

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»**

УТВЕРЖДЕНО
Директор физтех-школы
аэрокосмических технологий
С.С. Негодяев

по дисциплине:	Рабочая программа дисциплины (модуля) Низкодиссипативные методы решения уравнений газовой динамики
по направлению:	Информатика и вычислительная техника
профиль подготовки:	Программная инженерия передовая инженерная школа радиолокации, радионавигации и программной инженерии кафедра компьютерного моделирования
курс:	4
квалификация:	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 8 (весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 45 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 135, всего зач. ед.: 3

Программу составил: С. Бахнэ

Программа обсуждена на заседании кафедры компьютерного моделирования 04.06.2020

Аннотация

Курс посвящён современным методам аппроксимации уравнений газовой динамики. Курс не претендует на всеохватность, внимание сосредоточено на построении ENO, WENO и центрально-разностных схем для конвективных членов и схем, основанных на полиномах Лагранжа с переходными функциями, для диффузионных членов. Курс включает теоретический материал и практические занятия, посвященные изучению свойств разностных схем: устойчивость, монотонность, дисперсия и диссипация. Использование языка высокого уровня Python позволит слушателям получить опыт реализации вышеописанных схем для решения одномерных уравнений.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

изучение современных методов аппроксимации уравнений газовой динамики, использующихся в промышленных и коммерческих расчётных модулях, а также их реализация с использованием средств Python.

Задачи дисциплины

- освоение студентами базовых знаний в области газовой динамики;
- приобретение теоретических знаний в области методики обработки результатов экспериментальных исследований;
- знакомство с первичными преобразователями и измерительными системами.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-2 Способен использовать современные информационные технологии и программные средства при решении задач профессиональной деятельности, соблюдая требования информационной безопасности	ОПК-2.3 Знает основные требования информационной безопасности
ОПК-3 Способен составлять и оформлять научные и (или) технические (технологические, инновационные) отчеты (публикации, проекты)	ОПК-3.2 Владеет на практике методологией составления научно-технических отчетов (проектов)
ОПК-4 Способен осуществлять сбор и обработку научно-технической и (или) технологической информации для решения фундаментальных и прикладных задач	ОПК-4.2 Знает основные источники научно-технической и (или) технологической информации в области профессиональной деятельности

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- основные свойства разностных схем высокого порядка, используемых в вычислительной газовой динамике;
- способы построения вышеописанных разностных схем;
- синтаксис языка программирования Python;
- Фурье-анализ пространственных аппроксимаций;
- способы построения обобщённого решения для разрывных задач;
- теорию полиномов Лагранжа.

уметь:

- проводить Фурье-анализ, анализ устойчивости и монотонности разностной схемы;
- реализовывать описанные методы в рамках объектно-ориентированного и функционального подходов на языке Python;
- проводить расчёты модельных (одномерных) задач с различными начальными условиями;
- строить графики решений и анализировать свойства выбранного численного алгоритма.

владеть:

- навыками программирования модельных задач и методов решения;
- навыками построения низкодиссипативных схем для уравнений газовой динамики;
- навыками представления и анализа результатов исследований;
- навыками работы с библиотеками научных вычислений (NumPy, SimPy) и средствами визуализации (Matplotlib).

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

4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Введение	4	4		5
2	Основные типы уравнений газовой динамики	4	4		5
3	Фурье-анализ разностных схем	4	4		5
4	Устойчивость и монотонность разностных схем	4	4		6
5	Методы Рунге-Кутты	4	4		6
6	Аппроксимации градиентов повышенного порядка точности	2	4		6
7	ENO и WENO подходы	4	4		6
8	Основные модельные задачи	4	2		6
Итого часов		30	30		45
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		135 час., 3 зач.ед.			

4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 8 (Весенний)

1. Введение

Введение. Теория интерполяционных полиномов Лагранжа. Теория разделённых и конечных разностей.

2. Основные типы уравнений газовой динамики

Основные типы уравнений газовой динамики. Проблемы их численного решения. Разрывное начальное условие для уравнений гиперболического типа. Понятие обобщённого решения. Проблема осцилляций Гиббса. Классические методы численного решения и их свойства.

3. Фурье-анализ разностных схем

Фурье-анализ разностных схем (пространственных аппроксимаций). Дисперсионные и диссипативные свойства схемы.

4. Устойчивость и монотонность разностных схем

Устойчивость и монотонность разностных схем. Признаки устойчивости и монотонности. Полная вариация.

5. Методы Рунге-Кутты

Методы Рунге-Кутты 1-7 порядков и их свойства.

6. Аппроксимации градиентов повышенного порядка точности

Аппроксимации градиентов повышенного порядка точности (вплоть до 4-го) в рамках метода конечного объёма в нормальном и касательном направлении по отношению к грани и их свойства. Переходные функции между различными аппроксимациями.

7. ENO и WENO подходы

ENO и WENO подходы для аппроксимации конвективных членов уравнений газовой динамики.

8. Основные модельные задачи

Основные модельные задачи: уравнение диффузии и уравнение переноса. Проблема чётно-нечётного взаимодействия.

5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Учебная аудитория, оснащенная доской с мелом или маркерами. Компьютерный класс с системой разработки и отладки программ для ЭВМ.

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Численные методы и программирование на ФОРТРАНе [Текст] = Numerical methods and fortran programming / Д. Мак-Кракен, У. Дорн ; пер. с англ. Б. Н. Казака ; под ред. Б. М. Наймарка .— 2-е изд., доп. и стереотип. — М. : Мир, 1977 .— 584 с.

