МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»
(Новосибирский государственный университет, НГУ)

Физический факультет
Кафедра аэрофизики и газовой динамики

УТВЕРЖДАЮ
Декан ФФ
академик РАН А. Е. Бондарь
«04» 09 2020 г.

Рабочая программа дисциплины

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

направление подготовки: **03.04.02 Физика, Курс 1, семестр 1**
направленность (профиль): **Общая и фундаментальная физика**

Форма обучения
Очная

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	72	32	32		4		2			2
Всего 72 часа / 2 зачётных единицы, из них: - контактная работа 68 часов - в интерактивных формах 32 часа										
Компетенции ПК-1, ПК-2										

Разработчик:
д.ф.-м.н. проф. Н. Н. Федорова

Зав. кафедрой аэрофизики и газовой динамики ФФ НГУ
д.ф.-м.н., академик РАН, В. М. Фомин

Руководитель программы
д.ф.-м.н. И. Б. Логашенко

Новосибирск, 2020

Содержание

Аннотация.....**Ошибка! Закладка не определена.**

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы. 5

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы. 6

3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу. 6

4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий. 7

5. Перечень учебной литературы. 9

6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся. 10

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.....10

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине. 11

9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.....11

10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине. 111

Аннотация

к рабочей программе дисциплины курса «Численное моделирование течений вязкого теплопроводного газа с использованием программного пакета ANSYS Fluent»

Направление: **03.04.02 Физика**

Направленность (профиль): «Общая и фундаментальная физика»

Программа курса «Численное моделирование течений вязкого теплопроводного газа с использованием программного пакета ANSYS Fluent» составлена в соответствии с требованиями СУОС к уровню магистратуры по направлению подготовки **03.04.02 Физика, направленность «Общая и фундаментальная физика»,** а также задачами, стоящими перед Новосибирским государственным университетом по реализации Программы развития НГУ. Дисциплина реализуется на физическом факультете Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования Новосибирский национальный исследовательский государственный университет (НГУ) кафедрой аэрофизики и газовой динамики в качестве дисциплины по выбору. Дисциплина изучается магистрантами первого курса физического факультета.

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

Дисциплина нацелена на формирование у выпускника следующих профессиональных компетенций:

ПК-1 – способность самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта.

ПК-2 - способность свободно владеть разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

- **Знать:**

  - математические модели и численные методы решения уравнений математической физики, лежащие в основе современных пакетов компьютерных программ; корректную постановку граничных условий для уравнений газовой динамики; иерархию моделей турбулентности; особенности решения нестационарных и сопряженных задач; модели многокомпонентных и реагирующих смесей; интерфейс программ ANSYS Design Modeller, Meshing, Fluent, CFD Post.

- **Уметь**:

  - разрабатывать геометрические, физические и математические модели физических явлений и объектов; проводить дискретизацию 2D и 3D геометрических областей; оценивать качество конечно-объемной сетки; самостоятельно ставить задачи, возникающие в учебной и профессиональной деятельности; моделировать стационарные и нестационарные течения жидкости и газа в широком диапазоне чисел Рейнольдса и Маха с учетом различных видов тепло- и массообмена, химических реакций; оценивать корректность приближенного решения обрабатывать и анализировать полученные результаты; представлять полученные результаты в виде графиков, диаграмм, анимаций.

- **Владеть**:

  - современными инструментами инженерного анализа физических процессов, наблюдаемых в природе и технике; основными приемами работы в ПК ANSYS (модули Design Modeller, Meshing, Fluent, CFD Post.

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции, практические занятия, консультации, самостоятельная работа студента.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

- текущий контроль успеваемости: опрос на занятиях, контрольные работы, индивидуальный проект и его защита;
- промежуточная аттестация: экзамен.

Общая трудоемкость рабочей программы дисциплины составляет **72** академических часа / **2** зачетные единицы.

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.

Дисциплина «Численное моделирование течений вязкого теплопроводного газа с использованием программного пакета ANSYS Fluent» представляет собой начальный курс обучения магистрантов-физиков основам работы с современными коммерческими решателями при моделирования физических процессов, теоретическое представление о которых они получают при параллельно изучаемом курсе общей физики.

