием систем компьютерной верстки и пакетов офисных программ

ИД-1 Способен формулировать результаты научных исследований

ИД-2 Применяет компьютерные технологии для представления результатов научно-исследовательской деятельности

и включает:

для текущего контроля успеваемости:

Форма реализации: Письменная работа

1. Архитектура, функциональное наполнение, принципы работы кода ANES.

Алгебраические и однопараметрические модели турбулентности (Контрольная работа)

2. Дискретный аналог уравнения конвекции и диффузии. Устойчивые и неустойчивые численные схемы. Алгоритмы поиска сопряженных полей скорости и давления.

Методы решения систем нелинейных алгебраических уравнений (Контрольная работа)

3. Математические модели процессов тепло- и массообмена (Контрольная работа)

4. Модели турбулентности, реализованные в коде ANES (Контрольная работа)

Форма реализации: Проверка задания

1. Расчет полей скорости и температуры в устройстве заданной геометрической формы при заданных краевых и начальных условиях с помощью открытого компьютерного кода ANES (Расчетно-графическая работа)

БРС дисциплины

1 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %
-------------------	---------------------------------

	Индекс КМ:	КМ- 1	КМ- 2	КМ- 3	КМ- 4	КМ- 5
	Срок КМ:	4	8	12	14	16
Введение						
Введение		+				+
Математическое описание процессов тепломассообмена						
Математическое описание процессов тепломассообмена		+			+	+
Краткая характеристика численных методов решения ОУП						
Краткая характеристика численных методов решения ОУП			+			
Получение дискретного аналога для ОУП методом контрольного объема						
Получение дискретного аналога для ОУП методом контрольного объема			+			
Нестационарные задачи диффузии с произвольно изменяющимся коэффициентом диффузии						
Нестационарные задачи диффузии с произвольно изменяющимся коэффициентом диффузии			+			
Нестационарные задачи конвекции и диффузии при заданном поле скорости						
Нестационарные задачи конвекции и диффузии при заданном поле скорости			+		+	
Методы расчета поля скорости						
Методы расчета поля скорости			+		+	
Методы решения систем уравнений — дискретных аналогов исходных дифференциальных уравнений. Доказательства достоверности полученных результатов						
Методы решения систем уравнений — дискретных аналогов исходных дифференциальных уравнений. Доказательства достоверности полученных результатов				+	+	
Построение расчетной сетки для описания геометрически сложных объектов в расчетной области						
Построение расчетной сетки для описания геометрически сложных объектов в расчетной области. Задание граничных условий, коэффициентов ОУП и источниковых членов. Средства обработки результатов расчетов				+	+	+
Турбулентные течения						
Турбулентные течения				+	+	+
Математические модели для турбулентной вязкости						
Математические модели для турбулентной вязкости					+	

Модели для рейнольдсовых напряжений и компонент вектора плотности турбулентного потока теплоты и массы компонента смеси					
Модели для рейнольдсовых напряжений и компонент вектора плотности турбулентного потока теплоты и массы компонента смеси				+	
Вес КМ:	20	20	20	20	20

\$Общая часть/Для промежуточной аттестации\$

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
ОПК-1	ИД-1 _{ОПК-1} Способен к анализу комплексных проблем в области ядерной энергетики и теплофизики	Знать: иерархию математических моделей теплофизических процессов в ядерной энергетике, различающихся временными и пространственными масштабами, размерностью и уровнем детализации совокупности сопряженных процессов Уметь: формулировать цели и задачи исследования и обосновывать математическую постановку задачи	Математические модели процессов тепло- и массообмена (Контрольная работа) Модели турбулентности, реализованные в коде ANES (Контрольная работа) Расчет полей скорости и температуры в устройстве заданной геометрической формы при заданных краевых и начальных условиях с помощью открытого компьютерного кода ANES (Расчетно-графическая работа)
ОПК-1	ИД-2 _{ОПК-1} Способен к составлению алгоритмов для решения конкретных задач в области ядерной энергетики и теплофизики	Знать: эффективные алгоритмы для численного решения системы нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных,	Дискретный аналог уравнения конвекции и диффузии. Устойчивые и неустойчивые численные схемы. Алгоритмы поиска сопряженных полей скорости и давления. Методы решения систем нелинейных алгебраических уравнений (Контрольная работа) Расчет полей скорости и температуры в устройстве заданной геометрической формы при заданных краевых и начальных условиях с помощью открытого компьютерного кода ANES (Расчетно-

		описывающих течение одно- и двухфазной многокомпонентной среды и процессы тепло- и массообмена Уметь: использовать существующие и разрабатывать новые алгоритмы для решения конкретных задач в области ядерной энергетики и теплофизики	графическая работа)
ОПК-2	ИД-1 _{ОПК-2} Применяет математический аппарат для решения теплофизических задач атомной энергетики	Знать: методы дискретизации дифференциальных уравнений в частных производных гидродинамики и тепло- и массообмена Уметь: используя метод контрольного объема, составлять систему алгебраических уравнений, являющихся дискретными аналогами исходной системы дифференциальных уравнений гидродинамики и тепло- и массообмена	Дискретный аналог уравнения конвекции и диффузии. Устойчивые и неустойчивые численные схемы. Алгоритмы поиска сопряженных полей скорости и давления. Методы решения систем нелинейных алгебраических уравнений (Контрольная работа)
ОПК-2	ИД-2 _{ОПК-2} Применяет компьютерные технологии	Знать: возможности, архитектуру,	Модели турбулентности, реализованные в коде ANES (Контрольная работа)

	для решения теплофизических задач ядерной энергетики	основное функциональное наполнение и принципы работы универсальных компьютерных кодов для решения теплофизических задач Уметь: применять открытый компьютерный код ANES для решения теплофизических задач ядерной энергетики	Архитектура, функциональное наполнение, принципы работы кода ANES. Алгебраические и однопараметрические модели турбулентности (Контрольная работа) Расчет полей скорости и температуры в устройстве заданной геометрической формы при заданных краевых и начальных условиях с помощью открытого компьютерного кода ANES (Расчетно- графическая работа)
ОПК-3	ИД-1 _{ОПК-3} Способен формулировать результаты научных исследований	Знать: методы доказательства достоверности полученных результатов численных исследований теплофизических процессов (верификация моделей и алгоритмов, сеточная независимость результатов, сходимость итерационных процедур, сопоставление результатов с имеющимися в литературе данными и др.) Уметь: доказывать достоверность полученных данных, формулировать результаты и разрабатывать практические рекомендации по их	Архитектура, функциональное наполнение, принципы работы кода ANES. Алгебраические и однопараметрические модели турбулентности (Контрольная работа) Расчет полей скорости и температуры в устройстве заданной геометрической формы при заданных краевых и начальных условиях с помощью открытого компьютерного кода ANES (Расчетно- графическая работа)

		использованию	
ОПК-3	ИД-2 _{ОПК-3} Применяет компьютерные технологии для представления результатов научно-исследовательской деятельности	Знать: совокупность программного обеспечения в составе Microsoft office, пакеты программ в составе кода ANES построения графиков, скалярных и векторных полей переменных для оформления результатов научно-исследовательской деятельности в виде статей, докладов, научных отчетов и презентаций Уметь: применять программное обеспечение в составе Microsoft office, пакеты программ в составе кода ANES построения графиков, скалярных и векторных полей переменных для представления результатов научно-исследовательской деятельности	Расчет полей скорости и температуры в устройстве заданной геометрической формы при заданных краевых и начальных условиях с помощью открытого компьютерного кода ANES (Расчетно-графическая работа)

II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания

КМ-1. Математические модели процессов тепло- и массообмена

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 20

Процедура проведения контрольного мероприятия: Работа проводится письменно. Время выполнения 1 академический час.

