

**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, д.ф.-м.н
В.Е.Блинов
2022 г.

Рабочая программа дисциплины

**ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ АЭРОГИДРОДИНАМИКА:
КЛАССИКА И СОВРЕМЕННОСТЬ 1**

направление подготовки: **03.03.02 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
7	72	32	32			6			2	
Всего 72 часа / 2 зачётные единицы, из них: - контактная работа 66 часов										
Компетенции ПК-1										

Ответственный за образовательную программу
д.ф.-м.н., проф.

Цыбуля С. В.

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.	4
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 «Вычислительная аэрогидродинамика: классика и современность 1» предназначена для обучения студентов-физиков основам современных методов математического моделирования физических процессов, теоретическое представление о которых они получают при параллельно изучаемом курсе общей физики.

Основной целью освоения дисциплины является ознакомление с методами математического моделирования, в особенности разностными методами решения различных уравнений математической физики, и получение практических навыков в исследовании простейших физических явлений с использованием этих методов. Данный курс является составной частью обширного раздела механики сплошных сред. Этот раздел включает задачи внешней и внутренней аэродинамики (задачи обтекания тел и течения в каналах) до и сверхзвуковых скоростей.

В основе курса «Вычислительная аэрогидродинамика: классика и современность 1» лежит изучение каждого типа уравнений на примере простейших задач, приводящих к уравнениям рассматриваемого типа (уравнения переноса, теплопроводности, волновое уравнение). Особое внимание уделяется корректности постановки задач. В настоящее время, при наличии современных компьютеров, при решении начально-краевых задач используются разностные методы. Курс знакомит с основами разностных методов, с разностными схемами, используемыми для различных типов уравнений, видами пакетов прикладных программ. Курс лекций дополнен практическими занятиями по численному моделированию задач аэрогидродинамики.

Таким образом, курс включает ознакомление с методами математического моделирования, в особенности разностными методами решения различных уравнений математической физики, и получение практических навыков в исследовании простейших физических явлений с использованием этих методов.

Дисциплина нацелена на формирование у выпускника следующей профессиональной компетенции:

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
ПК-1 Способность использовать специализированные знания в области физики при построении теоретических моделей физических явлений и процессов в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования	<p>ПК 1.1 Применяет специализированные знания в области физики при воспроизведении учебного материала с требуемой степенью научной точности и полноты.</p> <p>ПК 1.2 Использует специализированные знания при проведении научных изысканий в избранной области.</p> <p>ПК 1.3 Выбирает наиболее эффективные методы построения теоретических моделей физических явлений и процессов в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования</p>	<p>Знать основные понятия вычислительных методов, применяемых при расчете течений жидкостей и газов; современные численные схемы, используемые при решении одномерных задач аэрогидродинамики, включая расчет течений с ударными волнами.</p> <p>Уметь использовать основные подходы, применяемые при их программной реализации, методику проведения вычислительного эксперимента при решении простых задач аэрогидродинамики; выбирать и применять схемы вычислительной аэрогидродинамики для численного решения простых задач механики жидкости и газа, самостоятельно разрабатывать несложные расчетные программы;</p>

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
		<p>проводить научные исследования в области аэрофизики и газовой динамики с помощью численного моделирования, используя самостоятельно разработанные вычислительные программы.</p> <p>Владеть навыками самостоятельной работы с научной литературой по вычислительной аэрогидродинамике, понимать и использовать на практике методы численного моделирования течений жидкостей и газов, представлять результаты проведенных расчетов в виде отчетов.</p>

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.

Дисциплина «Вычислительная аэрогидродинамика: классика и современность 1» реализуется в осеннем семестре 4-го курса бакалавриата, обучающихся по направлению 03.03.02 Физика. Курс является одной из профессиональных дисциплин по выбору, реализуемых кафедрой аэрофизики и газовой динамики. Излагаемый материал опирается на общие и специальные дисциплины, читаемые на физическом факультете, и полностью интегрирован в процесс обучения по курсам общей физики (кафедра общей физики) и механики жидкости и газовой динамики (кафедра аэрофизики и газовой динамики). Успешное освоение данного курса может быть полезным при дальнейшей специализации в области механики жидкости и газа.

3. Трудоемкость 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
7	72	32	32			6			2	
Всего 72 часа / 2 зачётные единицы, из них:										
- контактная работа 66 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, контрольные работы, самостоятельная работа студента.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

Текущий контроль: контроль посещения лекций, контроль освоения практического материала путем проведения контрольных работ и приема обязательных заданий компьютерного спецпрактикума.

Промежуточная аттестация: дифференцированный зачет.

