

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук
(ИПМех РАН)

«Утверждаю»
Директор ИПМех РАН
д.ф.-м.н.
С.Е. Якуш



«28» сентября 2018 г.

Рабочая программа учебной дисциплины (РПУД)
«Численное моделирование в физике»

Направление подготовки 01.06.01 Математика и механика
Специальность 01.02.05 Механика жидкости, газа и плазмы

Форма подготовки (очная)
Отдел аспирантуры ИПМех РАН

Всего 108 часов, всего зачетных единиц – 3
Аудиторных часов – 36, в том числе:
лекции – 36 часов
Самостоятельная работа – 72 часа

Рабочая программа составлена в соответствии с Приказом Министерства образования и науки Российской Федерации (Минобрнауки России) от 30 июля 2014 г. № 866 "Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 01.06.01 Математика и механика (уровень подготовки кадров высшей квалификации)".

Составитель: зам. директора, д.ф.-м.н. Якуш С.Е.

Заведующий отделом аспирантуры: Щелчкова И.Н.

АННОТАЦИЯ

Дисциплина «Численное моделирование в физике» предназначена для аспирантов, обучающихся по специальности 01.02.05 Механика жидкости, газа и плазмы, и входит в вариативную часть учебного плана.

При разработке рабочей программы учебной дисциплины использованы Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования (уровень подготовки кадров высшей квалификации) по направлению подготовки 01.06.01 Математика и механика, учебный план подготовки аспирантов по специальности 01.02.05 Механика жидкости, газа и плазмы.

Цель - изучение численных методов и сопутствующего математического аппарата, применяемых при решении задач механики, гидродинамики и газовой динамики, а также освоение способов построения и компьютерной реализации математических моделей механических и гидродинамических систем.

Задачи:

1. Изучение вопросов, связанных с получением математических моделей механических систем и их исследованием при помощи прикладных алгоритмов численного анализа.
2. Овладение важнейшими методами решения прикладных задач в области вычислительной механики.
3. Формирование устойчивых навыков по применению арсенала методов вычислительной механики при научном анализе ситуаций, с которыми инженеру приходится сталкиваться в ходе создания новой техники и новых технологий.
4. Ознакомление с историей и логикой развития вычислительной механики.

Компетенции выпускника, формируемые в результате изучения дисциплины

Универсальные компетенции:

УК-1 Способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях.

УК -3 Готовность участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач.

Общепрофессиональные компетенции:

ОПК - 1 Способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий;

ОПК - 2 Готовность к преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования;

Профессиональные компетенции:

ПК - 1 Способность самостоятельно выполнять научные исследования в области механики жидкости и газа, используя соответствующий физико-математический аппарат, вычислительные методы и компьютерные технологии, с целью установления закономерностей течения;

ПК – 7 Умение использовать системный подход к исследованию технических систем и выработке стратегии научной деятельности в процессе реализации научных и технологических инноваций;

ПК - 8 Способность использовать знания в области математики и механики для дальнейшего освоения дисциплин в соответствии с профилем подготовки;

ПК - 11 Способность самостоятельно выполнять научные исследования в области механики жидкости и газа, используя соответствующий физико-математический аппарат, вычислительные методы и компьютерные технологии, с целью установления законов движения жидкостей и газов в

различных режимах, распространении волн малой и большой амплитуды в жидкостях и газах;

ПК - 12 Способность самостоятельно применять вычислительные методы механики сплошных сред и вычислительной математики, теоретические, расчетные и экспериментальные методы исследований, методы математического и компьютерного моделирования к постановке и решению задач механики жидкости и газа.

Требования к уровню усвоения содержания дисциплины.

Аспиранты должны приобрести следующие знания и умения:

знать:

- методы реализации научно-исследовательской деятельности в области математики и механики, а также методы генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач с использованием информационно-коммуникационных технологий;

- научные основы и закономерности механических явлений, применяемые для изучения течений жидкостей и газа в однородных и стратифицированных средах;

- научные основы и закономерности гидрогазодинамических явлений, применяемые при постановке и решении математических задач механики жидкости и газа;

- современные методы экспериментальной механики жидкости и газа для реагирующих систем, методы планирования экспериментов и обработки экспериментальных данных;

уметь:

- планировать и осуществлять научно-исследовательскую деятельность с применением современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий;

- использовать базовый физико-математический аппарат, вычислительные методы и методы компьютерного моделирования для выявления новых закономерностей течений жидкостей и газов и распространения волн в однородных и стратифицированных средах;

- использовать базовый физико-математический аппарат, расчетные и экспериментальные методы исследования для решения технологических проблем деформирования, разрушения и предупреждения недопустимых деформаций в конструкциях различного назначения.