Краткое содержание задания:

Контрольная работа содержит 9 вопросов из 16 вопросов, сообщаемых обучаемым заранее.

Контрольные вопросы/задания:

Знать: иерархию математических моделей теплофизических процессов в ядерной энергетике, различающихся временными и пространственными масштабами, размерностью и уровнем детализации совокупности сопряженных процессов	1. Записать обобщенное уравнение переноса (закон сохранения) в интегральной форме. Пояснить суть отдельных членов. 2. Как будет выглядеть слагаемое в законе сохранения, содержащее производную по времени, в зависимости от взаимного расположения производной по времени и интеграла по фиксированному в пространстве объему? 3. Записать уравнения сохранения массы, импульса в проекции на координатную ось «i», энергии относительно удельной энтальпии. 4. Что представляют собою коэффициент диффузии и источниковый член в уравнении сохранения импульса в проекции на ось «i»? 5. В чем состоят сложности решения уравнений гидродинамики в естественных искомым переменных «скорость – давление»? 6. Записать определение и уравнение переноса для завихренности в двумерной (2D) постановке для декартовой системы координат. 7. Записать определение функции тока. В каких случаях можно ввести функцию тока? Записать дифференциальное уравнение «переноса» для функции тока. 8. Записать систему уравнений для решения задач гидродинамики в переменных «завихренность – функция тока». 9. В чем состоят основные проблемы при решении 2D уравнений гидродинамики в переменных «завихренность – функция тока»? 10. Математическая формулировка МКО. 11. Что понимается под консервативными численными схемами? 12. Выражение для плотности диффузионного потока через грань КО «e» для одномерной стационарной
--	--

	диффузии без источников. 13. Дискретный аналог обобщенного уравнения диффузии при использовании абсолютно неявной схемы. Выражения для коэффициентов дискретного аналога. 14. Реализация граничного условия в виде заданной плотности диффузионного потока через источник в приграничном КО. 15. Дискретный аналог граничного условия 3-го рода и способы его адаптации к граничным условиям 1-го и 2-го рода.
--	--

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

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

Оценка: 4

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

Оценка: 3

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

Оценка: 2

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

КМ-2. Дискретный аналог уравнения конвекции и диффузии. Устойчивые и неустойчивые численные схемы. Алгоритмы поиска сопряженных полей скорости и давления. Методы решения систем нелинейных алгебраических уравнений

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 20

Процедура проведения контрольного мероприятия: Работа проводится письменно. Время выполнения 1 академический час.

Краткое содержание задания:

Контрольная работа состоит из 7 вопросов из 14 вопросов и для проверки знания и 2 задачи из 3-х задач для проверки умения.

Контрольные вопросы/задания:

Знать: эффективные алгоритмы для численного решения системы нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных, описывающих течение одно- и двухфазной многокомпонентной среды и процессы тепло- и массообмена	1. Отвечает ли свойству консервативности использование выражения для эффективного коэффициента диффузии в виде $\Gamma_e = (\Gamma_R + \Gamma_E)/2$ при $\Gamma_R \neq \Gamma_E$. 2. В чем заключается недостаток независимого вычисления диффузионного и конвективного потоков в задачах конвекции и диффузии? 3. В каких случаях можно записать в стандартной форме обобщенное уравнение переноса относительно
---	---

	температуры? 4. Дивергентный и недивергентный вид уравнения переноса. 5. Последовательность операций и принятые допущения в алгоритме SIMPLE. 6. Граничные условия для системы дискретных уравнений для коррекции давления. 7. Пояснить механизм нижней релаксации при итерационном решении уравнений переноса. Показать аналогию с методом решения нестационарной задачи методом установления. 8. Пояснить суть «блокированных» КО и способы задания требуемых условий на границе блокированных КО. 9. Метод решения сопряженных задач «жидкость-стенка» и задание требуемых ГУ.
Знать: методы дискретизации дифференциальных уравнений в частных производных гидродинамики и тепло- и массообмена	1. Коэффициенты дискретного аналога для задач конвекции и диффузии. 2. Отличие экспоненциальной схемы от схемы с разностями против потока и центрально-разностной. 3. Суть проблемы выходных граничных условий в задачах конвекции и диффузии. 4. «Шахматные» расчетные сетки для решения уравнений гидродинамики. 5. Схемная диффузия для двумерных задач конвекции при использовании схемы с разностями «против потока». Рассмотреть два случая направления вектора скорости: вдоль оси X и под углом к этой оси.
Уметь: используя метод контрольного объема, составлять систему алгебраических уравнений, являющихся дискретными аналогами исходной системы дифференциальных уравнений гидродинамики и тепло- и массообмена	1. Дано: источниковый член уравнения диффузии задан в виде $S = 4 - 5\Phi^3$. Линеаризуйте источниковый член 3-я возможными способами, один из которых эквивалентен касательной к кривой $S = S(\Phi)$ в точке $\Phi = \Phi^*$, где Φ^* - значение искомой функции на предыдущей итерации. 2. Запишите систему дискретных аналогов для одномерного стационарного уравнения диффузии при условиях: $\Gamma = 1$; $S = -\Phi^4$; $\Phi(0)=0$; $\Phi(3)=1$; координаты пяти узловых точек $X = 0; 0,5; 1,5; 2,5; 3$ 3. Запишите систему дискретных аналогов для одномерного стационарного уравнения диффузии при условиях: $\Gamma = 2$; $S = -\Phi^4$; $\Phi(0)=1$; $\Phi(3)=2$; координаты пяти узловых точек $X = 0; 0,5; 1,5; 2,5; 3$

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

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

Оценка: 4

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

Оценка: 3

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

Оценка: 2

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

КМ-3. Архитектура, функциональное наполнение, принципы работы кода ANES. Алгебраические и однопараметрические модели турбулентности

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 20

Процедура проведения контрольного мероприятия: Работа проводится письменно. Время выполнения 1 академический час.

