

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича
Сибирского отделения Российской академии наук



УТВЕРЖДАЮ

Директор ИТПМ СО РАН
чл.-корр. РАН

 А.Н. Шиплюк

« 24 » 09 2018 г.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЙ ВЯЗКОГО ТЕПЛОПРОВОДНОГО ГАЗА
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО ПАКЕТА ANSYS FLUENT

Рабочая программа дисциплины

Направление подготовки аспирантов Института 01.06.01 – «Математика и механика»,

Направленность: 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы»

Квалификация выпускника

Исследователь. Преподаватель - исследователь.

Форма обучения - очная

Новосибирск 2018

Содержание

| | |
|---|---|
| Аннотация | 3 |
| 1. Цели освоения дисциплины | 4 |
| 2. Место дисциплины в структуре ООП | 4 |
| 3. Компетенции обучающегося, формируемые при освоения дисциплины | 4 |
| 4. Структура и содержание дисциплины | 5 |
| 5. Образовательные технологии | 7 |
| 6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспирантов | 7 |
| 7. Фонд оценочных средств для проведения аттестации по итогам освоения дисциплины: показатели, критерии оценивания компетенций, типовые контрольные задания | 7 |
| 8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины | 8 |
| 9. Материально-техническое обеспечение дисциплины | 8 |

Аннотация

Программа курса «Численное моделирование течений вязкого теплопроводного газа с использованием программного пакета ANSYS Fluent» разработана в соответствии с ФГОС ВПО по направлению подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре 01.06.01 Математика и механика.

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции, семинары, самостоятельная работа аспиранта, зачет с оценкой.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

Текущий контроль: сдача заданий в течение семестра.

Промежуточная аттестация: зачет с оценкой.

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы, 72 академических часа (из них 60 контактных: предусмотрены 14 часов лекций, 46 часа семинаров (в т.ч. 4 часа на консультацию и зачет), а также 12 часов самостоятельной работы, не включая период сессии). Работа с обучающимися в интерактивных формах составляет 46 часов.

| Семестр | Общий объем | Виды учебных занятий (в часах) | | | | Промежуточная аттестация (в период сессии) (в часах) | |
|---|-------------|--|----------|----------------------|--|---|--|
| | | Контактная работа обучающихся с преподавателем | | | Самостоятельная работа, не включая период сессии | Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации | Контактная работа обучающихся с преподавателем (консультации, зачет) |
| | | Лекции | Семинары | Лабораторные занятия | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| | 72 | 14 | 42 | | 12 | | 4 |
| Всего 72 часа /2 зачетные единицы из них: - контактная работа 60 часов - в интерактивных формах 46 часов | | | | | | | |

1. Цели освоения дисциплины

Дисциплина «Численное моделирование течений вязкого теплопроводного газа с использованием программного пакета ANSYS Fluent» предназначена для обучения аспирантов Института основам работы с современными коммерческими решателями при моделирования физических процессов.

Основная цель курса – научить основам работы с коммерческими решателями на примере программной среды Ansys Fluent, сформировать у слушателей опыт решения задач в области вычислительной аэрогидродинамики и применить базовые знания слушателей на практике при исследовании конкретных физических явлений.

2. Место дисциплины в структуре ОПП

Данная дисциплина относится к группе факультативных дисциплин Блока 1 направления подготовки аспирантов Института - 01.06.01 - "Математика и механика" в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом (ФГОС) по направленности - механика жидкости, газа и плазмы (физико-математические, технические науки).

Спецкурс посвящен вопросам численного моделирования газовых течений и ориентирован на слушателей, не имеющих опыта использования программного пакета Ansys Fluent. Курс сочетает теоретический материал с решением конкретных задач на компьютерном практикуме.

В данном курсе рассматриваются все этапы моделирования: создание геометрической модели в Ansys DesignModeler, построение сетки в Ansys Meshing, выбор решателя и определение граничных условий в Ansys Fluent, анализ численных результатов в Ansys CFD-POST. Также будет рассматриваться программирование на языке Си для расширения функционала.

Успешное освоение данного курса является полезным, как при дальнейшей специализации в области вычислительной механики жидкости и газа, так и при использовании пакета ANSYS Fluent для решения задач, с которыми аспиранты столкнутся в будущем.

3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

способность свободно владеть фундаментальными разделами математики и механики, необходимыми для решения научно-исследовательских задач механики жидкости, газа и плазмы (ПК-1);

способность использовать знания современных проблем и новейших достижений механики жидкости газа и плазмы в своей научно-исследовательской деятельности (ПК-2);

способность самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области механики жидкости, газа и плазмы, а также решать их с помощью современной аппаратуры, оборудования, информационных технологий с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта (ПК-3).

