МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
КАЗАНСКИЙ (ПРИВОЛЖСКИЙ) ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

«УТВЕРЖДАЮ»
Проректор по научной деятельности КФУ
Проф. Д.К. Нургалиев
_____
«23» сентября 2015 г.

Программа дисциплины

Б1.В.ДВ.1 Многопроцессорные вычисления в пакетах Fluent и OpenFOAM

Направление подготовки: 01.06.01 Математика и механика

Профиль подготовки: 01.02.04 Механика деформируемого твердого тела

Квалификация выпускника: «Исследователь. Преподаватель-исследователь»

Форма обучения: очная
Язык обучения: русский

Казань
2015

1. КРАТКАЯ АННОТАЦИЯ

Современная вычислительная гидрогазодинамика включает в себя комплекс физических моделей, численных методов и компьютерных пакетов программ. Владение набором методов и наиболее типичными компьютерными пакетами решения задач газо-гидромеханики является необходимым для современного специалиста, ориентированного как на решение исследовательских, так и инженерных задач в области механики сплошных сред. Во время данной дисциплины студенты знакомятся с существующими коммерческими и свободными CFD пакетами для решения задач газовой динамики и гидромеханики и обретают навыки работы с ними. Дисциплина относится к разделу Б1.В.ДВ и развивает представления об организации и использовании CFD пакетов при решении задач вычислительной гидроаэромеханики.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) В СТРУКТУРЕ ОПОП

Данная учебная дисциплина включена в раздел "Б1.В.ДВ Дисциплины по выбору" и осваивается в 4 семестре.

Для полноценного освоения курса требуется знание основ "Механики сплошных сред", "Вычислительной гидродинамики".

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

Обучающийся, завершивший изучение дисциплины, должен

знать:
структуру и возможности современных CFD пакетов;
стандартный набор физических и математических моделей и методов решения, включенных в современные CFD пакеты;
круг задач, решаемых с помощью CFD пакетов.

уметь:
работать в среде редактора для создания геометрии расчетной области и сеточного разбиения;
задавать граничные условия;
выбирать и задавать свойства среды, в том числе для смесей;
работать с файлами, создаваемыми CFD пакетами (импортировать, экспортировать, редактировать);
адаптировать созданное сеточное разбиение;
создавать дополнительные функции для обработки данных;
представлять расчетные результаты в графическом виде и вычислять интегральные характеристики;
создавать дополнительные программные модули к CFD пакету;
параметризовать решаемую задачу.

владеть:
навыками решения стандартных задач гидроаэромеханики, средствами современных коммерческих CFD пакетов, включая все этапы: препроцессинг, решение, постпроцессинг.

демонстрировать способность и готовность:

-
применять результаты освоения дисциплины в профессиональной деятельности.

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

Шифр компетенции	**Расшифровка приобретаемой компетенции**
УК-1	способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях ;
УК-3	готовность участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач;
ОПК-1	способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий;
ПК-1	способность к организации и проведению научно-исследовательской деятельности в профессиональной области, в том числе руководству научно-исследовательской работой студентов;
ПК-2	способность подготавливать научные работы для публикации в ведущих российских и международных изданиях, а также выступления на российских и международных научно-практических конференциях;

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

4.1. Распределение трудоёмкости дисциплины (в часах) по видам нагрузки обучающегося и по разделам дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетные единицы, 108 часов.

Форма промежуточной аттестации по дисциплине: зачет в 4 семестре.

	Раздел дисциплины	**Семестр**	**Лекции**	**Практические занятия**	**Лабораторные работы**	**Самостоятельная работа**
1.	Численные методы решения задач аэромеханики. Метод конечных объемов.	4	4	4		9
2.	CAE проектирование. Использование CFD пакетов. Организация CFD пакетов. Этапы работы.	4	2	2		9
3.	Работа в редакторе сеток (препроцессинг).	4	4	4		9
4.	Задание граничных условий. Свойства среды. Этап расчета.	4	4	4		18
5.	Постпроцессинг. Расчет интегральных	4	2	2		9

	характеристик, графическая визуализация расчетных данных.					
6	Типичные задачи механики жидкости и газа.	4	2	2		18
	Итого		18	18		72

4.2 Содержание дисциплины

4.2 Содержание дисциплины

Тема 1. Численные методы решения задач аэромеханики. Метод конечных объемов.

лекционное занятие (4 часа(ов)):

Введение. Система уравнений движения жидкости и газа. Обобщенное уравнение переноса. Метод конечных объемов. Уравнение диффузии. Метод конечных объемов. Уравнение конвективной диффузии. Описание схем аппроксимации. Алгоритмы SIMPLE и PISO. Решение системы алгебраических уравнений для дискретных значений функций.