Краткое содержание задания:

Контрольная работа состоит из 20 вопросов

Контрольные вопросы/задания:

Знать: возможности, архитектуру, основное функциональное наполнение и принципы работы универсальных компьютерных кодов для решения теплофизических задач	1.1.Правила осреднения Рейнольдса для пульсирующих характеристик течения. 2.Чем отличаются правила осреднения характеристик течения по Фавру от правил осреднения по Рейнольдсу? В каких случаях целесообразно осреднение по Фавру? 3.Характерные зоны по толщине турбулентного пограничного слоя, и поведение профиля скорости в этих зонах. Укажите примерные границы расстояний от твердой непроницаемой стенки, в рамках которых справедлив логарифмический закон для скорости. 4.Осредненные уравнения Рейнольдса сохранения массы, импульса в проекциях на оси координат, энергии. Рейнольдсовы напряжения, вектор плотности турбулентного потока теплоты. 5.Гипотеза Буссинеска. Суть аналогии. Недостатки гипотезы. 6.Классическая формула Прандтля для турбулентной вязкости. Область применимости формулы Прандтля. 7.Особенности турбулентности в свободных течениях (струи, следы, слои смешения). 8.Формула Прандтля - Колмогорова для турбулентной вязкости. 9.Формула Колмогорова для скорости диссипации. 10.Составляющие баланса уравнения переноса кинетической энергии турбулентных пульсаций. 11.В чем принципиальное различие статей баланса кинетической энергии турбулентных пульсаций для
--	---

	пристеночных и свободных турбулентных течений? 12. Качественное поведение кинетической энергии турбулентных пульсаций вблизи стенки (указать характерные подобласти). 13. Качественное поведение скорости диссипации кинетической энергии турбулентных пульсаций вблизи стенки (указать характерные подобласти). 14. Качественное поведение турбулентных напряжений вблизи стенки (указать характерные подобласти). 15. Генератор сеток ANES. Структурированные и неструктурированные расчетные сетки. 16. Задание граничных условий в коде ANES. 17. Особенности задания граничных условий на выходе из расчетной области.
Знать: методы доказательства достоверности полученных результатов численных исследований теплофизических процессов (верификация моделей и алгоритмов, сеточная независимость результатов, сходимость итерационных процедур, сопоставление результатов с имеющимися в литературе данными и др.)	1.1. Методы доказательства достоверности полученных результатов. 2. На каком расстоянии от твердой стенки должна находиться ближайшая узловая точка расчетной сетки для получения достоверных результатов при использовании стандартной k-ε модели? 3. Как следует изменить сетку, построенную первоначально для использования стандартной k-ε модели, при использовании моделей для низких турбулентных чисел Рейнольдса для получения достоверных результатов, независимых от сетки.

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

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

Оценка: 4

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

Оценка: 3

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

Оценка: 2

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

КМ-4. Расчет полей скорости и температуры в устройстве заданной геометрической формы при заданных краевых и начальных условиях с помощью открытого компьютерного кода ANES

Формы реализации: Проверка задания

Тип контрольного мероприятия: Расчетно-графическая работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 20

Процедура проведения контрольного мероприятия: Студентам выдаются индивидуальные задания на РГР. Тематика РГР: «Выполнить расчет полей скорости и

температуры в устройстве заданной геометрической формы при заданных краевых и начальных условиях с помощью открытого компьютерного кода ANES. Получить характеристики, важные для инженерных приложений». Отчет по РГР должен быть оформлен в соответствии со стандартными требованиями к оформлению результатов НИР. Компьютерная презентация должна отражать физическую и математическую постановку задачи, используемые сетки, доказательство достоверности результатов, рассчитанные локальные и средние характеристики, выводы.

Краткое содержание задания:

В качестве примера представлено задание по расчету тепловых потерь через оконный проем и контролируемые данным КМ пункты задания.

Рассчитать тепловые потери через оконный проем в зависимости от зазора между двумя стеклами

В данной задаче требуется исследовать влияние ширины двухслойного оконного блока на тепловые потери через окно. Окно можно рассматривать как двумерную каверну, состоящую из двух вертикальных стенок-стекол и зазора h_{win} между ними, заполненную воздухом. Вертикальный размер каверны существенно больше, чем зазор h_{win} .

Для моделирования использовать заданные температуры в помещении $T_{room} = 20$ С и внешней среде $T_{out} = -15$ С и коэффициенты теплоотдачи $a_{room} = 5$ Вт/(м²×К), $a_{out} = 10$ Вт/(м²×К). Для моделирования сил плавучести использовать приближение Буссинеска. Результаты сравнить с имеющимися данными.

Контрольные вопросы/задания:

Знать: совокупность программного обеспечения в составе Microsoft office, пакеты программ в составе кода ANES построения графиков, скалярных и векторных полей переменных для оформления результатов научно-исследовательской деятельности в виде статей, докладов, научных отчетов и презентаций	1.1) С помощью постпроцессора кода ANES, графического пакета Para View, офисных компьютерных приложений выполнить обработку результатов расчетов в виде содержательных графиков, таблиц полей компонентов скорости и температуры. Провести сопоставление полученных результатов с имеющимися литературными данными. Рассчитать и представить локальные и средние характеристики, важные для инженерных приложений (числа Нуссельта, коэффициенты сопротивления и др).
Уметь: формулировать цели и задачи исследования и обосновывать математическую постановку задачи	1.1) Сформулировать физическую постановку задачи, цель и задачи исследования 2) Сформулировать математическое описание задачи.
Уметь: использовать существующие и разрабатывать новые алгоритмы для решения конкретных задач в области ядерной энергетики и теплофизики	1.1) С помощью препроцессора ANES сформировать расчетную область, содержащую подобласти «жидкость», «твердые непроницаемые объекты» на выбранной расчетной сетке. Выбрать тип солвера. Выбрать режим расчетов (параллельный/последовательный).
Уметь: применять открытый компьютерный код ANES для решения теплофизических задач ядерной энергетики	1.1) Задать начальные и краевые условия, коэффициенты переноса и источники членов численно решаемых уравнений переноса. 2) Выполнить серию расчетов с различным набором входных параметров.
Уметь: доказывать достоверность полученных	1.1) Доказать достоверность получаемых результатов.

данных, формулировать результаты и разрабатывать практические рекомендации по их использованию	
Уметь: применять программное обеспечение в составе Microsoft office, пакеты программ в составе кода ANES построения графиков, скалярных и векторных полей переменных для представления результатов научно-исследовательской деятельности	1.1) Подготовить презентацию выполненной работы.

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

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

Оценка: 4

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

Оценка: 3

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

Оценка: 2

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

КМ-5. Модели турбулентности, реализованные в коде ANES

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 20

Процедура проведения контрольного мероприятия: Работа проводится письменно. Время выполнения 1 академический час.

Краткое содержание задания:

Контрольная работа состоит из 10 вопросов.