- делать качественные оценки с применением критериального подхода для определения условий движения жидкостей и газов, режимов и устойчивости течений;

- использовать свои знания для решения фундаментальных и прикладных задач и технологических задач, включающих процессы движения жидкостей и газов;

- иметь представление о применении теоретических моделей механики жидкости и газа для анализа технических систем;

владеть:

- навыками сбора, обработки, анализа и систематизации информации; выбора методов и средств решения задач исследования, навыками работы с вычислительной техникой;

- современными методами и технологиями вычислительной математики и механики, компьютерными технологиями, применяемыми в области механики жидкости и газа, волновой динамики, течений в стратифицированных средах;

- современными методами и технологиями вычислительной математики и механики, теоретическими, расчетными и экспериментальными методами исследований, применяемыми для прогноза поведения гидрогазодинамических систем при различных режимах течения;

- современными методами экспериментальных исследований в области механики жидкости и газа, методами обработки, анализа и обобщения результатов экспериментов.

СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (36 час.)

МОДУЛЬ 1. Элементы вычислительной и линейной алгебры (6 час.)

Тема 1. Предмет вычислительной механики и ее разделы. Решение систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ). Сравнение и анализ методов и способов решений СЛАУ. (2 часа)

Матричная запись СЛАУ. Векторные и матричные нормы. Прямые

методы решения СЛАУ. Итерационные методы решения СЛАУ. Решение нелинейных уравнений: метод половинного деления, метод простой итерации, метод Ньютона, метод секущих, метод парабол, метод Зейделя.

Тема 2. Постановка основной задачи интерполяции. (2 часа)

Уравнения интерполяции; вид этих уравнений в задаче о монотонной интерполяции по трём узлам. Линейные алгоритмы интерполяции; обобщённые многочлены. Системы Чебышёва.

Тема 3. Методы и способы решения задачи интерполяции. (2 часа)

Теорема о существовании и единственности решения задачи интерполяции обобщёнными многочленами. Построение интерполяционного многочлена в форме Лагранжа; его существование и единственность. Линейная интерполяция по двум узлам. Рекуррентное соотношение Эйткена; схема Эйткена. Различные варианты записи интерполяционного многочлена Лагранжа. Алгоритмы вычисления значений интерполяционного многочлена Лагранжа. Кусочно-многочленная интерполяция. Сплайны.

МОДУЛЬ 2. Численные методы решения уравнений математической физики (10 час.)

Тема 1. Обзор основных уравнений и систем. (4 час.)

Распространение малых возмущений и колебания. Уравнения теплопроводности (диффузии). Уравнения Максвелла. Уравнение Шредингера. Уравнения газогидродинамики. Уравнения Навье-Стокса. Система уравнений Власова. Стационарные уравнения. Постановка основных задач для уравнений математической физики. Задача Коши. Краевая задача для стационарных уравнений. Смешанная краевая задача. Классификация уравнений в частных производных. Модельные уравнения, используемые для анализа конечно-разностных схем.

Тема 2. Аппроксимация и устойчивость конечно-разностных схем (4 час)

Постановка конечно-разностной задачи. Пример построения конечно-разностной схемы. Шаблон разностной схемы. Аппроксимация разностной

схемы. Анализ аппроксимации. Устойчивость разностной схемы. Понятие сходимости. Критерий фон Неймана для анализа устойчивости разностных схем. Принцип замороженных коэффициентов.

Тема 3. Диссипативные и дисперсионные свойства разностных схем. Монотонность. Консервативность. Жесткость. (2 час.)

Схема «крест». Диссипация и дисперсия сеточного волнового решения. Численная вязкость. Консервативность конечно-разностных схем. Интегро-интерполяционный метод (метод конечного объема). Монотонность разностной схемы. Свойства монотонных схем. Свойство жесткости при решении обыкновенных дифференциальных уравнений и систем уравнений.

МОДУЛЬ 3. Численные методы решения уравнений гидрогазодинамики (20 час.)

Тема 1. Численные методы для решения уравнений гиперболического типа (6 час.)

Схема Лакса-Вендроффа. Схема Лакса-Вендроффа для одномерных задач газовой динамики. Метод искусственной вязкости. Метод С.К. Годунова. Метод уменьшения суммарного отклонения (TVD).

Тема 2. Численные методы для решения уравнений параболического типа (4 час.)

Разностная схема для одномерного уравнения теплопроводности с постоянными коэффициентами. Метод прогонки. Методы решения многомерных уравнений расщеплением по координатам.

Тема 3. Численные методы для решения уравнений эллиптического типа (6 час.)

Выбор метода. Формулировка разностных уравнений в виде системы линейных алгебраических уравнений. Методы решения систем линейных алгебраических уравнений. Прямые методы. Итерационные методы. Применение быстрого преобразования Фурье. Метод Конкуса и Голуба. Метод установления. Многосеточный метод.

Тема 4. Избранные вопросы параллельных вычислений (4 час.)