Тема 2. CAE проектирование. Использование CFD пакетов. Организация CFD пакетов. Этапы работы.

лекционное занятие (2 часа(ов)):

CAE - проектирование: проектирование, моделирование и изготовление. Этап моделирования. Организация CFD программ. Препроцессинг, решатель, постпроцессинг.

Тема 3. Работа в редакторе сеток (препроцессинг).

лекционное занятие (4 часа(ов)):

Редакторы сеток. Общее описание. Элементарные объекты для создания геометрии: узлы, линии, грани, объемы. Булевы операции с геометрическими объектами. Глобальная и локальная системы координат. Экспорт геометрии в расчетный модуль. Программирование в среде графического редактора. Параметризация создаваемой геометрии. Сеточное разбиение расчетной области. Типы двумерных и трехмерных конечных объемов. Регулярное и нерегулярное разбиение

Тема 4. Задание граничных условий. Свойства среды. Этап расчета.

лекционное занятие (4 часа(ов)):

Задание граничных условий. Типичные граничные условия. Определение граничных профилей. Свойства среды. Выбор различных моделей газовой динамики. Свойства смесей газов. Выбор физической модели. Выбор численных схем в среде CFD пакета. Выбор типов решателей. Распределенные вычисления в пакетах OpenFOAM, ANSYS Fluent. Постпроцессинг. Графическое представление расчетных результатов.

Тема 5. Постпроцессинг. Расчет интегральных характеристик, графическая визуализация расчетных данных.

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Создание дополнительных функций. Создание дополнительных точек, линий и сечений в расчетной области. Определение интегральных характеристик. Анимация. Адаптация сетки. Критерии для адаптации. Дополнительные модули пользователя (UDF).

Тема 6. Типичные задачи механики жидкости и газа.

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Внешние течения. Обтекание тел. Обтекание цилиндра потоком вязкой несжимаемой жидкости. Моделирование внешнего сжимаемого течения. Моделирование периодического течения и теплопереноса (пример решения задачи расчета решетки теплообменника). Моделирование многофазных течений. Течения газа с взвешенными частицами. Расчет течений со свободными границами. Нестационарные задачи. Расчет турбулентного течения

---5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИНа лекциях: в преподавании используются мультимедийные презентации, иллюстрации, таблицы, методические пособия.

На практических занятиях в преподавании курса используются активные и интерактивные технологии проведения занятий.

---6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

Вопросы к практическим занятиям

Тема 1.

Система уравнений движения жидкости и газа. Обобщенное уравнение переноса. Метод конечных объемов. Уравнение диффузии. Метод конечных объемов. Уравнение конвективной диффузии. Описание схем аппроксимации. Алгоритмы SIMPLE и PISO. Решение системы алгебраических уравнений для дискретных значений функций.

Тема 2.

CAE - проектирование: проектирование, моделирование и изготовление. Этап моделирования. Организация CFD программ. Препроцессинг, решатель, постпроцессинг.

Тема 3.

Редакторы сеток: Gambit, Gmsh, blockMesh. Элементарные объекты для создания геометрии: узлы, линии, грани, объемы. Булевы операции с геометрическими объектами. Глобальная и локальная системы координат. Экспорт геометрии в расчетный модуль. Программирование в среде графического редактора. Параметризация создаваемой геометрии. Сеточное разбиение расчетной области. Типы двумерных и трехмерных конечных объемов. Регулярное и нерегулярное разбиение

Тема 4.

Задание граничных условий. Типичные граничные условия. Определение граничных профилей. Свойства среды. Выбор различных моделей газовой динамики. Свойства смесей газов. Выбор физической модели. Выбор численных схем в среде CFD пакета. Выбор типов решателей. Постпроцессинг. Графическое представление расчетных результатов.

Тема 5.

Создание дополнительных функций. Создание дополнительных точек, линий и сечений в расчетной области. Определение интегральных характеристик. Анимация. Адаптация сетки. Критерии для адаптации. Дополнительные модули пользователя (UDF).

Тема 6.

Внешние течения. Обтекание тел. Обтекание цилиндра потоком вязкой несжимаемой жидкости. Моделирование внешнего сжимаемого течения. Моделирование периодического течения и теплопереноса (пример решения задачи расчета решетки теплообменника). Моделирование многофазных течений. Течения газа с взвешенными частицами. Расчет течений со свободными границами. Нестационарные задачи. Расчет турбулентного течения

---7. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

7.1. Регламент дисциплины

Оценка "зачтено" ставится аспирантам, которые при ответе в основном знают программный материал в объеме, необходимом для предстоящей работы по профессии;

7.2. Оценочные средства текущего контроля

Домашние задания:

1. Дискретизация уравнений движения вязкой жидкости и граничных условий по методу конечных объемов для случая задачи о течении жидкости в квадратной каверне.
2. Построение регулярных расчетных сеток в прямоугольной области с помощью приложений Gambit, Gmsh, blockMesh.
3. Построение нерегулярных расчетных сеток в областях сложной формы с помощью приложений Gambit, Gmsh, blockMesh.