Контрольные вопросы/задания:

Знать: иерархию математических моделей теплофизических процессов в ядерной энергетике, различающихся временными и пространственными масштабами, размерностью и уровнем детализации совокупности сопряженных процессов	1.Стандартная $k-\epsilon$ модель. Основные допущения при её формулировке, преимущества и недостатки модели. 2.Объясните построение модели для членов порождения и диссипации в уравнении переноса скорости диссипации ϵ в стандартной $k-\epsilon$ модели. 3.Основные принципы построения моделей для диффузионных членов в уравнениях переноса k и ϵ . 4.Основные идеи (допущения), использованные при получении алгебраических уравнений для вторых моментов из модельных дифференциальных
---	--

Знать: возможности, архитектуру, основное функциональное наполнение и принципы работы универсальных компьютерных кодов для решения теплофизических задач	уравнений переноса вторых моментов. 1. Универсальные законы для профиля скорости и температуры в пристеночной области турбулентного течения. 2. Алгоритм «сшивки» универсального закона для скорости со стандартной k-ε моделью. 3. Алгоритм «сшивки» универсального закона для температуры со стандартной k-ε моделью. 4. Особенности аппроксимации источниковых членов в уравнении для k в первом пристеночном контрольном объеме при использовании пристеночных функций. 5. Основные отличия k-ε моделей и расчетных сеток для низких турбулентных чисел Рейнольдса от стандартной k-ε и сеток для неё. 6. Как учитывается влияние твердой стенки в уравнениях переноса вторых моментов?
--	---

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

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

Оценка: 4

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

Оценка: 3

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

Оценка: 2

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

СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

1 семестр

Форма промежуточной аттестации: Зачет с оценкой

Пример билета

Нет, т.к. аттестация проводится по результатам работы в семестре.

Процедура проведения

Нет, т.к. аттестация проводится по результатам работы в семестре.

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

1. Компетенция/Индикатор: ИД-1_{ОПК-1} Способен к анализу комплексных проблем в области ядерной энергетики и теплофизики

Вопросы, задания

- 1.1. Записать обобщенное уравнение переноса (закон сохранения) в интегральной форме. Пояснить суть отдельных членов.
2. Как будет выглядеть слагаемое в законе сохранения, содержащее производную по времени, в зависимости от взаимного расположения производной по времени и интеграла по фиксированному в пространстве объему?
3. Записать уравнения сохранения массы, импульса в проекции на координатную ось « i », энергии относительно удельной энтальпии.
4. Что представляют собою коэффициент диффузии и источниковый член в уравнении сохранения импульса в проекции на ось « i »?
5. Математическая формулировка МКО.
6. Что понимается под консервативными численными схемами?
7. Выражение для плотности диффузионного потока через грань КО « e » для одномерной стационарной диффузии без источников.
8. Дискретный аналог обобщенного уравнения диффузии при использовании абсолютно неявной схемы. Выражения для коэффициентов дискретного аналога.
9. Реализация граничного условия в виде заданной плотности диффузионного потока через источник в приграничном КО.
10. Отвечает ли свойству консервативности использование выражения для эффективного коэффициента диффузии в виде $\Gamma_e = (\Gamma_P + \Gamma_E)/2$ при $\Gamma_P \neq \Gamma_E$.
11. В чем заключается недостаток независимого вычисления диффузионного и конвективного потоков в задачах конвекции и диффузии?
12. В каких случаях можно записать в стандартной форме обобщенное уравнение переноса относительно температуры?
13. Дивергентный и недивергентный вид уравнения переноса.
14. Коэффициенты дискретного аналога для задач конвекции и диффузии.
15. Отличие экспоненциальной схемы от схемы с разностями против потока и центрально-разностной.
16. Суть проблемы выходных граничных условий в задачах конвекции и диффузии.

Рассчитать тепловые потери через оконный проем в зависимости от зазора между двумя стеклами

В данной задаче требуется исследовать влияние ширины двухслойного оконного блока на тепловые потери через окно. Окно можно рассматривать как двумерную каверну, состоящую из двух вертикальных стенок-стекол и зазора h_{win} между ними, заполненную воздухом. Вертикальный размер каверны существенно больше, чем зазор h_{win} .

Для моделирования использовать заданные температуры в помещении $T_{room} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ и внешней среде $T_{out} = -15\text{ }^{\circ}\text{C}$ и коэффициенты теплоотдачи $\alpha_{room} = 5\text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$, $\alpha_{out} = 10\text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$. Для моделирования сил плавучести использовать приближение Буссинеска.

2. Результаты сравнить с имеющимися данными.

1. Сформулировать физическую постановку задачи, цель и задачи исследования.
2. Сформулировать математическое описание задачи.

Материалы для проверки остаточных знаний

1. Что собой представляет обобщенный коэффициент диффузии в частном случае уравнений Навье – Стокса и переменных свойств жидкости?

Ответы:

- а) теплопроводность жидкости;
- б) динамическую вязкость, деленную на число Прандтля;
- в) динамическую вязкость;
- г) кинематическую вязкость;
- г) плотность, умноженную на температуропроводность.

Верный ответ: в) динамическую вязкость

2. Как записывается «диффузионное» слагаемое в обобщенном уравнении переноса удельной величины Φ ? Обобщенный коэффициент диффузии обозначен символом « Γ », плотность – « ρ »; кинематическая вязкость – « ν »; «div» и «grad» - операторы дивергенции и градиента

Ответы:

- а) $\text{div}(\Gamma \text{grad} \Phi)$
- б) $\text{div}(\rho \nu \text{grad} \Phi) / \Gamma$;
- в) $\text{div}(\rho \Gamma \text{div} \Phi)$;
- г) $\text{grad}(\text{div} \Phi)$.

Верный ответ: а) $\text{div}(\Gamma \text{grad} \Phi)$

3. Каков физический смысл выражения « $\Gamma \text{grad} \Phi$ » в одном из слагаемых обобщенного уравнения переноса удельной величины Φ ?

Ответы:

- а) диффузионный поток Φ ;
- б) полный поток Φ ;
- в) плотность диффузионного потока Φ ;
- г) плотность диффузионного потока Φ с обратным знаком;
- д) диффузионный поток Φ с обратным знаком.

Верный ответ: в) плотность диффузионного потока Φ с обратным знаком

4. В какой форме следует численно решать уравнения гидродинамики для трехмерной задачи с переменными физическими свойствами?

Ответы:

- а) в переменных «завихренность-функция тока»;
- б) в переменных «завихренность-функция тока» с использованием приближения Буссинеска;
- в) в переменных «скорость – давление»;
- г) в переменных «скорость – завихренность».

Верный ответ: в) в переменных «скорость – давление».

5. К какому классу дифференциальных уравнений в частных производных относится уравнение сохранения импульса в проекциях на оси координат, справедливое для двумерной стационарной задачи о свободной конвекции в замкнутой полости при неоднородной температуре стенок полости?

Ответы:

- а) к гиперболическим уравнениям;
- б) к эллиптическим уравнениям;
- в) к параболическим уравнениям.

Верный ответ: б) к эллиптическим уравнениям

6. Какие уравнения должна включать математическая модель для описания процессов теплообмена при турбулентном течении жидкости в каналах сложной геометрической формы?

Ответы:

- а) уравнения гидродинамики, энергии и уравнения модели для турбулентной вязкости Рейхардта;
- б) уравнения энергии и уравнения модели для определения турбулентной теплопроводности;
- в) осредненные уравнения гидродинамики и энергии, уравнения моделей для определения компонентов тензора турбулентных напряжений и вектора плотности турбулентного потока теплоты;
- г) уравнение энергии и уравнение для расчета компонентов вектора плотности турбулентного потока теплоты.