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

Профессиональная компетенция ПК-1 – способность самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области механики жидкостей и газов, физической аэродинамике, численных методов, математического моделирования и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта.

Профессиональная компетенция ПК-2 - способность свободно владеть разделами компьютерного моделирования при помощи программного пакета ANSYS Fluent, необходимыми для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности.

Всюду, где это допускается уровнем знаний и подготовки студентов, материал лекционного курса увязывается с современными исследованиями в области механики жидкости и газов, численных методов. Все практические занятия проводятся в интерактивной форме в компьютерном классе. Особый акцент сделан на моделировании физических процессов в вязкой жидкости и тематике магистерских диссертаций. Излагаемый материал во многом опирается на общие и специальные дисциплины, читаемые на физическом факультете, и полностью интегрирован в процесс обучения по курсам газовой динамики (кафедра аэрофизики и газовой динамики). Успешное освоение данного курса является полезным при подготовке теоретической части магистерской диссертации, дальнейшей специализации в области вычислительной механики жидкости и газа, а также использовании современных комплексов инженерного и научного анализа, в частности, пакета ANSYS для решения задач, с которыми слушатели столкнутся в будущем.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

Знать:

- математические модели и численные методы решения уравнений математической физики, лежащие в основе современных пакетов компьютерных программ; корректную постановку граничных условий для уравнений газовой динамики; иерархию моделей турбулентности; особенности решения нестационарных и сопряженных задач; модели многокомпонентных и реагирующих смесей; интерфейс программ ANSYS Design Modeller, Meshing, Fluent, CFD Post; (ПК 1.1).

- **Уметь**:

- разрабатывать геометрические, физические и математические модели физических явлений и объектов; проводить дискретизацию 2D и 3D геометрических областей; оценивать качество конечно-объемной сетки; самостоятельно ставить задачи, возникающие в учебной и профессиональной деятельности; моделировать стационарные и нестационарные течения жидкости и газа в широком диапазоне чисел Рейнольдса и Маха с учетом различных видов тепло- и массообмена, химических реакций; оценивать корректность приближенного решения обрабатывать и анализировать полученные результаты; представлять полученные результаты в виде графиков, диаграмм, анимаций (ПК 2.2).

- **Владеть**:

- современными инструментами инженерного анализа физических процессов, наблюдаемых в природе и технике; основными приемами работы в ПК ANSYS (модули Design Modeller, Meshing, Fluent, CFD Post (ПК 1.3).

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.

Дисциплина «Численное моделирование течений вязкого теплопроводного газа с использованием программного пакета ANSYS Fluent» реализуется в осеннем семестре 1-го курса магистратуры, обучающихся по направлению подготовки **03.04.02 Физика**. Курс является одной из профессиональных дисциплин по выбору, реализуемых кафедрой аэрофизики и газовой динамики. Для его восприятия требуется предварительная подготовка студентов по таким дисциплинам кафедры аэрофизики и газовой динамики как «Теоретическая аэрогидромеханика 1», Теоретическая аэрогидромеханика 2», «Физическая газодинамика», «Газовая динамика стационарных и нестационарных процессов», «Вычислительная аэрогидродинамика классика и современность 1, «Вычислительная аэрогидродинамика классика и современность 2», а также по математике (дифференциальное и интегральное исчисления, ряды Фурье, численные методы решения систем линейных уравнений, элементы теории групп и др.). Он должен предшествовать выполнению магистерской диссертации по данной специализации, т.к. дает магистранту необходимые знания, навыки и предоставляет инструменты для выполнения теоретической части его квалификационной работы, связанной с математическим моделированием исследуемых процессов.

3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу.

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			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	72	32	32		4		2			2
Всего 72 часа / 2 зачётных единицы, из них: - контактная работа 68 часов - в интерактивных формах 32 часа										
Компетенции ПК-1, ПК-2										

Реализация дисциплины предусматривает практическую подготовку при проведении следующих видов занятий, предусматривающих участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции, практические занятия, консультации, самостоятельная работа студента. Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

- текущий контроль успеваемости: опрос на занятиях, контрольные работы, индивидуальный проект и его защита;
- промежуточная аттестация: экзамен.

