

**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



Рабочая программа дисциплины

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАКЕТОВ КОМПЬЮТЕРНОЙ ИНЖЕНЕРИИ**

Направление подготовки: **03.04.02 Физика**

Направленность (профиль): **Физика. 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 ра- бота, не включая пе- риод сессии	Самостоятельная подготовка к проме- жуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные за- нятия			Консультации	Зачет	Дифференциро- ванный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	72	32	32		4		2			2
Всего 72 часа / 2 зачётные единицы, из них: - контактная работа 68 часов										
Компетенции ПК-1										

Руководитель программы
д.ф.-м.н.

И. Б. Логашенко

Новосибирск, 2026

Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.	3
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.	3
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.	5
4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий.	5
5. Перечень учебной литературы.	7
6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.	7
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.....	8
8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.	8
9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.....	8
10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.	9

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

Дисциплина «Моделирование физических процессов с использованием пакетов компьютерной инженерии» представляет собой начальный курс обучения магистрантов-физиков основам работы с современными коммерческими решателями при моделировании физических процессов, теоретическое представление о которых они получают при параллельно изучаемом курсе общей физики.

Основная цель курса – научить основам работы в программных комплексах ANSYS и FlowVision, сформировать у слушателей опыт решения задач в области вычислительной аэрогидродинамики и применить базовые знания слушателей на практике при исследовании конкретных физических явлений.

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, пакетов ANSYS и FlowVision, для решения задач, с которыми слушатели столкнутся в будущем.

Дисциплина нацелена на формирование у обучающегося профессиональной компетенции:

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
ПК-1 Способен использовать специализированные знания в области физики при решении поставленных задач в научно-исследовательской деятельности в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.	ПК 1.1 Применяет специализированные знания в области физики при решении конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования. ПК 1.2 Выбирает наиболее эффективные методы решения конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.	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 многофазных, многокомпонентных и реагирующих смесей; интерфейсы программ FlowVision и ANSYS. 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

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
		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 и FlowVision.

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.

Дисциплина «Моделирование физических процессов с использованием пакетов компьютерной инженерии» 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.

Трудоёмкость дисциплины составляет: 2 зачётные единицы, 72 часа.

Форма промежуточной аттестации: 1 семестр – экзамен.

№	Вид деятельности	Семестр
		1
1	Лекции, ч	32
2	Практические занятия, ч	32
3	Лабораторные занятия, ч	-
4	Занятия в контактной форме, ч из них	68
5	аудиторных занятий, ч	64
6	в электронной форме, ч	-
7	консультаций, час.	2
8	промежуточная аттестация, ч	2
9	Самостоятельная работа, час.	4
10	Всего, ч	72

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

Программа и основное содержание лекций (32 часа)

Раздел 1. Компьютерные пакеты инженерного и научного анализа (4 часа)

Введение в компьютерное моделирование. Обзор основных программных комплексов компьютерной инженерии (CAE-систем). Краткое введение в вычислительную аэрогидродинамику: исторический обзор, примеры задач. Уравнения континуальной газовой динамики (Эйлера и Навье–Стокса). Метод конечных объемов. Возможности и модули программных комплексов ANSYS и FlowVision.

Раздел 2. Создание геометрических моделей (4 часа)

Обзор геометрических препроцессоров. Принципы создания геометрической модели. Операции по созданию и редактированию эскиза. Трёхмерные 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 расчетных сеток (4 часа)

Основные виды сеток. Структурированная, многоблочная, конформная сетки. Методы построения сетки в 2D и 3D областях. Глобальные и локальные настройки. Инфляционные слои. Контроль качества сетки. Процесс построения сеток в FlowVision.

Раздел 4. Основы работы в ANSYS Fluent. (4 часа)

Решатели ANSYS Fluent и области их применения. Графический и текстовый интерфейсы программы. Файл журнала. Обзор доступных физических моделей. Зоны ячеек. Постановка граничных условий для внутренних и внешних задач аэродинамики. Настройки расчетной модели. Создание отчетов. Мониторы. Обработка и визуализация результатов.

Раздел 5. Основы работы в FlowVision. (4 часа)

Описание рабочего процесса во FlowVision. Модули программы. Переменные. Характеристики. Расчетные модели. Граничные условия. Модификаторы. Параметры управления расчетом. Слои и отображения результатов расчета.

Раздел 6. Решение физических задач в пакетах компьютерной инженерии (12 часов)

Обзор моделей турбулентности. Моделирование пристеночной области. Граничные условия для турбулентных параметров. Кондуктивный, конвективный и радиационный теплообмен, фазовый переход и их моделирование. Тепловые граничные условия. Нестационарные течения, методы расчета, обработка результатов. Течения газовых смесей. Моделирование течений с химическими реакциями. Подготовленные и неподготовленные смеси. Моделирование многофазных течений. Модели дискретной фазы, VoF, эйлеровы модели многофазности. Моделирование сопряженных тепловых и аэроупругих задач.