Верный ответ: в) осредненные уравнения гидродинамики и энергии, уравнения моделей для определения компонентов тензора турбулентных напряжений и вектора плотности турбулентного потока теплоты

2. Компетенция/Индикатор: ИД-2_{ОПК-1} Способен к составлению алгоритмов для решения конкретных задач в области ядерной энергетики и теплофизики

Вопросы, задания

- 1.1. Отвечает ли свойству консервативности использование выражения для эффективного коэффициента диффузии в виде $\Gamma_e = (\Gamma_P + \Gamma_E)/2$ при $\Gamma_P \neq \Gamma_E$.
2. В чем заключается недостаток независимого вычисления диффузионного и конвективного потоков в задачах конвекции и диффузии?
3. В каких случаях можно записать в стандартной форме обобщенное уравнение переноса относительно температуры?
4. Дивергентный и недивергентный вид уравнения переноса.
5. Последовательность операций и принятые допущения в алгоритме SIMPLE.
6. Граничные условия для системы дискретных уравнений для коррекции давления.

Рассчитать тепловые потери через оконный проем в зависимости от зазора между двумя стеклами

В данной задаче требуется исследовать влияние ширины двухслойного оконного блока на тепловые потери через окно. Окно можно рассматривать как двумерную каверну, состоящую из двух вертикальных стенок-стекол и зазора h_{win} между ними, заполненную воздухом. Вертикальный размер каверны существенно больше, чем зазор h_{win} .

Для моделирования использовать заданные температуры в помещении $T_{room} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ и внешней среде $T_{out} = -15\text{ }^{\circ}\text{C}$ и коэффициенты теплоотдачи $\alpha_{room} = 5\text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$, $\alpha_{out} = 10\text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$. Для моделирования сил плавучести использовать приближение Буссинеска.

2. Результаты сравнить с имеющимися данными.

Рассчитать тепловые потери через оконный проем в зависимости от зазора между двумя стеклами

В данной задаче требуется исследовать влияние ширины двухслойного оконного блока на тепловые потери через окно. Окно можно рассматривать как двумерную каверну, состоящую из двух вертикальных стенок-стекол и зазора h_{win} между ними, заполненную воздухом. Вертикальный размер каверны существенно больше, чем зазор h_{win} . Для моделирования использовать заданные температуры в помещении $T_{room} = 20$ °C и внешней среде $T_{out} = -150$ °C и коэффициенты теплоотдачи $\alpha_{room} = 5$ Вт/(м²×K), $\alpha_{out} = 10$ Вт/(м²×K). Для моделирования сил плавучести использовать приближение Буссинеска. Результаты сравнить с имеющимися данными.

1. С помощью препроцессора ANES сформировать расчетную область, содержащую подобласти «жидкость», «твердые непроницаемые объекты» на выбранной расчетной сетке.

Рассчитать тепловые потери через оконный проем в зависимости от зазора между двумя стеклами

В данной задаче требуется исследовать влияние ширины двухслойного оконного блока на тепловые потери через окно. Окно можно рассматривать как двумерную каверну, состоящую из двух вертикальных стенок-стекол и зазора h_{win} между ними, заполненную воздухом. Вертикальный размер каверны существенно больше, чем зазор h_{win} .

Для моделирования использовать заданные температуры в помещении $T_{room} = 20$ °C и внешней среде $T_{out} = -15$ °C и коэффициенты теплоотдачи $\alpha_{room} = 5$ Вт/(м²·K), $\alpha_{out} = 10$ Вт/(м²·K). Для моделирования сил плавучести использовать приближение Буссинеска.

3. Результаты сравнить с имеющимися данными.

1. Выполнить серию расчетов с различным набором входных параметров.

Материалы для проверки остаточных знаний

1. Какой алгоритм является наиболее эффективным для поиска сопряженных полей скорости и давления при решении стационарной задачи гидродинамики и теплообмена в канале переменного сечения при постоянных свойствах теплоносителя?

Ответы:

- а) итерационный алгоритм SIMPLE;
- б) «нестационарный» алгоритм SIMPLE (метод установления);
- в) алгоритм PISO;
- г) итерационный SIMPLER;
- д) «нестационарный» алгоритм SIMPLEC.

Верный ответ: в) алгоритм PISO.

2. Можно ли использовать алгоритм «прогонка» для итерационного решения системы алгебраических уравнений, представляющих собой дискретные аналоги двумерного обобщенного уравнения переноса удельной величины Φ ?

Ответы:

- а) да;
- б) нет;
- в) да, только в случае стационарной задачи;
- г) да, но для решения прямым (неитерационным) методом.

Верный ответ: а) да

3. Какая формула для расчета эффективного коэффициента диффузии Γ_e между узлами сетки «Р» и «Е» в методе контрольного объема (МКО) является точной для одномерной стационарной задачи диффузии при $\Gamma_P \neq \Gamma_E$? Сетка контрольных объемов равномерная, узловые точки расположены в центре КО

Ответы:

- а) $G_e = G_P$;
- б) $G_e = G_E$;
- в) $G_e = 0,5(G_P + G_E)$;
- г) $G_e = 0,5G_E G_P / (G_P + G_E)$.

Верный ответ: г) $G_e = 0,5G_E G_P / (G_P + G_E)$.

4. На каком шаге алгоритма SIMPLE следует вводить нижнюю релаксацию для компонентов скорости жидкости?

Ответы:

- а) сразу, после получения коррекции давления на текущей итерации;
- б) сразу, после получения на новой итерации приближенных значений скоростей из дискретных аналогов уравнений движения;
- в) на последней итерации перед расчетами других уравнений переноса, содержащих скорость жидкости.

Верный ответ: б) сразу, после получения на новой итерации приближенных значений скоростей из дискретных аналогов уравнений движения;

5. На каком расстоянии от обтекаемой плоской стенки или стенки канала при турбулентном режиме течения жидкости должна находиться первая отстоящая от стенки узловая точка расчетной сетки для алгоритма, использующего универсальный закон для скорости совместно со стандартной $k - \epsilon$ моделью турбулентности? Расстояние от стенки определяется безразмерной координатой Y .

Ответы:

- а) $Y = y/\delta > 0,5$, δ – толщина пограничного слоя;
- б) $Y = y/r_0 > 0,3$, r_0 – радиус трубы;
- в) $Y = y^+ = y u_t / \nu = 30 - 100$, u_t – динамическая скорость; ν – кинематическая вязкость;
- г) $Y = y^+ = y u_t / \nu = 11$, u_t – динамическая скорость; ν – кинематическая вязкость;

Верный ответ: в) $Y = y^+ = y u_t / \nu = 30 - 100$, u_t – динамическая скорость; ν – кинематическая вязкость

6. Как следует определить коэффициенты источникового члена $S(+)$ и $S(-)$ в выбранном контрольном объеме расчетной сетки, чтобы в результате расчетов получить в этом контрольном объеме желаемое значение искомой переменной Φ_0 ? Источниковый член линеаризован в виде $S = S(+) - S(-)\Phi$

Ответы:

- а) $S(+) = M \cdot \Phi_0$, $S(-) = 0$, где M – большое число (10^{20});
- б) $S(+) = M \cdot \Phi_0$, $S(-) = M \cdot \Phi_0$, где M – большое число (10^{20});
- в) $S(+) = \Phi_0$, $S(-) = M \cdot \Phi_0$, где M – большое число (10^{20});
- г) $S(+) = M \cdot \Phi_0$, $S(-) = M$, где M – большое число (10^{20}).