Общая трудоемкость рабочей программы дисциплины составляет 2 зачетные единицы.

- занятия лекционного типа – 32 часа;
- практические занятия – 32 часа;
- самостоятельная работа обучающегося в течение семестра, не включая период сессии – 4 часа;
- промежуточная аттестация (консультации и экзамен) – 4 часа;

Объём контактной работы обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа, практические занятия, групповые консультации, экзамен) составляет 68 часов.

Работа с обучающимися в интерактивных формах составляет 32 часа (практические занятия).

4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий.

Дисциплина «Численное моделирование течений вязкого теплопроводного газа с использованием программного пакета ANSYS Fluent» представляет собой полугодовой курс, читаемый на 1-м курсе магистратуры в 1 семестре. Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачётные единицы, 72 академических часа.

№ п/п	Раздел дисциплины	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоёмкость (в часах)					Консультации перед экзаменом (часов)	Промежуточная аттестация (в период сессии) (в часах)
			Всего	Аудиторные часы		Сам. работа во время занятий (не включая период сессии	Сам. работа во время промежуточной аттестации		
				Лекции	Практические занятия				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Компьютерные пакеты инженерного и научного анализа	1	4	2	2				
2	Создание геометрических моделей в ANSYS Design Modeler	2-3	8	4	4				
3	Построение расчетной сетки в ANSYS Meshing	4-6	10	4	6				

4	Основы работы в ANSYS Fluent	6-8	10	6	4				
5.	Моделирование турбулентных течений вязкого теплопроводного газа	9-16	28	16	12				
6.	Подготовка и защита индивидуального проекта	15-16	8		4	4			
7.	Экзамен	17	4					2	2
Всего			**72**	**32**	**32**	**4**		**2**	**2**

Программа и основное содержание лекций (32 часа)

Раздел 1. Компьютерные пакеты инженерного и научного анализа (2 часа)
Введение в компьютерное моделирование. Обзор основных программных комплексов компьютерной инженерии (CAE-систем). Возможности и модули ПК ANSYS. Современные среды моделирования Ansys Aim, Discovery. Оболочка ANSYS Workbench.

Раздел 2. Создание геометрических моделей в ANSYS Design Modeller (4 часа)
Принципы создания геометрической модели. Операции по созданию и редактированию эскиза. Трехмерные операции. Редактирование геометрической модели. Импорт моделей из внешних CAD-систем. Инструменты для поиска, исправления ошибок и упрощения моделей, создание внешних и внутренних объемов.

Раздел 3. Построение расчетной сетки в ANSYS Meshing (4 часа)
Основные виды сеток. Структурированная, многоблочная, конформная сетки. Модуль ANSYS Meshing. Методы построения сетки в 2D и 3D областях. Глобальные и локальные настройки. Инфляционные слои. Контроль качества сетки.

Раздел 4. Основы работы в ANSYS Fluent. Методы расчета. Постобработка. (6 часов)
Краткое введение в вычислительную аэрогидродинамику: исторический обзор, примеры задач. Уравнения континуальной газовой динамики (Эйлера и Навье–Стокса), решаемые в программном пакете ANSYS Fluent. Метод конечных объемов. Решатели ANSYS Fluent и области их применения. Графический и текстовый интерфейсы программы ANSYS Fluent. Файл журнала. Обзор доступных физических моделей. Зоны ячеек. Постановка граничных условий для внутренних и внешних задач аэродинамики. Создание отчетов. Мониторы. Обработка и визуализация расчетных полей течений в ANSYS Fluent и ANSYS CFD-Post.

Раздел 5. Моделирование турбулентных течений вязкого теплопроводного газа (16 часов)
Обзор моделей турбулентности. Моделирование пристеночной области. Граничные условия для турбулентных параметров. Виды теплообмена. Конвективный и радиационный теплообмен, фазовый переход и их моделирование в ANSYS Fluent. Тепловые граничные условия. Нестационарные течения, методы расчета, обработка результатов. Моделирования газовых течений с химическими реакциями. Подготовленные и неподготовленные смеси. Модели взаимодействия турбулентности и химии. Пользовательские выражения, функции, уравнения переноса скаляра. Моделирование сопряженных тепловых и аэроупругих задач в ANSYS Workbench и ANSYS Fluent. Создание проекта сопряженной задачи в ANSYS WB, установка связей между модулями, импорт граничных и начальных условий. Одно- и двунаправленное сопряжение.