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

- занятия лекционного типа – 32 часа;
 - практические занятия – 32 часа;
 - промежуточная аттестация (выполнение обязательных заданий компьютерного спецпрактикума, подготовка к дифференцированному зачету, дифференцированный зачет) – 8 часов.
- Объем контактной работы обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа, практические занятия, дифференцированный зачет) составляет 66 часов.

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

Дисциплина «Вычислительная аэрогидродинамика: классика и современность 1» представляет собой полугодовой курс, читаемый на 4-м курсе физического факультета НГУ в 7 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 трудоемкость (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)
			Всего	Аудиторные часы		Сам. работа в течение семестра (не включая период сессии)	
				Лекции	Практические занятия		
1	2	3	4	5	6	7	8
1.	Введение. Основные модели механики жидкости и газа.	1	4	2	2		
2.	Классификация уравнений математической физики	2	4	2	2		
3.	Метод конечных разностей.	3	4	2	2		
4.	Компактные разности. Метод прогонки.	4	4	2	2		
5.	Метод конечных объемов. Спектральные методы	5	4	2	2		
6.	Схемы интегрирования по времени.	6	4	2	2		
7.	Задачи с преобладанием диффузии Уравнение теплопроводности	7	4	2	2		

8.	Задачи с преобладанием конвекции. Уравнение переноса и уравнение Хопфа	8	4	2	2		
9.	Классические схемы для решения уравнений газовой динамики.	9	4	2	2		
10.	Задача о распаде разрыва. Схема Годунова.	10	4	2	2		
11.	Приближенные методы вычисления потоков	11	4	2	2		
12.	TVD схемы	12	4	2	2		
13.	ENO/WENO схемы	13	4	2	2		
14.	Криволинейные координаты. Расчетные сетки для решения многомерных задач	14	4	2	2		
15.	Построение структурированных расчетных сеток	15	4	2	2		
16.	Неструктурированные расчетные сетки	16	4	2	2		
17.	Выполнение обязательных заданий компьютерного спецпрактикума, подготовка к дифференцированному зачету	17	6				6
18.	Дифференцированный зачет	17	2				2
Итого:			72	32	32	6	8

Программа и основное содержание лекций (32 часа)

1. Введение: предмет вычислительной аэрогидродинамики, исторический обзор ее развития, примеры задач, методы. Основные модели механики жидкости и газа (2 часа).
2. Физическая и математическая классификация уравнений математической физики, примеры постановки задач. Корректность (2 часа).
3. Обзор основных способов дискретизации уравнений механики сплошной среды. Метод конечных разностей. Методы построения конечноразностных формул, формулы различного порядка для аппроксимация первых и вторых производных (2 часа).
4. Компактные разности. Трехдиагональная прогонка. Спектральный анализ разностных формул. Численные диссипация и дисперсия (2 часа).
5. Метод конечных объемов. Спектральные методы Фурье и Чебышева. Точность и скорость сходимости различных методов пространственной аппроксимации (2 часа).
6. Схемы интегрирования по времени. Явные и неявные схемы. Устойчивость, аппроксимация и сходимость. Методы Рунге-Кутты и многошаговые методы (2 часа).
7. Задачи с преобладающим влиянием диффузии. Уравнение теплопроводности. Устойчивость разностных схем для его решения. Анализ устойчивости по фон Нейману (2 часа).
8. Линейные и нелинейные задачи с преобладающим влиянием конвекции. Уравнение переноса, уравнение Хопфа. Гиперболические системы законов сохранения уравнений и их характеристики. Нарушение гладкости решений и градиентная катастрофа. Понятие слабого решения. Соотношения Рэнкина-Гюгонио. Единственность слабых решений и энтропийное неравенство (2 часа).
9. Численное нахождение гладких решений. Условие Куранта. Дифференциальные приближения. Метод сквозного счета. Консервативные схемы. Классические методы решений уравнений газовой динамики: схемы Куранта-Изаксона-Риса, Лакса, Лакса-Вендроффа, Маккормака. Явная искусственная вязкость (2 часа).