Верный ответ: г) $S(+) = M \cdot \Phi_0$, $S(-) = M$, где M – большое число (10^{20}).

3. Компетенция/Индикатор: ИД-1_{ОПК-2} Применяет математический аппарат для решения теплофизических задач атомной энергетики

Вопросы, задания

1.1. Дано: источниковый член уравнения диффузии задан в виде $S = 4 - 5\Phi^3$.

Линеаризуйте источниковый член 3-я возможными способами, один из которых эквивалентен касательной к кривой $S = S(\Phi)$ в точке $\Phi = \Phi^*$, где Φ^* – значение искомой функции на предыдущей итерации.

2. Запишите систему дискретных аналогов для одномерного стационарного уравнения диффузии при условиях:

$\Gamma = 1$; $S = -\Phi^4$; $\Phi(0)=0$; $\Phi(3)=1$; координаты пяти узловых точек $X = 0; 0,5; 1,5; 2,5; 3$

3. Запишите систему дискретных аналогов для одномерного стационарного уравнения диффузии при условиях:

$\Gamma = 2$; $S = -\Phi_4$; $\Phi(0)=1$; $\Phi(3)=2$; координаты пяти узловых точек $X = 0; 0,5; 1,5; 2,5; 3$

- 2.1. Коэффициенты дискретного аналога для задач конвекции и диффузии.
2. Отличие экспоненциальной схемы от схемы с разностями против потока и центрально-разностной.
3. Суть проблемы выходных граничных условий в задачах конвекции и диффузии.
4. «Шахматные» расчетные сетки для решения уравнений гидродинамики.
5. Схемная диффузия для двумерных задач конвекции при использовании схемы с разностями «против потока». Рассмотреть два случая направления вектора скорости: вдоль оси X и под углом к этой оси.

Материалы для проверки остаточных знаний

1. Частным случаем какого метода построения дискретного аналога уравнения переноса (закона сохранения) удельной величины Φ является метод контрольного объема?

Ответы:

- а) метода конечных разностей;
- б) метода взвешанных невязок;
- в) вариационного метода.

Верный ответ: б) метода взвешанных невязок;

2. В каком виде допустимо линейаризовать источниковый член уравнения переноса удельной величины Φ , заданный формулой $S = -A * \Phi^4$? Φ^* - значение искомой функции на предыдущей итерации

Ответы:

- а) $S = -A * (\Phi^*)^3 * \Phi$;
- б) $S = -A * (\Phi^*) * \Phi^3$;
- в) $S = 0,5 * A * (\Phi^*)^3 * \Phi - 1,5(\Phi^*)^4$

Верный ответ: а) $S = A * (\Phi^*)^3 * \Phi$.

Для двумерной стационарной задачи диффузии удельной величины Φ на границе расчетной области Σ задано условие 3-го рода (см. рисунок).

$$J_n^p(x, y, z, \tau) = - \left(\Gamma \frac{\partial \Phi}{\partial n} \right)_z = - \alpha_f (\Phi_f(x, y, z, \tau) - \Phi_s(x, y, z, \tau)),$$

$$(x, y, z) \in \Sigma,$$

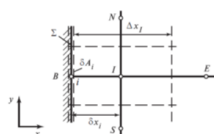
где n – внешняя нормаль к Σ , направленная в противоположном направлении относительно оси x , Γ – коэффициент диффузии, Φ_f и α_f – свободные параметры граничного условия, задаваемые пользователем. Дискретный аналог для бесконечно тонкого контрольного объема, изображенного на рисунке имеет вид:

$$a_s \Phi_s = a_f \Phi_f + a_f \Phi_f; \quad a_s = a_f + a_f;$$

$$a_f = \alpha_f \delta A_f; \quad a_s = \frac{\Gamma_f \delta A_f}{\delta x_f};$$

$$B \in \gamma^{h,t}; \quad I \in \phi^{h,t}.$$

Какими нужно задать параметры Φ_f и α_f , чтобы в узловой точке «В» в результате расчетов получить желаемое значение искомой функции Φ_B ?



Условный бесконечно тонкий КУ с граничной узловой точкой В и внутренний КУ расчетной области с узловой точкой I

3.

Ответы:

- а) $\alpha = M$, $\Phi_f = \Phi_B$, где M – большое число (10^{20});
- б) $\alpha = M$, $\Phi_f = \Phi_B$, где M – малое число (10^{-20});
- в) $\alpha = \Phi_B$, $\Phi_f = M$, где M – большое число (10^{20});

Верный ответ: а) $\alpha = M$, $\Phi_f = \Phi_B$, где M – большое число (10^{20});

4. Чему равно значение параметра невязности « σ » в численной схеме Кранка – Николсона?

Ответы:

- а) 0;
- б) 0.25;
- в) 0,5;
- г) 1,0.

Верный ответ: в) 0,5.

5. При каком сеточном числе Пекле « Pe », построенном по линейному размеру сетки Δx , плотности массового расхода « F » вдоль оси « x » и коэффициенту диффузии « Γ », в аппроксимации полного потока величины Φ , подчиняющейся обобщенному уравнению переноса, можно не учитывать диффузионную составляющую потока?

Ответы:

- а) при $Pe \geq 2$;
- б) при $Pe \geq 10$;
- в) при $Pe \geq 4,36$;

Верный ответ: б) при $Pe \geq 10$;

6. С какой целью следует линеаризовать нелинейный источниковый член при получении дискретного аналога обобщенного уравнения переноса?

Ответы:

- а) для повышения точности описания нелинейного источникового члена;
- б) чтобы избежать «развала» решения и ускорить сходимость итераций;
- в) чтобы иметь возможность использовать менее подробную сетку.

Верный ответ: б) чтобы избежать «развала» решения и ускорить сходимость итераций;

4. Компетенция/Индикатор: ИД-2_{ОПК-2} Применяет компьютерные технологии для решения теплофизических задач ядерной энергетики

Вопросы, задания

- 1.1. Правила осреднения Рейнольдса для пульсирующих характеристик течения.
2. Чем отличаются правила осреднения характеристик течения по Фавру от правил осреднения по Рейнольдсу? В каких случаях целесообразно осреднение по Фавру?
3. Характерные зоны по толщине турбулентного пограничного слоя, и поведение профиля скорости в этих зонах. Укажите примерные границы расстояний от твердой непроницаемой стенки, в рамках которых справедлив логарифмический закон для скорости.
3. Осредненные уравнения Рейнольдса сохранения массы, импульса в проекциях на оси координат, энергии. Рейнольдсовы напряжения, вектор плотности турбулентного потока теплоты.
4. Гипотеза Буссинеска. Суть аналогии. Недостатки гипотезы.
5. Классическая формула Прандтля для турбулентной вязкости. Область применимости формулы Прандтля.
6. Особенности турбулентности в свободных течениях (струи, следы, слои смешения).
7. Формула Прандтля - Колмогорова для турбулентной вязкости.
8. Формула Колмогорова для скорости диссипации.
9. Составляющие баланса уравнения переноса кинетической энергии турбулентных пульсаций.
10. В чем принципиальное различие статей баланса кинетической энергии турбулентных пульсаций для пристеночных и свободных турбулентных течений?
11. Качественное поведение кинетической энергии турбулентных пульсаций вблизи стенки (указать характерные подобласти).
12. Качественное поведение скорости диссипации кинетической энергии турбулентных пульсаций вблизи стенки (указать характерные подобласти).
13. Качественное поведение турбулентных напряжений вблизи стенки (указать характерные подобласти).