Программа практических занятий (32 часа)

Занятие 1. Работа в оболочке ANSYS Workbench и программе FlowVision (2 часа)

Занятие 2. Подготовка геометрических моделей в модулях Design Modeler и SpaceClaim (2 часа)

Занятие 3. Импорт и редактирование геометрических моделей, проверка ошибок (2 часа)

Занятие 4. Работа в модуле ANSYS Meshing. Упражнение по построению сеток в 2D и 3D областях (2 часа)

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

Занятие 6. Контрольная работа (2 часа)

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

Занятие 8. Методы расчета несжимаемых и сжимаемых течений. Мониторы и отчеты. Расчет турбулентного трансзвукового течения в окрестности аэродинамического профиля при различных числах Маха и углах атаки. (2 часа)

Занятие 9. Интерфейс программы FlowVision. Построение и адаптация расчетной сетки. Расчет ламинарного течения в трубе. (2 часа)

Занятие 10. Расчет трансзвукового течения в сопле Лавала в пакете FlowVision (2 часа)

Занятие 11. Расчет турбулентного течения за уступом с использованием двухпараметрических моделей турбулентности (2 часа)

Занятие 12. Расчет течения в окрестности печатной платы с учетом источника тепловыделения и сопряженного теплообмена (2 час)

Занятие 13. Моделирование течений с химическими реакциями. Расчет горения струи водорода в воздушном потоке (2 час)

Занятие 14. Моделирование дорожки Кармана при обтекания круглого цилиндра. Настройки расчетной модели и обработка результатов нестационарных расчетов (2 час)

Занятие 15. Выполнение индивидуального проекта (2 час)

Занятие 16. Защита индивидуального проекта (2 час)

Самостоятельная работа студентов (4 часа)

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Подготовка индивидуального проекта	4

5. Перечень учебной литературы.

1. Роуч, Патрик Дж. Вычислительная гидродинамика / П. Д. Роуч ; пер. с англ. В.А. Гушина, В.Я. Митницкого ; под ред. П.И. Чушкина. Москва : Мир, 1980. 616 с. : ил. ; 22 см (14 экз.)
2. Калиткин, Н.Н. Численные методы: учебное пособие для студентов университетов и высших технических учебных заведений / Н.Н. Калиткин ; под ред. А.А. Самарского 2-е изд., [испр.] Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2014 586 с. : ил. ; 22 см (Учебная литература для вузов) ISBN 978-5-9775-0500-0 (29 экз.)
3. Смирнов, С.В. 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. (61 экз.)
4. Смирнов, С.В. 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. (94 экз.)
5. Марчук, Гурий Иванович. Методы вычислительной математики : учебное пособие : Изд. 3-е,; Москва: Наука, 1989. 608 с. (1 экз.)
6. Ковеня, В. М. Методы вычислений: (дополнительные главы) : Учеб. пособие / В.М. Ковеня ; Новосиб.гос.ун-т. Новосибирск : НГУ, 1995. 92 с. : ил. (2 экз)
7. Флетчер К. Вычислительные методы в динамике жидкостей. Том 1. М.: Мир, 1991. 504 с. ISBN:5-03-001881-6 (2 экз)
8. Флетчер К. Вычислительные методы в динамике жидкостей. Том 2. М.: Мир, 1991. - 552 с. ISBN:5-03-001882-4 (1 экз)
9. Рашиков В. И. Численные методы решения физических задач : Учеб. пособие / В.И. Рашиков, А.С. Рошаль. СПб.; М.; Краснодар : Лань, 2005. 205 с. : ил. ; 20 см. (Учебники для вузов. Специальная литература) (1 экз)

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. Бруйка 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://ftp.n.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. Теория программного комплекса FlowVision
https://flowvision.ru/webhelp/fvru_31205/index.html?theory.htm

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/>
- Сайт компании FlowVision <https://flowvision.ru/ru/>
- <http://www.procae.ru>
- <http://www.ansys-expert.ru/>
- <http://www.ansyssolutions.ru/>
- <http://www.ansysclub.ru/>
- http://www.delcam-ural.ru/delcam_ural/cae/poshagovye_primery

7.1 Современные профессиональные базы данных

Не используются

7.2. Информационные справочные системы

Справочные системы ANSYS <http://ansys.com/>
и FlowVision https://flowvision.ru/webhelp/fvru_31205/

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, комплект специализированного программного обеспечения FlowVision.