Программа практических занятий (32 часа)

Занятие 1. Работа в оболочке ANSYS Workbench. **(2 часа)**

Занятие 2. Работа в модуле Design Modeler. Созданию 3D моделей шасси и глушителя **(2 часа)**

Занятие 3. Работа в модуле Design Modeler. Создание и редактирование 3D моделей. Упражнение по импорту и исправлению модели турбокомпрессора. **(2 часа)**

Занятие 4. Работа в модуле ANSYS Meshing. Упражнение по построению сетки в тройнике трубы для 2D и 3D областей **(2 часа)**

Занятие 5. Работа в модуле ANSYS Meshing. Упражнение по построению расчетной сетки в 3D модели гидроклапана **(2 часа)**

Занятие 6. Контрольная работа по работе в модулях Design Modeler и Meshing **(2 часа)**

Занятие 7. Интерфейс и основы работы в программе Fluent. Расчет смешения холодной и горячей воды в тройнике трубы. Обработка результатов в ANSYS Fluent **(2 часа)**

Занятие 8. Расчет течения многокомпонентной смеси в помещении гаража с учетом плавучести и источников импульса. Инструменты постобработки результатов расчета в CFD Post **(2 часа)**

Занятие 9. Подключение моделей турбулентности, настройка пристеночных функций и входных условий для турбулентных параметров. Расчет турбулентного течения за уступом с использованием двухпараметрических моделей турбулентности **(2 часа)**
Занятие 10. Методы расчета несжимаемых и сжимаемых течений. Расчет вязкого трансзвукового течения в окрестности аэродинамического профиля. **(2 час)**
Занятие 11. Модели теплообмена, задание тепловых граничных условий, подключение источников тепла в расчетную область. Расчет течения в окрестности печатной платы с учетом источника тепловыделения и сопряженного теплообмена **(2 час)**
Занятие 12. Моделирование течений с химическими реакциями. Расчет горения водорода в воздушном потоке **(2 час)**
Занятие 13. Решение сопряженных задач в ANSYS Fluent. Моделирование работы датчика давления и аэроупругих колебаний пластины, закрепленной одним концом на подложке **(2 час)**
Занятие 14. Контрольная работа **(2 час)**
Занятие 15. Выполнение индивидуального проекта **(2 час)**
Занятие 16. Защита проекта **(2 час)**

Самостоятельная работа студентов (4 часа)

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Подготовка индивидуального проекта	4

5. Перечень учебной литературы.

5.1. Основная литература

1. Роуч, Патрик Дж. Вычислительная гидродинамика / П. Д. Роуч ; пер. с англ. В.А. Гущина, В.Я. Митницкого ; под ред. П.И. Чушкина. Москва : Мир, 1980. 616 с. : ил. ; 22 см
2. Калиткин, Николай НиколаевичЧисленные методы : учебное пособие для студентов университетов и высших технических учебных заведений / Н.Н. Калиткин ; под ред. А.А. Самарского2-е изд., [испр.]Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2014586 с. : ил. ; 22 см(Учебная литература для вузов) ISBN 978-5-9775-0500-0
3. Смирнов, Сергей Валерьевич. Основы вычислительной физики : учебное пособие : [для студентов 4 курса Физ. фак. НГУ, студентов старших курсов и аспирантов физических и технических специальностей вузов] / С.В. Смирнов ; М-во образования и науки РФ, Новосиб. гос. ун-т, Физ. фак., Каф. высш. математики. Новосибирск : Редакционно-издательский центр НГУ, 2015-2017. ; 20 см. Ч.1. 2015. 112 с. : ил.
4. Смирнов, Сергей Валерьевич. Основы вычислительной физики : учебное пособие : [для студентов 4 курса Физ. фак. НГУ, студентов старших курсов и аспирантов физических и технических специальностей вузов] / С.В. Смирнов ; М-во образования и науки РФ, Новосиб. гос. ун-т, Физ. фак., Каф. высш. математики. Новосибирск : Редакционно-издательский центр НГУ, 2015-2017. ; 20 см. Ч.2. 2017. 103 с. : ил.
5. Марчук, Гурий Иванович. Методы вычислительной математики : учебное пособие : Изд. 3-е,; Москва: Наука, 1989. 608 с.
6. Ковеня, Виктор Михайлович. Методы вычислений: (дополнительные главы) : Учеб. пособие / В.М. Ковеня ; Новосиб.гос.ун-т. Новосибирск : НГУ, 1995. 92 с. : ил.