Дополнительная литература

1. Введение в теорию разностных схем [Текст]/С. К. Годунов, В. С. Рябенский, -М, Физматгиз, 1962

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

Не используются

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

Информационные ресурсы:

1. <https://openedx.seas.gwu.edu/courses/course-v1:MAE+MAE6286+2017/aboutкурс> профессора Лорены Барбы по использованию Python для численного решения уравнений в частных производных.
2. <https://discord.com/> для проведения занятий и сдачи задания в дистанционном режиме, если возникнет необходимость.
3. <https://docs.scipy.org/doc/numpy/reference/>

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Студент, изучающий дисциплину "Низкодиссипативные методы решения уравнений газовой динамики", должен с одной стороны, овладеть теорией построения и анализа низкодиссипативных разностных схем, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике (по крайней мере, на модельных задачах).

В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения, понятия, способы анализа и построения схем, свойства решений модельных задач с начальным условием различной степени гладкости.

Успешное освоение курса требует напряжённой самостоятельной работы студента. В программе курса приведено минимально необходимое время для работы студента над темой. Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение и конспектирование рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала (по конспектам лекций, учебной и научной литературе), подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения, доказательство отдельных утверждений, свойств;
- подготовку к экзамену.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в форме индивидуальных консультаций.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями к лектору.

ПРИЛОЖЕНИЕ

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Информатика и вычислительная техника
профиль подготовки:	Программная инженерия передовая инженерная школа радиолокации, радионавигации и программной инженерии кафедра компьютерного моделирования
курс:	<u>4</u>
квалификация:	бакалавр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 8 (весенний) - Экзамен	
Разработчик:	С. Бахнэ

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-2 Способен использовать современные информационные технологии и программные средства при решении задач профессиональной деятельности, соблюдая требования информационной безопасности	ОПК-2.3 Знает основные требования информационной безопасности
ОПК-3 Способен составлять и оформлять научные и (или) технические (технологические, инновационные) отчеты (публикации, проекты)	ОПК-3.2 Владеет на практике методологией составления научно-технических отчетов (проектов)
ОПК-4 Способен осуществлять сбор и обработку научно-технической и (или) технологической информации для решения фундаментальных и прикладных задач	ОПК-4.2 Знает основные источники научно-технической и (или) технологической информации в области профессиональной деятельности

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Низкодиссипативные методы решения уравнений газовой динамики» обучающийся должен:

знать:

- основные свойства разностных схем высокого порядка, используемых в вычислительной газовой динамике;
- способы построения вышеописанных разностных схем;
- синтаксис языка программирования Python;
- Фурье-анализ пространственных аппроксимаций;
- способы построения обобщённого решения для разрывных задач;
- теорию полиномов Лагранжа.

уметь:

- проводить Фурье-анализ, анализ устойчивости и монотонности разностной схемы;
- реализовывать описанные методы в рамках объектно-ориентированного и функционального подходов на языке Python;
- проводить расчёты модельных (одномерных) задач с различными начальными условиями;
- строить графики решений и анализировать свойства выбранного численного алгоритма.

владеть:

- навыками программирования модельных задач и методов решения;
- навыками построения низкодиссипативных схем для уравнений газовой динамики;
- навыками представления и анализа результатов исследований;
- навыками работы с библиотеками научных вычислений (NumPy, SimPy) и средствами визуализации (Matplotlib).

3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

1. Постановка основной задачи интерполирования.
2. Интерполяционная формула Лагранжа.
3. Теорема об однозначности полинома Лагранжа.
4. Оценка погрешности интерполяционной формулы Лагранжа.
5. Теорема Фабера.
6. Конечные разности.
7. Теорема о конечной разности n -го порядка для многочлена.
8. Оператор сдвига конечной разности.
9. Выражение конечной разности n -го порядка функции через её последовательные значения.
10. Обобщенная теорема Лагранжа.
11. Обобщенная степень.

12. Разделенные разности и их свойства.
13. Постановка задачи численного дифференцирования.
14. Формулы приближенного дифференцирования.
15. Дифференцирование на трёх-, четырёх- и пятиточечном шаблоне.

4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

1. Среднее по ячейке.
2. Формула Грина.
3. Одномерная реконструкция значения на грани.
4. Нахождение коэффициентов разложения.
5. Консервативная аппроксимация.
6. Аппроксимация на фиксированном шаблоне.
7. Аппроксимация ENO.
8. Процедура одномерной ENO-реконструкции.
9. Полная вариация (TV).
10. Аппроксимация WENO.
11. Процедура одномерной WENO-реконструкции.
12. Фурье-анализ пространственных аппроксимаций.
13. Полу-дискретная аппроксимация линейного уравнения переноса.
14. Модифицированное волновое число.
15. Фазовая скорость.
16. Дисперсионные и диссипативные ошибки пространственных операторов.
17. Понятие условной устойчивости разностных схем по начальным данным.
18. Аппроксимация и сходимость.
19. Нормы ошибок.
20. Теорема Лакса–Рябенского.

Билет 1

1. Собственные числа оператора.
2. Спектр численного оператора.

Билет 2

1. Методы Рунге-Кутты 1-3 и 7 порядков.
2. Спектральный признак устойчивости.

Билет 3

1. Порядки аппроксимации, точности, гладкости и сходимости.
2. Признак и число Куранта–Фридрихса–Леви.

Билет 4

1. Применение методов повышенного порядка в газодинамических расчётах.
2. Проблема чётно-нечётного взаимодействия схем.

Критерии оценивания

Оценка отлично 10 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 9 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 8 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо 7 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо 6 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо 5 баллов - выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно 4 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно 3 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно 2 балла - выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно 1 балл - выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Во время проведения экзамена обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, а также справочной литературой, вычислительной техникой.

Экзамен может проводиться по итогам текущей успеваемости и сдачи заданий, или путем организации специального опроса, проводимого в устной форме.