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 одну контрольную работу, которая проводится на шестой неделе после завершения изучения разделов «Создание геометрических моделей» и «Построение расчетных сеток».

Промежуточная аттестация

Освоение компетенций оценивается согласно шкале оценки уровня сформированности компетенции. Положительная оценка по дисциплине выставляется в том случае, если заявленная компетенция ПК-1 сформирована 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 компетенции ПК-1.

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.

Соответствие индикаторов и результатов освоения дисциплины

Таблица 10.1

Индикатор	Результат обучения по дисциплине	Оценочные средства
ПК 1.1 Применяет специализированные знания в области физики при решении конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.	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 многофазных, многокомпонентных и реагирующих смесей; интерфейсы программ FlowVision и ANSYS.	Проведение самостоятельных работ с решением типовых задач, экзамен

ПК 1.2 Выбирает наиболее эффективные методы решения конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.	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 и FlowVision.	Проведение самостоятельных работ с решением типовых задач, экзамен
---	---	---

10.2 Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Моделирование физических процессов с использованием пакетов компьютерной инженерии».

Таблица 10.2

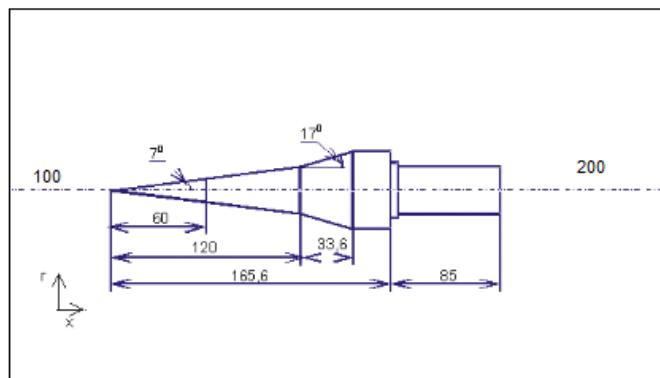
Критерии оценивания результатов обучения	Шкала оценивания
<u>Экзамен:</u> – самостоятельность, осмысленность, структурированность, логичность и аргументированность изложения материала, – точность и корректность применения терминов и понятий, – наличие исчерпывающих ответов на дополнительные вопросы. При изложении ответа на вопрос(ы) преподавателя обучающийся мог допустить не принципиальные неточности.	<i>Отлично</i>
<u>Экзамен:</u> – самостоятельность, осмысленность, структурированность, логичность и аргументированность изложения материала, – точность и корректность применения терминов и понятий при наличии незначительных ошибок, – наличие полных ответов на дополнительные вопросы с возможным присутствием ошибок.	<i>Хорошо</i>

Экзамен: – самостоятельность и осмысленность в изложении материала, наличие ошибок в логике и аргументации, а также затруднений при формулировке собственных суждений, – корректность применения терминов и понятий, с множественными ошибками, – наличие неполных и/или содержащих существенные ошибки ответов на дополнительные вопросы.	<i>Удовлетворительно</i>
Экзамен: – отсутствие осмысленности, структурированности, логичности и аргументированности в изложении материала, – грубые ошибки в применении терминов и понятий, – отсутствие ответов на дополнительные вопросы.	<i>Неудовлетворительно</i>

10.3 Типовые контрольные задания и материалы, необходимые для оценки результатов обучения