5.2. Дополнительная литература

1. Флетчер К. Вычислительные методы в динамике жидкостей. Том 1. М.: Мир, 1991. 504 с. ISBN:5-03-001881-6
2. Флетчер К. Вычислительные методы в динамике жидкостей. Том 2. М.: Мир, 1991. - 552 с. ISBN:5-03-001882-4
3. Ращиков, Владимир Иванович. Численные методы решения физических задач : Учеб. пособие / В.И. Ращиков, А.С. Рошаль. СПб.; М.; Краснодар : Лань, 2005. 205 с. : ил. ; 20 см. (Учебники для вузов. Специальная литература)

6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.

1. Вальгер С.А., Данилов М.Н., Захарова Ю.В., Федорова Н.Н. Основы работы в ПК ANSYS 16.0: учебное пособие. Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2015. 240 с. http://ns.itam.nsc.ru/lib/ecatalog/
2. Бруяка В.А., Фокин В.Г., Солдусова Е.А., Глазунова Н.А., Адеянов И.Е. Инженерный анализ в ANSYS Workbench: учебное пособие. Самара: Самарский гос. техн. ун-т, 2010. 271 с. ISBN 978-5-7964-1392-0 http://ftpn.pstu.ru/assets/ansys-workbench.pdf
3. Федорова Н.Н., Вальгер С.А., Данилов М.Н., Захарова Ю.В. Основы работы в ANSYS 17: учебное пособие. М.: ДМК Пресс, 2017. 210 с. http://ns.itam.nsc.ru/lib/ecatalog/
4. ANSYS Fluent Theory Guide. https://kargosha.com/file/attach/201705/2812.pdf
5. ANSYS Fluent User Guide. http://www.pmt.usp.br/academic/martoran/notasmodelosgrad/ANSYS%20Fluent%20Users%20Guide.pdf
6. ANSYS Fluent Tutorial Guide. http://users.abo.fi/rzevenho/ansys%20fluent%2018%20tutorial%20guide.pdf

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.

Для освоения дисциплины используются следующие ресурсы:

- электронная информационно-образовательная среда НГУ (ЭИОС);
- образовательные интернет-порталы;
- информационно-телекоммуникационная сеть Интернет
- Сайт компании ANSYS http://ansys.com/
- Сайт компании CADFEM-CIS http://www.ansys.msk.ru/
- http://www.procae.ru
- http://www.ansys-expert.ru/
- http://www.ansyssolutions.ru/
- http://www.ansysclub.ru/
- http://www.delcam-ural.ru/delkam_ural/cae/poshagovye_primery

7.1 Современные профессиональные базы данных

Не используются

7.2. Информационные справочные системы

Справочная система ANSYS http://ansys.com/

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.

Для обеспечения реализации дисциплины используется стандартный комплект программного обеспечения (ПО), включающий регулярно обновляемое лицензионное ПО Windows и MS Office, комплект специализированного программного обеспечения (ПО) ANSYS Teaching, версия не ниже 2019R1

9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.

Для реализации дисциплины используются специальные помещения:

1. Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, консультаций, промежуточной и итоговой аттестации.
2. Помещения для самостоятельной работы обучающихся.

Учебные аудитории укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду НГУ.

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине для обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется согласно «Порядку организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в Новосибирском государственном университете».