10. Ударные волны, контактные разрывы и волны разрежения при решении уравнений газовой динамики. Задача о распаде произвольного разрыва и ее решение. Схема Годунова (2 часа).
11. Способы вычисления потоков в современных схемах сквозного счета. Расщепление вектора потоков, схемы Стегера–Уорминга и ван Леера. Расщепление разности потоков, схема Роу. Метод Хартена–Лакса–ван Леера (2 часа).
12. Повышение порядка аппроксимации в схемах сквозного счета. Теорема Годунова. TVD-схемы с реконструкцией потоков и с реконструкцией зависимых переменных. Формулы реконструкции различного порядка точности. Ограничители наклонов (2 часа).
13. ENO- и WENO-реконструкция. Конечнообъемные и конечноразностные ENO- и WENO-схемы. Индикаторы гладкости. SSP схемы для интегрирования по времени (2 часа).
14. Переход к общим криволинейным координатам в уравнениях движения сплошной среды. Расчетные сетки для решения многомерных задач. Понятие о структурированных, блочно-структурированных и неструктурированных сетках. Структурированные сетки с различной топологией. Численное применение обобщенных координат (2 часа).
15. Построение структурированных сеток. Ортогональные и конформные сетки. Различные способы построения сеток: алгебраические отображения, трансфинитная интерполяция, с помощью конформных преобразований и решения эллиптических уравнений (2 часа).
16. Основные способы построения неструктурированных сеток. Триангуляция Делоне. Обзор пакетов для построения неструктурированных сеток в двумерных и трехмерных областях. Особенности решения уравнений на неструктурированных сетках (2 часа).

Программа практических занятий (32 часа)

- Занятие 1.* Знакомство с программным обеспечением (средствами разработки программ и визуализации результатов расчетов), используемым при проведении практических занятий (2 часа).
- Занятие 2.* Типы уравнений математической физики. Гиперболические системы законов сохранения. Проверка гиперболичности конкретных систем уравнений, вычисление собственных значений и векторов для уравнений газовой динамики, характеристическая форма этих уравнений (2 часа).
- Занятие 3.* Построение конечноразностных формул и их программная реализация. Вычислительные эксперименты с точностью вычисления производной при помощи разностных формул, определение скорости сходимости (2 часа).
- Занятие 4.* Метод прогонки и его программная реализация. Его использование для вычисления производных с помощью компактных разностей. Сравнение точности обычных и компактных разностей (2 часа).
- Занятие 5.* Программная реализация операторов дифференцирования для спектральных методов Фурье и Чебышева. Экспериментальное исследование точности спектрального дифференцирования для функций различной гладкости. (2 часа)
- Занятие 6.* Программная реализация явных методов интегрирования систем ОДУ. Численное решение уравнения колебания нелинейного маятника с трением и уравнения Блазиуса (2 часа).
- Занятие 7.* Простейшая программа для решения уравнения теплопроводности. Численные эксперименты и явление неустойчивости. Исследование по фон Нейману устойчивости схем для данного уравнения (2 часа).
- Занятие 8.* Простейшие программы для решения линейного уравнения переноса и уравнения Хопфа. Образование ударных волн в уравнении Хопфа. Сравнение точного и численного решения данного уравнения (2 часа).
- Занятие 9.* Решение уравнения переноса с помощью классических разностных схем 1-го и 2-го порядка для гладких и разрывных начальных данных (2 часа).

Занятие 10. Программа для решения задачи о распаде разрыва и численные эксперименты с ней, ее использование для решения ряда задач одномерной газовой динамики (2 часа).

Занятие 11. Программная реализация наиболее популярных методов приближенного вычисления потоков. Их сравнение на примере решения задач одномерной газовой динамики (2 часа).

Занятие 12. Программа, реализующая TVD схему сквозного счета. Численные эксперименты с TVD схемами при решении уравнений газовой динамики (2 часа).

Занятие 13. Программная реализация ENO и WENO схем. Решение уравнений газовой динамики с их помощью (2 часа).

Занятие 14. Переход к криволинейным координатам в уравнениях газовой динамики. Программная реализация вычисления метрических коэффициентов. Решение задачи о сверхзвуковом обтекании цилиндра (2 часа).

Занятие 15. Практическое построение структурированных сеток с помощью алгебраических отображение, конформных отображений и трансфинитной интерполяции (2 часа).

Занятие 16. Использование свободно распространяемых пакетов для генерации структурированных и неструктурированных сеток около тел сложной формы (2 часа).

Самостоятельная работа студентов (6 часов)

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Выполнение обязательных заданий компьютерного спецпрактикума, подготовка к дифференцированному зачету	6

5. Перечень учебной литературы.

5.1. Основная литература

1. Годунов С.К. и др. Численное решение многомерных задач газовой динамики. М.: Наука, 1976.
2. Яненко Н.Н. Метод дробных шагов решения многомерных задач математической физики. Новосибирск: Наука, 1967.
3. Пинчуков В. И., Шу Ч.-В. Численные методы высоких порядков для задач аэрогидродинамики. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000.

