

**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**



ПРЕДТВЕРЖДАЮ  
Декан ФФ, д.ф.-м.н  
В.Е.Блинов  
2022 г.

**Рабочая программа дисциплины**

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

направление подготовки: **03.04.02 Физика**  
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 зачётные единицы, из них:<br>- контактная работа 68 часов |             |  |                      |                      |  |   |  |       |                          |         |
| Компетенции ПК-1  |             |  |                      |                      |  |   |  |       |                          |         |

Руководитель программы  
д.ф.-м.н.

И. Б. Логашенко

Новосибирск, 2022

## Содержание

|   |    |
|---|----|
| 1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы. ....   | 3  |
| 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы. ....   | 4  |
| 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. ....  | 8  |
| 6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся. ....  | 8  |
| 7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины. ....  | 9  |
| 8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине. ....   | 9  |
| 9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине. ....  | 9  |
| 10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине. ....  | 10 |

## 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   |
|---|---|---|
| <b>ПК-1</b> 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. | <p><b>ПК 1.1</b> 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.</p> <p><b>ПК 1.2</b> Выбирает наиболее эффективные методы решения конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.</p> | <p><b>Знать</b> 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.</p> <p><b>Уметь</b> 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</p> |

| Результаты освоения образовательной программы (компетенции) | Индикаторы | Результаты обучения по дисциплине   |
|---|------------|---|
|   |            | <p>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.</p> <p><b>Владеть</b> современными инструментами инженерного анализа физических процессов, наблюдаемых в природе и технике; основными приемами работы в ПК ANSYS и FlowVision.</p> |

## 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.**

| 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 зачётные единицы, из них:<br>- контактная работа 68 часов |             |  |                      |                      |  |   |  |       |                          |         |
| Компетенции ПК-1  |             |  |                      |                      |  |   |  |       |                          |         |

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

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

Дисциплина «Моделирование физических процессов с использованием пакетов компьютерной инженерии» 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) |                 |                      |   | Промежуточная аттестация (в часах) |
|--------------|---|-----------------|--|-----------------|----------------------|---|------------------------------------|
|              |   |                 | Всего  | Аудиторные часы |                      | Сам. работа во время занятий (не включая период сессии) |                                    |
|              |   |                 |  | Лекции          | Практические занятия |   |                                    |
| 1            | 2   | 3               | 4  | 5               | 6                    | 7   | 8                                  |
| 1            | Компьютерные пакеты инженерного и научного анализа        | 1-2             | 6  | 4               | 2                    |   |                                    |
| 2            | Создание геометрических моделей                           | 3-4             | 8  | 4               | 4                    |   |                                    |
| 3            | Построение расчетных сеток                                | 5-6             | 10   | 4               | 6                    |   |                                    |
| 4            | Основы работы в ANSYS Fluent                              | 7-8             | 8  | 4               | 4                    |   |                                    |
| 5            | Основы работы в пакете FlowVision                         | 9-10            | 8  | 4               | 4                    |   |                                    |
| 6.           | Решение физических задач в пакетах компьютерной инженерии | 11-16           | 20   | 12              | 8                    |   |                                    |
| 7.           | Подготовка и защита индивидуального проекта               | 15-16           | 8  |                 | 4                    | 4   |                                    |
| 8.           | Консультация в период подготовки к экзамену               |                 |  |                 |                      |   | 2                                  |
| 9.           | Экзамен   |                 | 4  |                 |                      |   | 2                                  |
| <b>Всего</b> |   |                 | <b>72</b>  | <b>32</b>       | <b>32</b>            | <b>4</b>  | <b>4</b>                           |

### 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. 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 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 Лавалья 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](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/>
- <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](http://www.delcam-ural.ru/delkam_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/](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   |
|--|---|--|
| <b>ПК 1.1</b> 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. | <b>Знать</b> 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 |

|   |   |   |
|---|---|---|
| <p><b>ПК 1.2</b> Выбирает наиболее эффективные методы решения конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.</p> | <p><b>Уметь</b> 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.</p> <p><b>Владеть</b> современными инструментами инженерного анализа физических процессов, наблюдаемых в природе и технике; основными приемами работы в ПК ANSYS и FlowVision.</p> | <p>Проведение самостоятельных работ с решением типовых задач, экзамен</p> |
|---|---|---|

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

**Таблица 10.2**

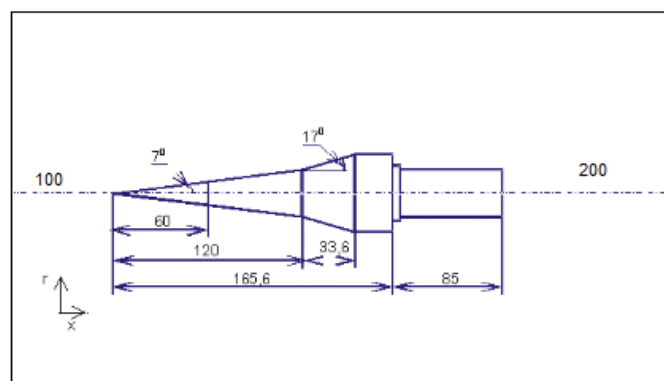
| Критерии оценивания результатов обучения | Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций) | Уровень освоения компетенции  |   |  |   |
|--|---|---|---|--|---|
|  |   | Не сформирован (0 баллов)   | Пороговый уровень (3 балла)   | Базовый уровень (4 балла)  | Продвинутый уровень (5 баллов)  |
| 1  | 2   | 3   | 4   | 5  | 6   |
| Полнота знаний                           | ПК 1.1  | Уровень знаний ниже минимальных требований. Имеют место грубые ошибки.                        | Демонстрирует общие знания базовых понятий по темам/разделам дисциплины. 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 1.2  | 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 1.2 | 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. |
|-----------------------------------|--------|--|--|--|---|

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

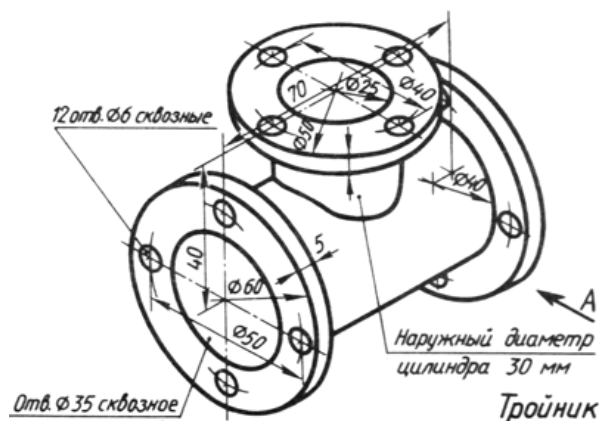
#### Образец контрольной работы

**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,  $T_{\infty}=280\text{K}$ , 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  $u^+$  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.

**Лист актуализации рабочей программе  
по дисциплине «Моделирование физических процессов с использованием пакетов  
компьютерной инженерии» 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 |
|---|--|--|------------------------|
|   |  |  |                        |
|   |  |  |                        |
|   |  |  |                        |
|   |  |  |                        |
|   |  |  |                        |
|   |  |  |                        |
|   |  |  |                        |
|   |  |  |                        |