10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

10.1 Порядок проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине

Текущий контроль

Текущий контроль осуществляется в ходе семестра путем опроса в начале каждой лекции по материалам предыдущей лекции, а также проведения коротких самостоятельных работ в начале каждого занятия с решением типовых задач, разобранных на предыдущем занятии. Студентам необходимо успешно выполнить две контрольные работы. Первая контрольная работа проводится на шестой неделе после завершения изучения разделов «Создание геометрических моделей в ANSYS Design Modeler» и «Построение расчетной сетки в ANSYS Meshing». Вторая контрольная работа проводится на 14 неделе промежуточной аттестацией.

Промежуточная аттестация

Освоение компетенций оценивается согласно шкале оценки уровня сформированности компетенции. Положительная оценка по дисциплине выставляется в том случае, если заявленные компетенции ПК-1 и ПК-2 сформированы не ниже порогового уровня в части, относящейся к формированию способности использовать специализированные знания в области вычислительной аэрогидродинамики в профессиональной деятельности.

Окончательная оценка работы студента в течение семестра происходит на экзамене. Экзамен проводится в конце семестра в экзаменационную сессию по билетам в устной форме. Вопросы билета подбираются таким образом, чтобы проверить уровень сформированности компетенций ПК-1 и ПК-2.

Вывод об уровне сформированности компетенций принимается преподавателем. Каждый вопрос билета оценивается от 0 до 5 баллов. Положительная оценка ставится, когда все компетенции освоены не ниже порогового уровня. Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение промежуточной аттестации.

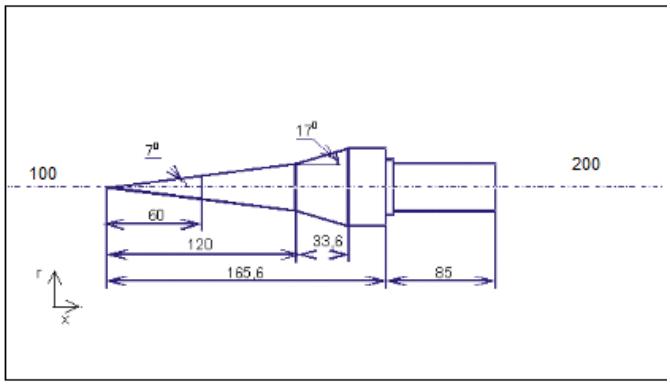
Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Численное моделирование течений вязкого теплопроводного газа с использованием программного пакета ANSYS Fluent».

Критерии оценивания результатов обучения	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Уровень освоения компетенции			
		Не сформирован (0 баллов)	Пороговый уровень (3 балла)	Базовый уровень (4 балла)	Продвинутый уровень (5 баллов)
1	2	3	4	5	6
Полнота знаний	ПК 1.1	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имеют место грубые ошибки.	Минимально допустимый уровень знаний. Допускается значительное количество негрубых ошибок.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Допускается несколько негрубых/ несущественных ошибок. Не отвечает на дополнительные вопросы.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Свободно и аргументированно отвечает на дополнительные вопросы.
Наличие умений	ПК 2.2	Отсутствие минимальных умений. Не умеет решать стандартные задачи. Имеют место грубые ошибки.	Продемонстрированы частично основные умения. Решены типовые задачи. Допущены негрубые ошибки.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания с негрубыми ошибками или с недочетами.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания в полном объеме без недочетов и ошибок.
Наличие навыков (владение опытом)	ПК 1.3	Отсутствие владения материалом по темам/разделам дисциплины. Нет навыков в решении стандартных задач. Наличие грубых ошибок.	Имеется минимальный набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач без ошибок и недочетов. Продемонстрированы знания по решению нестандартных задач.