5.2. Дополнительная литература

1. Лебедев А.С., Черный С.Г. Практикум по численному решению уравнений в частных производных. Учебное пособие. Новосибирск: НГУ, 2000.
2. Маслов А. А., Миронов С.Г. Динамика вязкого газа в примерах и задачах. Новосибирск: Новосибирский государственный университет, 2010, 76 с.

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

Самостоятельная работа студентов поддерживается следующими учебными пособиями:

1. Маслов А.А., Миронов С.Г., Поплавская Т.В. Введение в динамику вязкого газа. Учебное пособие. Новосибирск: НГУ, 2010. <http://ns.itam.nsc.ru/lib/ecatalog/>
2. Пирумов У.Г., Росляков Г.С. Численные методы газовой динамики. М.: Высшая школа, 1987.

3. Toro E. F. Riemann Solvers and Numerical Methods for Fluid Dynamics. Berlin, Heidelberg: Springer, 1999. <http://ns.itam.nsc.ru/lib/ecatalog/>
4. Андерсон Д., Таннехилл Дж., Плетчер Р. Вычислительная гидромеханика и теплообмен. - М: Мир, 1990. Т. 1-2.
5. Флетчер К. Вычислительные методы в динамике жидкостей. М.: Мир, 1991. Т. 1-2.
6. Куликовский А. Г., Погорелов Н. В., Семенов А. Ю. Математические вопросы численного решения гиперболических систем уравнений. М.: Физматлит, 2001, 2012.

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.

Слайды лекций, задания и примеры вычислительных программ размещаются на странице сообщества «Вычислительная гидродинамика» в социальной сети «В контакте»: https://vk.com/agdnsu_cfd.

7.1 Современные профессиональные базы данных

Не используются

7.2. Информационные справочные системы

Не используются.

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 свободно распространяемого программного обеспечения, включающий операционную систему Linux / Ubuntu, компилятор gfortran, текстовый редактор, программу визуализации gnuplot.

Использование специализированного программного обеспечения для изучения дисциплины не требуется.

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

Для реализации дисциплины «Вычислительная аэрогидродинамика: классика и современность 1» используются специальные помещения:

1. Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля, промежуточной и итоговой аттестации.

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

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 контрольных работ и приема заданий компьютерного спецпрактикума.

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 вычислительной аэрогидродинамики в профессиональной деятельности.

Окончательная оценка работы студента в течение семестра происходит на дифференцированном зачете. Зачет проводится в конце семестра в экзаменационную сессию по вопросам в устной форме. Вопросы 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 воспроизведении учебного материала с требуемой степенью научной точности и полноты.	Знать основные понятия вычислительных методов, применяемых при расчете течений жидкостей и газов; современные численные схемы, используемые при решении одномерных задач аэрогидродинамики, включая расчет течений с ударными волнами. Владеть навыками самостоятельной работы с научной литературой по вычислительной аэрогидродинамике, понимать и использовать на практике методы численного моделирования течений жидкостей и газов, представлять результаты проведенных расчетов в виде отчетов.	Проведение контрольных работ, дифференцированный зачет.

<p>ПК 1.2 Использует специализированные знания при проведении научных изысканий в избранной области</p>	<p>Уметь использовать основные подходы, применяемые при их программной реализации, методику проведения вычислительного эксперимента при решении простых задач аэрогидродинамики; выбирать и применять схемы вычислительной аэрогидродинамики для численного решения простых задач механики жидкости и газа, самостоятельно разрабатывать несложные расчетные программы; проводить научные исследования в области аэрофизики и газовой динамики с помощью численного моделирования, используя самостоятельно разработанные вычислительные программы.</p>	<p>Проведение контрольных работ, дифференцированный зачет.</p>
<p>ПК 1.3 Выбирает наиболее эффективные методы построения теоретических моделей физических явлений и процессов в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования</p>	<p>Владеть представлениями о спектрах ЭПР и ЯМР различных радикалов и молекул; об использовании теории групп при решении различных задач по спектроскопии и при определении реакционной способности молекул.</p>	<p>Проведение контрольных работ, дифференцированный зачет.</p>

10.2 Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Вычислительная аэрогидродинамика: классика и современность 1».