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

- **Знать:** интерфейс используемых программ и методы решения физических задач.
- **Уметь:** использовать полученные знания при решении практических задач – корректно поставить математическую задачу для реального физического явления, провести вычислительный эксперимент, делать оценку точности полученных численных данных.
- **Владеть:** практическими навыками использования пакета программ Ansys DesignModeler, Ansys Meshing, Ansys Fluent и Ansys CFD-POST для исследования задач механики жидкости и газа.

4. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы, 72 часа.

| № п/п | Раздел дисциплины | Неделя семестра | Всего | Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу аспирантов и трудоемкость (в часах) | | | Промежуточная аттестация (в период сессии) (в часах) |
|-------|--|-----------------|-------|--|-------------------------|---|--|
| | | | | Аудиторные часы | | Сам. работа в течение семестра (не включая период сессии) | |
| | | | | Лекции (кол-во часов) | Семинары (кол-во часов) | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 1 | Интерфейс и возможности программ среды Workbench: Ansys DesignModeler, Ansys Meshing, Ansys Fluent, Ansys CFD-POST. Принципы построение геометрической и сеточной моделей. Основы обработки и визуализации численного решения. | 1 | 5 | 1 | 4 | | |
| 2 | Численное моделирование течения вязкой несжимаемой жидкости в искривлённой трубе с учётом теплообмена | 2-3 | 5 | 1 | 4 | | |
| 3 | Численное моделирование дозвукового обтекания профиля крыла в двумерной постановке. | 4-5 | 6 | 2 | 4 | | |
| 4 | Численное моделирование гиперзвукового обтекания бесконечно тонкой пластины и сверхзвукового обтекания затупленной пластины. | 6-7 | 8 | 2 | 6 | | |
| 5 | Численное моделирование течений в пористых средах. | 8-9 | 8 | 2 | 6 | | |
| 6 | Моделирование многокомпонентных газовых смесей. Основы химической кинетики. Численное моделирование осаждения (конденсации) на подложку. | 10-11 | 8 | 2 | 6 | | |
| 7 | Моделирование гиперзвукового обтекания затупленного цилиндра/пластины потоком азота с учетом термической неравновесности. | 12-13 | 8 | 2 | 6 | | |

| | | | | | | | |
|----|---|-------|----|----|----|----|---|
| 8 | Основы написания функций, определяемых пользователем, на встроенном Си образном языке программирования. Определение специфических граничных условий, свойств материалов, источниковых членов, скоростей химических реакций. | 14-15 | 8 | 2 | 6 | | |
| 9 | Сдача заданий. Подготовка к зачету | 16-17 | 12 | | | 12 | |
| 10 | Консультация, зачет | 18 | 4 | | | | 4 |
| | Всего | | 72 | 14 | 42 | 12 | 4 |

Краткое содержание разделов дисциплины

1. Краткое введение в вычислительную аэрогидродинамику: исторический обзор, примеры задач. Уравнения континуальной газовой динамики (Эйлера и Навь–Стокса), решаемые в программном пакете Ansys Fluent. Основные решатели Ansys Fluent и области их применения.
2. Методы построения двух- и трехмерных расчетных областей в Ansys DesignModeler. Способы построения структурированных, неструктурированных и гибридных сеток в Ansys Meshing для проведения численного моделирования. Определение граничных условий в Ansys DesignModeler/Ansys Meshing. Работа с расчетной сеткой в решателе Fluent: импорт, проверка, локальное измельчение.
3. Определение начальных и граничных условий. Определение свойств материалов. Выбор физических моделей. Выбор решателя, использование явных и неявных схем. Стационарные и нестационарные задачи. Метод установления. Единственность и устойчивость. Расчет в Ansys Fluent: сообщения, предупреждения и ошибки решателя, способы их устранения. Обработка и визуализация расчетных полей течений в Ansys CFD-POST.
4. Постановка начальных и граничных условий для внутренних и внешних задач аэродинамики. Особенности постановки задачи в случае моделирования газовых течений с химическими реакциями. Начальные и граничные условия для моделирования течения несжимаемой жидкости. Использование пользовательских подпрограмм в решателе Fluent для переопределения свойств материалов и начальных/граничных условий, добавления источниковых членов, введения новых моделей скоростей химических реакций. Введение уравнений сохранения скаляров, определяемых пользователем. Задание связей между этими введенными уравнениями и основными уравнениями решателя.
5. Решение ряда задач: течение вязкой несжимаемой жидкости в искривлённой трубе с учётом теплообмена, дозвуковое обтекание профиля крыла в двумерной постановке, гиперзвуковое обтекание бесконечно тонкой пластины, сверхзвуковое обтекание затупленной пластины, течение с пористыми средами, течение с поверхностными химическими реакциями (осаждение из газовой фазы), гиперзвуковое обтекание затупленного цилиндра/пластины потоком азота с учетом термической неравновесности.

5. Образовательные технологии

Демонстрационно-компьютерное сопровождение лекционного материала.