Типовые контрольные задания и материалы, необходимые для оценки результатов обучения

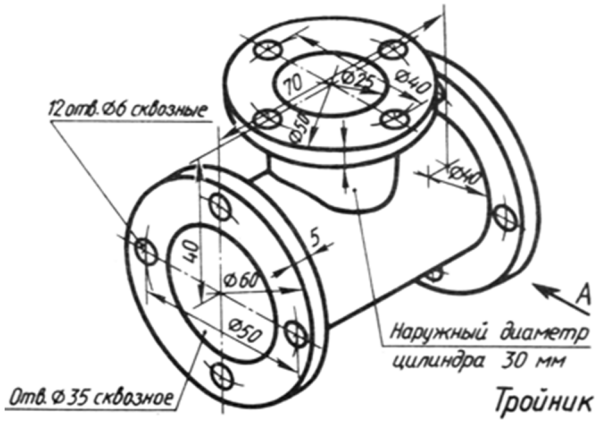
Образец контрольной работы №1

Задача 1. Построить область для расчета осесимметричного течения в окрестности конуса с юбкой. Начало координат находится на носике конуса. Размеры в мм.



Разбить на подобласти и построить многоблочную структурированную сетку со сгущением к поверхности конуса.

Задача 2. Построить 3D тело, извлечь внутреннее тело и построить для него структурированную сетку с инфляцией около твердых поверхностей. Оценить качество сетки.



Образец контрольной работы №2

Провести моделирование трансзвукового обтекания профиля NACA (сетка прилагается) при угле атаки 2 град с учетом / без учета турбулентности. Входные условия: M_∞=0.7, P_∞=70000 Па, T_∞=280K, интенсивность турбулентности 1%. Подготовить отчет с описанием настроек расчетной модели в ANSYS Fluent и включить в него:

- поля числа Маха и давления в окрестности профиля;
- графики распределения коэффициентов давления, трения и величины y+ на верхней и нижней поверхностях профиля.

Определить положение отрывных зон и скачков уплотнения. Сделать выводы о влиянии турбулентности на размер отрывных зон

Примерные темы индивидуальных проектов

1. Взаимодействие ударных волн с пограничными слоями: примеры, типичные конфигурации. Выполнить расчет течения падающего на пластину скачка уплотнения при числе Маха M=5, углы генератора скачка α=6, 10 и 14 град. Исходные данные взять из работы S
2. Радиационный (лучистый) теплообмен: примеры, физика, модели, основные параметры реализация в различных пакетах прикладных программ, пример расчета в ПК Fluent
3. Естественная конвекция и плавучесть: физика, модели, основные параметры, реализация в различных пакетах, пример расчета в Fluent
4. Теплообмен в течениях с фазовыми превращениями (испарение/ конденсация/ плавление/ кристаллизация): физика, уравнения, основные параметры, моделирование в пакетах прикладных программ, пример расчета в ПК Fluent
5. Вихреразрешающие модели турбулентности (LES, SAS, DES): физика, модели, основные параметры, реализация в различных пакетах, пример расчета в ПК Fluent
6. Течения жидкости в пористых средах: модели, основные параметры, пример расчета в ПК Fluent
7. Двухфазное течение жидкости с твердыми частицами при низкой/высокой концентрации дисперсной фазы: модели, основные параметры, реализация в ПК Fluent
8. Кавитация: примеры, физика, уравнения, пример расчета в ПК Fluent
9. Моделирование течения течений жидкости с пузырьками газа: сравнение различных моделей Fluent
10. Взаимодействие потоков и структур (Fluid Structure Interaction): физика, одно- и двунаправленное сопряжение, модели, реализация в ANSYS Workbench и Fluent.

Вопросы на экзамен

Тема №1 «**Компьютерные пакеты инженерного и научного анализа**»

1.1. История и характеристика программного комплекса ANSYS. Типы лицензий.

1.2. Оболочки и основные модули ANSYS, их назначение.

1.3. Оболочка Workbench: интерфейс и основы работы.

1.4. Структура расчетного проекта Workbench. Создание многофизичных проектов.

Тема №2 «**Создание геометрических моделей в ANSYS Design Modeler**»

2.1 Типы тел. Процедура создания тел.
2.2. Плоскости, эскизы, размеры, привязка объектов.
2.3. Основные 3D операции: выдавливание, вращение, протягивание.
2.4. Создание оболочек. Логические операции.
2.5. Создание 2D и 1D тел на основе эскизов.
2.6. Типичные ошибки экспорта геометрических моделей. Инструменты для редактирования и исправления ошибок геометрических моделей.
2.7. Инструменты для создания объемов вокруг и внутри твердотельной модели.