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 ПК 2.1	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 1.2 ПК 2.2	Отсутствие минимальных умений. Не умеет решать стандартные задачи.	Продемонстрированы частично основные умения. Решены	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания с негрубыми	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания в полном объеме

		Имеют место грубые ошибки.	типовые задачи. Допущены негрубые ошибки.	ошибками или с недочетами.	без недочетов и ошибок.
Наличие навыков (владение опытом)	ПК 2.3	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

- К какому типу ДУЧП относится:
волновое уравнение $u_{xx} - u_{yy} = 0$, $y^2 u_{xx} + x^2 u_{yy} = 0$, $x^2 u_{xx} + 2xy u_{xy} + y^2 u_{yy} = 0$?
- К какому типу уравнений относится уравнение переноса $\frac{\partial u}{\partial t} + a \frac{\partial u}{\partial x} = f$?
В каком случае оно называется линейным, квазилинейным, однородным?
Чем определяется единственность решения этого уравнения в ограниченной области $\Omega\{0 \leq t \leq T, 0 \leq x \leq X\}$, если $a = \text{const} > 0$?
- Аппроксимируем уравнение переноса $\frac{\partial u}{\partial t} + a \frac{\partial u}{\partial x} = 0$ схемой "бегущего счета": $\frac{u_j^{n+1} - u_j^n}{\tau} + a \frac{u_j^{n+1} - u_{j-1}^{n+1}}{h} = 0$. Применима ли эта схема при $a > 0$? Используйте понятие области зависимости решения от начальных и граничных данных.

Задания компьютерного спецпрактикума

ЗАДАНИЕ 1

Найти решение начально-краевой задачи для уравнения переноса с помощью явной и неявной схем. Определить погрешность аппроксимации и устойчивость схем. Составить алгоритм, осуществить его реализацию на ЭВМ. Произвести выбор параметров τ и h с учетом требования необходимой точности расчетов и выполнения условий аппроксимации и устойчивости. Проверить устойчивость и сходимости схем на последовательности измельчающихся сеток. Провести табличное и графическое сравнение результатов с точным решением данной задачи: гладким и разрывным (ступенька). Провести сравнительный анализ результатов для явной и неявной схем.

ЗАДАНИЕ 2

Найти решение задачи о разрывном течении в канале известного сечения, если на входе в канал заданы плотность ρ_0 и давление p_0 , на выходе из канала давление p_1 , и сечение $x = x_s$, где поток проходит через скачок уплотнения и вновь становится дозвуковым. При решении использовать формулы, задающие параметрическое решение стационарных одномерных уравнений газовой динамики.

ЗАДАНИЕ 3

С помощью схем Мак-Кормака, Лакса-Вендроффа или TVD (по выбору) рассчитать течение сжимаемого газа в канале переменного сечения $A(x)$ (в квазиодномерной постановке).

Во входном сечении сопла задаются два граничных условия, в выходном одно при дозвуковом режиме истечения и ни одного при сверхзвуковом. Для реализации граничных условий используется точное решение. Решить задачу методом установления. В качестве начального приближения задать постоянные параметры, равные входным параметрам. Проверить устойчивость и сходимость схемы на последовательности измельчающихся сеток. Способна ли схема противостоять осцилляциям при уменьшении или увеличении параметра τ . Оценить точность распределения параметров в сопле после установления.

Вопросы к дифференцированному зачету

На проверку сформированности компетенции ПК-1, ПК-2:

1. Типы дифференциальных уравнений математической физики.
2. Особенности решения уравнений гиперболического типа.
3. Граничные и начальные условия для уравнений гиперболического типа.
4. Явные и неявные схемы.
5. Аппроксимация, устойчивость, сходимость.
6. Корректность постановки начально-краевой задачи.
7. Линейное уравнение переноса и уравнение Хопфа.
8. Почему неявные схемы “бегущего счета” сглаживают разрыв сильнее чем явные?
9. Монотонные разностные схемы.
10. TVD-схемы.
11. Схемная вязкость.
12. Почему уравнение Хопфа даже при гладких начальных и краевых условиях может не иметь гладких решений? Понятие обобщенного решения. Условия Ренкина-Гюгонио.
13. Уравнения газовой динамики.
14. Характеристики уравнений газовой динамики.
15. Схема Годунова.
16. Консервативные разностные схемы.
17. Уравнения Эйлера.
18. Уравнения Навье-Стокса.
19. Уравнения пограничного слоя.
20. Особенности решения уравнений параболического типа.
21. Граничные и начальные условия для уравнений параболического типа.
22. Уравнение теплопроводности.
23. Принципиальные ограничения явных схем для параболических уравнений.
24. Метод прогонки.
25. Методы построения расчетных сеток.

Оценочные материалы по промежуточной аттестации (приложение 1), предназначенные для проверки соответствия уровня подготовки по дисциплине требованиям СУОС, хранятся на кафедре-разработчике РПД в печатном и электронном виде.

**Лист актуализации рабочей программы по дисциплине
«Вычислительная аэрогидродинамика: классика и современность 1»
по направлению подготовки 03.03.02 Физика
Профиль «Общая и фундаментальная физика»**

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