4. Решение задачи о течении вязкой жидкости в квадратной каверне в диапазоне низких чисел Рейнольдса с использованием пакета OpenFOAM.
5. Решение задачи о течении вязкой жидкости в квадратной каверне в диапазоне низких чисел Рейнольдса с использованием пакета ANSYS Fluent.
6. Визуализация данных расчетов в пакете ParaView.
7. Использование моделей турбулентности для расчета задачи обтекания круглого цилиндра.

Контрольная работа на темы:
1. Дискретизация по методу конечных объемов.
2. Сеточное разбиение расчетной области. Генераторы сеток.
3. Задание граничных условий. Типичные граничные условия.
4. Выбор физической модели в пакете OpenFOAM. .
5. Выбор численных схем в пакете OpenFOAM.
6. Выбор физической модели в пакете ANSYS Fluent.
7. Выбор численных схем в пакете ANSYS Fluent.
8. Средства графического анализа результатов.

7.3. Вопросы к зачету

1. Система уравнений движения жидкости и газа.
2. Обобщенное уравнение переноса.
3. Метод конечных объемов. Уравнение диффузии.
4. Метод конечных объемов. Уравнение конвективной диффузии.
5. Описание схем аппроксимации.
6. Алгоритм Simple.
7. Решение системы алгебраических уравнений для дискретных значений функций.
8. Нестационарные задачи.
9. Граничные условия.
10. Основные модели турбулентности в CFD пакетах.
11. CAE - проектирование: проектирование, моделирование и изготовление.
12. Этап моделирования. Организация CFD программ. Препроцессинг, решатель, постпроцессинг.
13. Графический редактор. Общее описание.
14. Элементарные объекты для создания геометрии: узлы, линии, грани, объемы.
15. Булевы операции с геометрическими объектами.
16. Глобальная и локальная системы координат.
17. Экспорт геометрии в расчетный модуль.
18. Программирование в среде графического редактора.
19. Параметризация создаваемой геометрии.
20. Сеточное разбиение расчетной области.
21. Типы двумерных и трехмерных конечных объемов. Регулярное и нерегулярное разбиение.
22. Задание граничных условий. Типичные граничные условия.
23. Определение граничных профилей.
24. Свойства среды. Выбор различных моделей газовой динамики.
25. Свойства смесей газов. Выбор физической модели.
26. Выбор численных схем в среде CFD пакета.
27. Выбор типов решателей.
28. Постпроцессинг. Графическое представление расчетных результатов.
29. Создание дополнительных функций.
30. Создание дополнительных точек, линий и сечений в расчетной области.
31. Определение интегральных характеристик.

32. Анимация.
33. Адаптация сетки. Критерии для адаптации.
34. Дополнительные модули пользователя (UDF).

--7.4. Таблица соответствия компетенций, критериев оценки их освоения и оценочных средств

Индекс компетенции	**Расшифровка компетенции**	**Показатель формирования компетенции для данной дисциплины**	**Оценочное средство**
УК-1	способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях;	Способность к анализу литературы, посвященной современным методам расчетов, ориентироваться в современных методах решения нелинейных проблем	Вопросы контрольной работы 1-7 Вопросы к зачету 1-5, 7-9
УК-3	готовность участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач;	Умение формулировать задачу, выбор методов и алгоритмов решения	Вопросы контрольной работы 1, 4,5, 6, 7 Вопросы к зачету 6,7,8, 24 - 27
ОПК-1	способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий;	Способность к формулировке исследуемой задачи, построения стратегии решения, знание продуктов численной реализации методов исследования	Домашнее задание 1-7 Вопросы контрольной работы 3-8 Вопросы к зачету 8-34
ПК-1	способность к организации и проведению научно-исследовательской деятельности в профессиональной области, в том числе	Способность к формулировке исследуемой задачи, построения стратегии решения	Домашнее задание 1-7 Вопросы контрольной работы 3-7 Вопросы к зачету 9-34

	руководству научно-исследовательской работой студентов;		
ПК-2	способность подготавливать научные работы для публикации в ведущих российских и международных изданиях, а также выступления на российских и международных научно-практических конференциях;	Умение четко формулировать проблему исследования, анализировать и делать выводы	Домашнее задание 1-7 Вопросы контрольной работы 3-7 Вопросы к зачету 9-34

--8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПРИ ОСВОЕНИИ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Очень важным при изучении курса является систематическое и последовательное изучение предмета.