Существующие технологии распараллеливания. Основные особенности и различия технологий распараллеливания Open MP и MPI. Основы создания программ с помощью технологии распараллеливания Open MP. Основы создания программ с помощью технологии распараллеливания MPI. Параллельные варианты некоторых численных алгоритмов

КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА

Вопросы к экзамену

1. Математическое моделирование и его этапы.
2. Основные дифференциальные уравнения и системы уравнений математической физики. Постановка основных задач для уравнений математической физики
3. Основные дифференциальные уравнения и системы уравнений математической физики. Классификация уравнений в частных производных
4. Основные дифференциальные уравнения и системы уравнений математической физики. Модельные уравнения, используемые для анализа конечно-разностных схем
5. Основные свойства конечно-разностных схем. Простейшие схемы для решения линейного одномерного уравнения переноса
6. Основные свойства конечно-разностных схем. Анализ аппроксимации
7. Основные свойства конечно-разностных схем. Методы анализа устойчивости. Критерий фон Неймана.
8. Схема крест для решения одномерного волнового уравнения. Основные свойства схемы крест
9. Диссипационно-дисперсионные свойства конечно-разностных схем. Методы исследования. Аппроксимационная вязкость
10. Консервативность конечно-разностных схем. Интегро-интерполяционный метод построения конечно-разностных схем

11. Свойство монотонности конечно-разностных схем. Методы исследования монотонности конечно-разностной схемы
12. Свойство монотонности конечно-разностных схем. Теорема Годунова. Гибридные схемы сквозного счета. Схемы с выделением особенности
13. Свойство жесткости обыкновенных дифференциальных уравнений и систем дифференциальных уравнений
14. Уравнения гиперболического типа. Схема Лакса-Вендроффа для уравнений акустики.
15. Уравнения гиперболического типа. Схема Лакса-Вендроффа с искусственной вязкостью
16. Уравнения гиперболического типа. Метод Годунова для уравнений акустики. Решение задачи о распаде разрыва в акустическом приближении
17. Уравнения гиперболического типа. Идея метода уменьшения суммарного отклонения (TVD). Ограничители
18. Конечно-разностные схемы для решения одномерного уравнения теплопроводности с постоянными коэффициентами. Явные и неявные конечно-разностные схемы
19. Метод скалярной прогонки и альтернативные варианты метода прогонки
20. Разностные схемы для одномерного уравнения теплопроводности с переменными коэффициентами. Интегро-интерполяционный метод
21. Стационарные уравнения. Выбор численного метода для решения стационарных уравнений
22. Стационарные уравнения. Метод последовательной верхней релаксации (SOR) для решения стационарного уравнения
23. Метод быстрого преобразования Фурье и метод Конкуса и Голуба для решения стационарных уравнений. Условия применимости методов
24. Метод установления для решения стационарных уравнений.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Основная литература

(печатные и электронные издания)

1. Зализняк В. Основы вычислительной физики, часть 1. Техносфера, Москва, 2008.

Справочно-информационный фонд ИПМех РАН

2. Андерсон Д., Таннехилл Дж., Плетчер Р. Вычислительная гидромеханика и теплообмен, т. 1. Изд-во «Мир», Москва, 1990

Справочно-информационный фонд ИПМех РАН

3. Галанин М.П., Савенков Е.Б. Методы численного анализа вычислительных моделей. Изд-во МГТУ им. Баумана, Москва, 2010.

Справочно-информационный фонд ИПМех РАН

4. Куликовский А.Г. Погорелов Н.В., Семёнов А.Ю. Математические вопросы численного решения гиперболических систем уравнений [Электронный ресурс]/ Куликовский А.Г., Погорелов Н.В., Семёнов А.Ю.— Электрон. текстовые данные. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012

Справочно-информационный фонд ИПМех РАН

5. Фаддев М.А., Марков К.А. Численные методы: Учебное пособие. - Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2010. - 158 с.

Справочно-информационный фонд ИПМех РАН

6. Петров И.Б., Лобанов А.И. Лекции по вычислительной математике: учебное пособие. - М.: Интернет-Университет Информационных технологий; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – 523 с.

Справочно-информационный фонд ИПМех РАН

Дополнительная литература
(печатные и электронные издания)

1. Бахвалов Н.С. Численные методы [Электронный ресурс]/ Бахвалов Н.С., Жидков Н.П., Кобельков Г.М.— Электрон. текстовые данные.— М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012.— 635 с.

Справочно-информационный фонд ИПМех РАН

2. Корнюшин П.Н. Численные методы: Учебное пособие, Владивосток 2002, 104с.
3. . Косарев В.И. 12 лекций по вычислительной математике (вводный курс).М.: Изд-во МФТИ, 2000. – 224 с..
4. Седов Е.С. Основы работы в системе компьютерной алгебры Mathematica [Электронный ресурс]/ Седов Е.С.— Электрон. текстовые данные.— М.: Интернет-Университет Информационных Технологий (ИНТУИТ), 2012.— 207 с.