Тема №3 «**Построение расчетной сетки в ANSYS Meshing**»

3.1. Специализированные модули для создания сеточных моделей. Типы расчетных сеток и их характеристики.
3.2. Методы построения сеток в 2D и 3D областях.
3.3. Локальные и глобальные настройки расчетной сетки
3.4. Задание размеров сетки. Инфляционные слои.
3.5. Качество сетки. Задание имен объектам и группам объектов

Тема №4 «**Основы работы в ANSYS Fluent**»

4.1. Вычислительная гидродинамика (CFD). Физические процессы и соответствующие математические модели, положенные в основу CFD.
4.2. Интерфейс программы Fluent: дерево, лента, панели инструментов
4.3. Основные этапы расчета течений жидкости и газа
4.4. Типы решателей. Стационарный и нестационарный расчет. Опорные условия
4.5. Создание материала жидкой и газообразной среды, задание его свойств.
4.6. Зоны ячеек. Назначение материала. Пористые и ламинарные зоны, источники.
4.7. Типы границ. Виды граничных условий.
4.8. Невязки. Мониторы. Отчеты.
4.9. Доступные в ANSYS Fluent функции обработки результатов.
4.10. Модуль CFD post и его инструменты.

Тема №5 «**Моделирование турбулентных течений вязкого теплопроводного газа**»

5.1. Турбулентность. Основные понятия и подходы к моделированию. Иерархия моделей турбулентности.
5.2. Моделирование турбулентных течений вблизи твердых стенок. Закон стенки-следа.
5.3. Вихреразрешающие модели турбулентности. Задание граничных условий для турбулентных параметров
5.4. Виды теплообмена. Тепловые граничные условия.
5.5. Конвективный и радиационный теплообмен, фазовый переход и их моделирование в ANSYS Fluent.
5.6. Нестационарные течения, методы расчета, обработка результатов.
5.6. Моделирования газовых течений с химическими реакциями. Подготовленные и неподготовленные смеси.
5.7. Модели взаимодействия турбулентности и химии.
5.8. Пользовательские выражения, функции, уравнения переноса скаляра.
5.9. Моделирование сопряженных тепловых и аэроупругих задач в ANSYS Workbench и ANSYS Fluent.
5.10. Создание проекта сопряженной задачи в ANSYS WB, установка связей между модулями, импорт граничных и начальных условий. Одно- и двунаправленное сопряжение.

Пример экзаменационного билета

1. Структура расчетного проекта Workbench. Создание многофизичных проектов. (ПК-2)
2. Турбулентность. Основные понятия и подходы к моделированию. Иерархия моделей турбулентности (ПК-1, ПК-2)
3. Практическое задание: для заданных расчетных данных выполнить обработку результатов расчета 2D нестационарного ламинарного течения вязкой несжимаемой жидкости за квадратным цилиндром с сечением 1м х 1м при Re=100. Построить график действующей на цилиндр подъемной силы от времени, выделить главные частоты нестационарного процесса. Записать анимацию векторного поля. (ПК-2)

Форма экзаменационного билета представлена на рисунке

МИНОБРНАУКИ РОССИИ ***Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования*** ***«Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»*** ***(Новосибирский государственный университет, НГУ)*** ***Физический факультет***
ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № _____ 1. …… 2. …… 3. …… Составитель _____ /Фёдорова Н.Н./ (подпись) «____»_____20 г.

Оценочные материалы по промежуточной аттестации, предназначенные для проверки соответствия уровня подготовки по дисциплине требованиям СУОС, хранятся на кафедре-разработчике РПД в печатном и электронном виде.

Лист актуализации фонда оценочных средств
по дисциплине «Численное моделирование течений вязкого теплопроводного газа с использованием программного пакета ANSYS Fluent».
по направлению подготовки 03.04.02 Физика
Профиль «Общая и фундаментальная физика»

№	Характеристика внесенных изменений (с указанием пунктов документа)	Дата и № протокола Учёного совета ФФ НГУ	Подпись ответственного