Рассчитать тепловые потери через оконный проем в зависимости от зазора между двумя стеклами

В данной задаче требуется исследовать влияние ширины двухслойного оконного блока на тепловые потери через окно. Окно можно рассматривать как двумерную каверну, состоящую из двух вертикальных стенок-стекол и зазора h_{win} между ними, заполненную воздухом. Вертикальный размер каверны существенно больше, чем зазор h_{win} .

Для моделирования использовать заданные температуры в помещении $T_{room} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ и внешней среде $T_{out} = -15\text{ }^{\circ}\text{C}$ и коэффициенты теплоотдачи $\alpha_{room} = 5\text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$, $\alpha_{out} = 10\text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$. Для моделирования сил плавучести использовать приближение Буссинеска.

2. Результаты сравнить с имеющимися данными.

1. Задать начальные и краевые условия, коэффициенты переноса и источники члены численно решаемых уравнений переноса.

Материалы для проверки остаточных знаний

1. Для какой ОС разработан открытый CFD код OpenFOAM?

Ответы:

- а) Linux;
- б) Windows 10;
- в) iOS.

Верный ответ: а) Linux;

2. Какой метод дискретизации дифференциальных уравнений используется в большинстве современных универсальных CFD кодов?

Ответы:

- а) метод конечных разностей;
- б) метод контрольного (конечного) объема;
- в) спектральный метод.

Верный ответ: б) метод контрольного (конечного) объема;

3. Какое граничное условие используется на твердой стенке в дискретных аналогах уравнения сохранения импульса в проекции на ось координат, параллельную поверхности стенки, при использовании универсальных пристеночных законов для турбулентного профиля скорости совместно со стандартной $k - \epsilon$ моделью турбулентности.

Ответы:

- а) касательная к стенке составляющая скорости равна нулю;
- б) касательное напряжение, выраженное из универсального закона для скорости;
- в) значение скорости в первой, отстоящей от стенки узловой точке, рассчитанное из универсального закона для скорости.

Верный ответ: б) касательное напряжение, выраженное из универсального закона для скорости;

4. Какие сетки контрольных объемов (КО) предпочтительнее использовать для решения трехмерных задач со сложной геометрией расчетной области?

Ответы:

- а) неструктурированные сетки с локальным дроблением;
- б) структурированные декартовы сетки с блокированными ячейками;
- в) структурированные сетки в цилиндрической системе координат с блокированными ячейками.

Верный ответ: а) неструктурированные сетки с локальным дроблением

5. Какой критерий используется в коде ANES для получения решения и выхода из итерационного процесса?

Ответы:

- а) достижение заданного числа итераций;
- б) значения относительных невязок дискретных уравнений $< 1.e-4 \dots 1.e-5$;
- в) достижение заданного времени расчета на шаге по времени.

Верный ответ: б) значения относительных невязок дискретных уравнений $< 1.e-4 \dots 1.e-5$;

6. В случае отсутствия сходимости итерационных процедур при моделировании процессов гидродинамики и теплообмена с использованием CFD – кодов, прежде всего следует:

Ответы:

- а) уменьшить пространственные шаги сетки;
- б) уменьшить коэффициенты релаксации;
- в) увеличить число итераций.

Верный ответ: б) уменьшить коэффициенты релаксации;

5. Компетенция/Индикатор: ИД-1опк-3 Способен формулировать результаты научных исследований

Вопросы, задания

- 1.1. Перечислите методы доказательства достоверности полученных результатов.
2. На каком расстоянии от твердой стенки должна находиться ближайшая узловая точка расчетной сетки для получения достоверных результатов при использовании стандартной k-ε модели?
3. Как следует изменить сетку, построенную первоначально для использования стандартной k-ε модели, при использовании моделей для низких турбулентных чисел Рейнольдса для получения достоверных результатов, независимых от сетки.

Рассчитать тепловые потери через оконный проем в зависимости от зазора между двумя стеклами

В данной задаче требуется исследовать влияние ширины двухслойного оконного блока на тепловые потери через окно. Окно можно рассматривать как двумерную каверну, состоящую из двух вертикальных стенок-стекол и зазора h_{win} между ними, заполненную воздухом. Вертикальный размер каверны существенно больше, чем зазор h_{win} .

Для моделирования использовать заданные температуры в помещении $T_{room} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ и внешней среде $T_{out} = -15 \text{ }^{\circ}\text{C}$ и коэффициенты теплоотдачи $\alpha_{room} = 5 \text{ Вт/(м}^2\text{·К)}$, $\alpha_{out} = 10 \text{ Вт/(м}^2\text{·К)}$. Для моделирования сил плавучести использовать приближение Буссинеска.

2. Результаты сравнить с имеющимися данными.
1. Доказать достоверность получаемых результатов.

Материалы для проверки остаточных знаний

1. Численное решение двумерной задачи гидродинамики и теплообмена получено на неструктурированной сетке с числом ячеек 50x50 при числе итераций 28. Что необходимо сделать, чтобы доказать сеточную сходимость?

Ответы:

- а) увеличить число итераций до 50, уменьшить коэффициенты релаксации и размеры ячеек сетки;
- б) выполнить расчеты на структурированной сетке с тем же числом ячеек;
- в) уменьшить размер сеточных ячеек и убедиться в неизменности важнейших характеристик процессов. В противном случае повторять процедуру уменьшения размеров сеточных ячеек до тех пор, пока рассчитанные характеристики процессов не перестанут изменяться.

Верный ответ: в) уменьшить размер сеточных ячеек и убедиться в неизменности важнейших характеристик процессов. В противном случае повторять процедуру уменьшения размеров сеточных ячеек до тех пор, пока рассчитанные характеристики процессов не перестанут изменяться.

2. Чем в первую очередь определяется достоверность результатов расчета?

Ответы:

- а) физической и математической постановкой задачи и выбором достоверных математических моделей;
- б) получением сошедшегося решения задачи,
- в) выполнением балансов массы, импульса и энергии для полученного решения.

Верный ответ: а) физической и математической постановкой задачи и выбором достоверных математических моделей;

3. Каковы основные цели решения прикладной задачи о течении и теплообмене в некотором устройстве?