Необходимо:

1. регулярно посещать лекционные занятия;
2. записывать конспект каждой лекции, чтобы к концу семестра иметь полный курс лекций;
3. перед очередной лекцией повторить содержание предыдущих лекций;
4. с целью более глубокого изучения курса и его применения к решению практических задач в рамках самостоятельного изучения учебного курса рекомендуется обращаться к книгам, приведенным в списке литературы.

--9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

9.1. Основная литература

Нигматулин, Роберт Искандерович. Механика сплошной среды, Кинематика. Динамика. Термодинамика. Статистическая динамика: учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 010701 "Фундаментальная механика и механика" и направлению подготовки 010800 "Механика и математическое моделирование" / Р. И. Нигматулин.—Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2014.—639 с.

Покровский В.В. Механика. Методы решения задач: учебное пособие. - М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. - 253 с. http://e.lanbook.com/view/book/8713//

9.2. Дополнительная литература

Алямовский, А. А. SolidWorks 2007/2008. Компьютерное моделирование в инженерной практике / А. А. Алямовский, А. А. Собачкин, Е. В. Одинцов, А. И. Харитонович, Н. Б. Пономарев. – СПб.: БХВ-Петербург, 2008. – 1040 с, http://znanium.com/bookread.php?book=350267

Ефимова Е.И. Чухлей В.Д. Нагабедян В.С. Моделирование воздушных потоков в помещениях метрополитена на платформе SolidWorks / Интернет-журнал \"Науковедение\", Вып. 1, 2014, http://znanium.com/bookread.php?book=476043

9.3. Интернет-ресурсы:

сайт фирмы ANSYS с описанием пакета Fluent - www.ansys.com
официальный сайт пакета OpenFOAM — www.openfoam.com
математический образовательный сайт - www.exponenta.ru
сайт по пакетам CFD пакетам - www.cfd-online.com
Электронная библиотека - www.elibrary.ru
Электронная библиотека - www.sciencedirect.com
Электронная библиотека - www.scopus.com
Электронная библиотека - http://mech.math.msu.su

10. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Мультимедийная аудитория. Мультимедийная аудитория состоит из интегрированных инженерных систем с единой системой управления, оснащенная современными средствами воспроизведения и визуализации любой видео и аудио информации, получения и передачи электронных документов. Типовая комплектация мультимедийной аудитории состоит из: мультимедийного проектора, автоматизированного проекционного экрана, акустической системы, а также интерактивной трибуны преподавателя, включающей тач-скрин монитор с диагональю не менее 22 дюймов, персональный компьютер (с техническими характеристиками не ниже Intel Core i3-2100, DDR3 4096Mb, 500Gb), конференц-микрофон, беспроводной микрофон, блок управления оборудованием, интерфейсы подключения: USB,audio, HDMI. Интерактивная трибуна преподавателя является ключевым элементом управления, объединяющим все устройства в единую систему, и служит полноценным рабочим местом преподавателя. Преподаватель имеет возможность легко управлять всей системой, не отходя от трибуны, что позволяет проводить лекции, практические занятия, презентации, вебинары, конференции и другие виды аудиторной нагрузки обучающихся в удобной и доступной для них форме с применением современных интерактивных средств обучения, в том числе с использованием в процессе обучения всех корпоративных ресурсов. Мультимедийная аудитория также оснащена широкополосным доступом в сеть интернет. Компьютерное оборудованием имеет соответствующее лицензионное программное обеспечение.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе "ZNANIUM.COM", доступ к которой предоставлен аспирантам. ЭБС "ZNANIUM.COM" содержит произведения крупнейших российских учёных, руководителей государственных органов, преподавателей ведущих вузов страны, высококвалифицированных специалистов в различных сферах бизнеса. Фонд библиотеки сформирован с учетом всех изменений образовательных стандартов и включает учебники, учебные пособия, УМК, монографии, авторефераты, диссертации, энциклопедии, словари и справочники, законодательно-нормативные документы, специальные периодические издания и издания, выпускаемые издательствами вузов. В настоящее время ЭБС ZNANIUM.COM соответствует всем требованиям федеральных государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования (ФГОС ВПО) нового поколения.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО и с учетом рекомендаций по направлению подготовки.

Автор(ы): Егоров А.Г., Нуриев А.Н.

Программа одобрена на заседании Учебно-методической комиссии Института математики и механики КФУ от 29 августа 2015 года, протокол № 11.