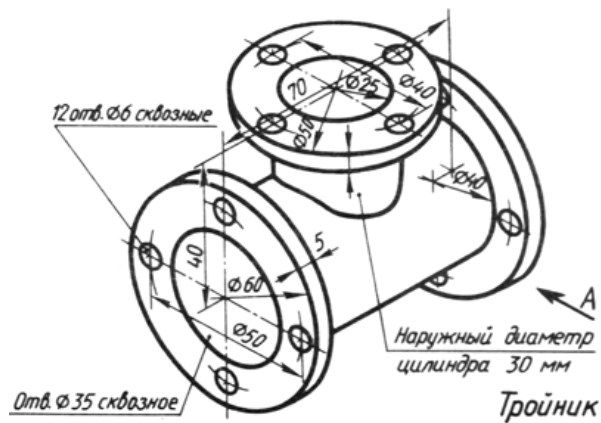
Образец контрольной работы

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



Провести моделирование трансзвукового обтекания профиля NACA (сетка прилагается) при угле атаки 2 град с учетом / без учета турбулентности. Входные условия: $M_\infty=0.7$, $P_\infty=70000$ Па, $T_\infty=280$ К, интенсивность турбулентности 1%. Подготовить отчет с описанием настроек расчетной модели 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 $\alpha=6, 10$ и 14 град.
2. Радиационный (лучистый) теплообмен: примеры, физика, модели, основные параметры реализации в различных пакетах прикладных программ, пример расчета в ПК Fluent и FlowVision.
3. Естественная конвекция и плавучесть: физика, модели, основные параметры, реализация в различных пакетах.
4. Теплообмен в течениях с фазовыми превращениями (испарение/ конденсация/ плавление/ кристаллизация): физика, уравнения, основные параметры, моделирование в пакетах прикладных программ.
5. Вихреразрешающие модели турбулентности (LES, SAS, DES): физика, модели, основные параметры, реализация в различных пакетах.
6. Течения жидкости в пористых средах: модели, основные параметры, пример расчета в ПК Fluent и FlowVision.
7. Двухфазное течение жидкости с твердыми частицами при низкой/высокой концентрации дисперсной фазы: модели, основные параметры, реализация в ПК Fluent и FlowVision.
8. Кавитация: примеры, физика, уравнения, пример расчета в ПК Fluent и FlowVision.
9. Моделирование течения течений жидкости с пузырьками газа: сравнение различных моделей Fluent и FlowVision.
10. Взаимодействие потоков и структур (Fluid Structure Interaction): физика, одно- и двунаправленное сопряжение, модели, реализация в ANSYS Workbench и FlowVision.

Вопросы на экзамен

Тема №1 «Компьютерные пакеты инженерного и научного анализа»

- 1.1. Обзор и характеристики пакетов компьютерной инженерии.
- 1.2. Оболочки и основные модули ANSYS, их назначение. Структура расчетного проекта Workbench.
- 1.3. Структура и основные модули пакета FlowVision.
- 1.4. Вычислительная гидродинамика (CFD). Физические процессы и соответствующие математические модели, положенные в основу CFD.
- 1.5. Этапы расчетного проекта при моделировании задач гидро- и газовой динамики.

Тема №2 «Создание геометрических моделей»

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

Тема №3 «Построение расчетных сеток»

- 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. Интерфейс программы Fluent: дерево, лента, панели инструментов.
- 4.2. Типы решателей. Стационарный и нестационарный расчет. Опорные условия.
- 4.3. Создание материала жидкой и газообразной среды, задание его свойств. Зоны ячеек. Назначение материала. Пористые и ламинарные зоны, источники.
- 4.4. Типы границ. Виды граничных условий. Невязки. Мониторы. Отчеты.
- 4.5. Обработка результатов расчета. Модуль CFD post и его инструменты.

Тема №5 «Основы работы в FlowVision»

- 5.1. Интерфейс и модули программы FlowVision. Пре- и постпроцессор.
- 5.2. Структура расчетного проекта, порядок создания, файлы проекта.
- 5.3. Характеристики, опорные параметры, модификаторы.
- 5.4. Расчетная сетка, адаптация, подсеточное моделирование.
- 5.5. Расчетные модели. Фазы. Физические процессы. Модели.
- 5.6. Граничные и начальные условия.
- 5.7. Солвер и Солвер-агент. Пакетный режим. Работа с базой данных материалов.
- 5.8. Модуль просмотра результатов.

Тема №6 «Решение физических задач в пакетах компьютерной инженерии»

- 6.1. Турбулентность. Основные понятия и подходы к моделированию. Иерархия моделей турбулентности. Моделирование турбулентных течений вблизи твердых стенок.
- 6.2. Виды теплообмена. Тепловые граничные условия. Конвективный и радиационный теплообмен и их моделирование в ANSYS Fluent и FlowVision.
- 6.3. Нестационарные течения, методы расчета, обработка результатов.
- 6.4. Моделирование течений газовых смесей и течений с химическими реакциями.
- 6.5. Моделирование многофазных течений.

- 6.6. Моделирование сопряженных аэроупругих задач, одно- и двунаправленное сопряжение.
Установка связей между модулями, импорт граничных и начальных условий.

Пример экзаменационного билета

1. Оболочки и основные модули ANSYS, их назначение. Структура расчетного проекта Workbench.
2. Турбулентность. Основные понятия и подходы к моделированию. Иерархия моделей турбулентности. Моделирование турбулентных течений вблизи твердых стенок.
3. Провести моделирование трансзвукового турбулентного течения в окрестности аэродинамического профиля (сетка прилагается) при угле атаки 2 градуса. Входные условия: $M_\infty=0.7$, $P_\infty=70000$ Па, $T_\infty=280$ К, интенсивность турбулентности 1%. В отчет включить:
описание настроек расчетной модели;
поля числа Маха и давления в окрестности профиля;
графики распределения коэффициентов давления, трения и величины y^+ на верхней и нижней поверхностях профиля.

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.