Ответы:

- а) получение данных о характерных температурах жидкости и твердых объектах, скоростях течения жидкости, гидравлическом сопротивлении и коэффициентах теплоотдачи;
- б) получение детальных векторных полей скорости в устройстве и температурных полей в жидкости;
- в) построение линий (или поверхностей) постоянного уровня температуры теплоносителя.

Верный ответ: а) получение данных о характерных температурах жидкости и твердых поверхностей, скоростях течения жидкости, гидравлическом сопротивлении и коэффициентах теплоотдачи;

4. Достоверность полученных расчетных данных кодом ANES по профилям температуры и коэффициентам теплоотдачи при стабилизированном течении жидкости с постоянными свойствами в круглой обогреваемой трубе при числе Рейнольдса 1000 доказана сравнением с теоретическим решением. Является ли это достаточным доказательством достоверности расчетных данных, также полученных кодом ANES на той же сетке, но при числе Рейнольдса 10 000?

Ответы:

- а) нет, т.к. необходимо изменить сетку;
- б) да;
- в) нет, т.к. изменился режим течения, и это обуславливает необходимость доказательства достоверности результатов

Верный ответ: в) нет, т.к. изменился режим течения, и это обуславливает необходимость доказательства достоверности результатов

5. При моделировании подъемного турбулентного течения теплоносителя сверхкритического давления в круглой обогреваемой трубе обнаружено ухудшение теплоотдачи, выразившееся в резком росте температуры стенки трубы в сечениях, расположенных вдали от входа в трубу ($x/d > 100$). Какие рекомендации могут быть сделаны для предотвращения разрушения (прогара) стенки?

Ответы:

- а) уменьшить диаметр трубы;
- б) увеличить расход теплоносителя;
- в) увеличить толщину стенки трубы;
- г) снизить тепловую нагрузку.

Верный ответ: г) снизить тепловую нагрузку.

6. При ускорении течения в турбулентном пограничном слое на плоской пластине под действием отрицательного градиента давления во внешнем потоке интенсивность турбулентности вниз по течению:

Ответы:

- а) усиливается;
- б) затухает;
- в) остается неизменной.

Верный ответ: б) затухает.

6. Компетенция/Индикатор: ИД-2_{ОПК-3} Применяет компьютерные технологии для представления результатов научно-исследовательской деятельности

Вопросы, задания

Рассчитать тепловые потери через оконный проем в зависимости от зазора между двумя стеклами

В данной задаче требуется исследовать влияние ширины двухслойного оконного блока на тепловые потери через окно. Окно можно рассматривать как двумерную каверну, состоящую из двух вертикальных стенок-стекол и зазора h_{win} между ними, заполненную воздухом. Вертикальный размер каверны существенно больше, чем зазор h_{win} .

Для моделирования использовать заданные температуры в помещении $T_{room} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ и внешней среде $T_{out} = -15\text{ }^{\circ}\text{C}$ и коэффициенты теплоотдачи $\alpha_{room} = 5\text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$, $\alpha_{out} = 10\text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$. Для моделирования сил плавучести использовать приближение Буссинеска.

1. Результаты сравнить с имеющимися данными.

1. С помощью постпроцессора кода ANES, графического пакета Para View, офисных компьютерных приложений выполнить обработку результатов расчетов в виде содержательных графиков, таблиц полей компонентов скорости и температуры. Провести сопоставление полученных результатов с имеющимися литературными данными. Рассчитать и представить локальные и средние характеристики, важные для инженерных приложений (числа Нуссельта, коэффициенты сопротивления и др.).

Рассчитать тепловые потери через оконный проем в зависимости от зазора между двумя стеклами

В данной задаче требуется исследовать влияние ширины двухслойного оконного блока на тепловые потери через окно. Окно можно рассматривать как двумерную каверну, состоящую из двух вертикальных стенок-стекол и зазора h_{win} между ними, заполненную воздухом. Вертикальный размер каверны существенно больше, чем зазор h_{win} .

Для моделирования использовать заданные температуры в помещении $T_{room} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ и внешней среде $T_{out} = -15\text{ }^{\circ}\text{C}$ и коэффициенты теплоотдачи $\alpha_{room} = 5\text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$, $\alpha_{out} = 10\text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$. Для моделирования сил плавучести использовать приближение Буссинеска.

2. Результаты сравнить с имеющимися данными.

1. Подготовить презентацию выполненной работы.

Материалы для проверки остаточных знаний

1. Какой программный продукт из пакета Microsoft Office следует использовать для создания презентации?

Ответы:

- а) MS Word;
- б) MS PowerPoint;
- в) MS Excel.

Верный ответ: б) MS PowerPoint;

2. Как построить линии тока, используя результаты расчета кода ANES?

Ответы:

- а) вывести результаты в формате VTK и использовать пакет ParaView для построения линий тока;
- б) вывести результаты в формате MS Word и построить линии тока в постпроцессоре ANES;
- в) вывести результаты в формате MS Excel и использовать пакет ParaView для построения линий тока.

Верный ответ: а) вывести результаты в формате VTK и использовать пакет ParaView для построения линий тока;

3. Какой библиотекой языка Python необходимо воспользоваться для построения графиков, контуров и векторных полей?

Ответы:

- а) matplotlib;
- б) scipy;
- в) numpy.

Верный ответ: а) matplotlib.

4. Как построить график распределения зависимых переменных (компонентов вектора скорости, температуры, давления) в выбранных сечениях, используя результаты расчета кодом ANES?

Ответы:

- а) построить в постпроцессоре ANES цветные контуры нужного поля, выбрать нужное сечение и сохранить распределение Φ -переменной в текстовом файле в виде таблицы; далее воспользоваться любыми средствами построения графиков;
- б) выгрузить данные расчета в MS Excel и построить графики с помощью этого пакета;
- в) использовать листинг Решателя для построения графиков любыми графическими пакетами.

Верный ответ: а) построить в постпроцессоре ANES цветные контуры нужного поля, выбрать нужное сечение и сохранить распределение Φ -переменной в текстовом файле в виде таблицы; далее воспользоваться любыми средствами построения графиков;

5. Какие программные средства можно использовать для анализа результатов расчета кодом ANES?

Ответы:

- а) постпроцессор кода ANES и постпроцессор ParaView;
- б) программу MS Excel;
- в) язык программирования Python или программный комплекс MatLab.

Верный ответ: а) постпроцессор кода ANES и постпроцессор ParaView;

6. Как построить линии тока теплоносителя, используя результаты расчета кодом ANES?

Ответы:

- а) использовать диалоги постпроцессора кода ANES,
- б) использовать фильтр StreamLines постпроцессора ParaView,
- в) выгрузить данные расчета в MS Excel и построить графики с помощью этого пакета.

Верный ответ: б) использовать фильтр StreamLines постпроцессора ParaView,

II. Описание шкалы оценивания

Оценка: 5

Описание характеристики выполнения знания:

Оценка: 4

Описание характеристики выполнения знания:

Оценка: 3

Описание характеристики выполнения знания:

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания:

III. Правила выставления итоговой оценки по курсу

Итоговая аттестация проводится по результатам работы в семестре.