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспирантов

Самостоятельная работа обучающихся состоит в изучении методического материала:

1. ANSYS Fluent Theory Guide. Release 14.0.
2. ANSYS Fluent User Guide. Release 14.0.
3. ANSYS Fluent Tutorial Guide. Release 14.0.
4. ANSYS Fluent UDF Manual. Release 14.0.
5. Роуч П. Вычислительная гидродинамика. -- М.: Мир, 1980.

7. Фонд оценочных средств для проведения аттестации по итогам освоения дисциплины: показатели, критерии оценивания компетенций, типовые контрольные задания

Освоение компетенций оценивается по двухбалльной шкале «сформирована / не сформирована». Положительная оценка по дисциплине выставляется в том случае, если заявленные компетенции сформированы в части, относящейся к формированию способности использовать в профессиональной деятельности знания подходов, применяемых в физической механике жидкости и газа.

Список вопросов и задач для самостоятельной работы аспирантов по отдельным разделам курса:

ЗАДАНИЕ 1

Провести расчёты несжимаемой жидкости в изогнутой трубе с параболическим профилем скорости на входной границе. Проанализировать влияние входного граничного условия на структуру течения внутри трубы. Объяснить полученный результат.

Рассмотреть течение вязкой жидкости в трубе с тремя входными каналами. Задать линейное распределение температуры стенки трубы вдоль одной из осей.

Контрольные вопросы. Для чего необходимо выполнять сгущение расчетной сетки к стенкам трубы (построение призматических слоев)?

ЗАДАНИЕ 2

Выполнить численное моделирование обтекания профиля крыла в двумерной постановке. Вычислить подъемную силу. Исследовать местоположение отрывных зон и скачков уплотнения в зависимости от угла атаки.

Контрольные вопросы. Объяснить выбор размеров расчётной области и её отличие от случая сверхзвуковых течений.

ЗАДАНИЕ 3

Провести расчет гиперзвукового обтекания плоской пластины потоком азота. Определить положение ударной волны и толщину пограничного слоя на пластине.

Провести аналогичные расчеты для затупленной пластины.

Контрольные вопросы. Объяснить выбор размеров расчётной области и её отличие от случая дозвуковых течений.

ЗАДАНИЕ 4

Выполнить моделирование течения газа в трубе с участком пористой среды. Выполнить аналогичное моделирование без пористого участка. Сравнить полученные результаты.

Контрольные вопросы. Какие свойства пористой среды можно учитывать при моделировании?

ЗАДАНИЕ 5

Провести численное моделирование осаждения на вращающуюся подложку в CVD-камере. Выполнить аналогичное моделирование с удвоенным массовым расходом на входной границе. Сравнить полученные результаты, рассчитать долю осаждаемого материала и оценить толщину получаемой пленки в обоих случаях.

Контрольные вопросы. Критерий сходимости к стационарному решению и способы уменьшения времени расчета.

ЗАДАНИЕ 6

Выполнить расчет гиперзвукового обтекания цилиндра/пластины потоком азота с учетом термической неравновесности. Провести дополнительный расчет при существенно меньшей температуре торможения. Сопоставить полученные результаты с результатами расчета без учета неравновесности.

Контрольные вопросы. Каким образом связываются уравнения на сохранение колебательной и поступательно-вращательной энергии?

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

А.А. Маслов, С.Г.Миронов, Т.В.Поплавская Введение в механику вязкого газа. Новосибирск. 2010

б) дополнительная литература:

1. Поттер Д. Вычислительные методы в физике. -- М.: Мир, 1975.
2. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа. М.: Физматлит. 1987.
3. Ландау Л. Д., Лившиц Е. М. Гидродинамика. М.: Наука. 1986.
4. Роуч П. Вычислительная гидродинамика. -- М.: Мир, 1980.
5. Андерсон Д., Таннехилл Дж., Плетчер Р. Вычислительная гидромеханика и теплообмен. Т.1, 2. -- М.: Мир, 1990.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы: пакет прикладных программ ANSYS

9. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Проекционная техника, компьютеры с установленным программным обеспечением ANSYS.

Программа составлена в соответствии с требованиями следующих нормативных документов:

1. Федеральный закон «Об образовании в Российской Федерации» от 29 декабря 2012 года № 273-ФЗ;

2. Приказ Министерства образования и науки РФ от 19.11.2013 года № 1259 «Об утверждении порядка организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования – программам подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре)»;

3. Федеральные государственные образовательные стандарты высшего образования по направлениям подготовки кадров высшей квалификации: 01.06.01 - "Математика и механика" - приказ Минобрнауки России от 30.07.2014 г. № 866.

Разработчик: д.ф.-м.н., профессор



А. А. Маслов

ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ В РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЕ
за 20___/20___ учебный год

В рабочую программу _____
для специальности _____
вносятся следующие дополнения и/или изменения:

Дополнения и изменения внес _____
(должность, Ф.И.О., подпись)

Рабочая программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры ТПМ Института
«__»____ 20__ г. протокол № _____

Заведующий кафедрой ТПМ

(подпись)

(Ф.И.О.)