

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича
Сибирского отделения Российской академии наук**



УТВЕРЖДАЮ

Директор ИТПМ СО РАН,
чл.-корр. РАН

А.Н. Шиплюк

«24» 09 2018 г.

МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ МЕХАНИКИ СПЛОШНОЙ СРЕДЫ
Рабочая программа дисциплины

Направление подготовки аспирантов Института: 01.06.01 – «Математика и механика»,

Направленность: 01.02.05 «Механика жидкости, газа и плазмы»

Квалификация выпускника

Исследователь. Преподаватель-исследователь.

Форма обучения - очная

Новосибирск 2018

Содержание

Аннотация	3
1. Цели освоения дисциплины	4
2. Место дисциплины в структуре ООП	4
3. Компетенции обучающегося, формируемые при освоении дисциплины	4
4. Структура и содержание дисциплины	5
5. Образовательные технологии	7
6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспирантов	7
7. Фонд оценочных средств для проведения аттестации по итогам освоения дисциплины: показатели, критерии оценивания компетенций, типовые контрольные задания	7
8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины	8
9. Материально-техническое обеспечение дисциплины	8
10. Банк обучающих материалов, рекомендации по организации самостоятельной работы аспирантов	9

Аннотация

Программа курса «Методы решения задач механики сплошной среды» составлена в соответствии с Федеральными государственными образовательными стандартами по направлению подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре 01.06.01 «математика и механика».

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции, семинары, самостоятельная работа аспиранта, контрольная работа, зачет.

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы, 72 академических часа (из них 34 контактных: предусмотрены 26 часов лекционных, 4 часа семинары, 14 часов на подготовку к зачету, а также 24 часа самостоятельной работы, не включая период сессии). Работа с обучающимися в интерактивных формах составляет 8 часов.

Се- местр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)			Промежуточная аттестация (в период сессии) (в часах)		
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятель- ная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к проме- жуточной аттеста- ции	Контактная работа обучающихся с пре- подавателем (кон- сультации, зачет)
		Лекции	Семинары	Лабораторные занятия			
1	2	3	4	5	6	7	8
1	72	26	4		24	14	4
Всего 72 часа 2 зачетные единицы из них: - контактная работа 34 часа - в интерактивных формах - 8 часов							

1. Цели освоения дисциплины

Дисциплина «Методы решения задач механики сплошной среды» имеет своей целью углубить знания аспирантов о современных численных методах механики сплошной среды, используемых при расчете сверхзвуковых течений газа. Освоив курс, аспиранты должны свободно ориентироваться в методах численного моделирования, применяемых в соответствующих разделах механики сплошной среды и уметь самостоятельно использовать полученные знания.

2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы

Данная дисциплина относится к группе вариативных дисциплин Блока1 направления подготовки аспирантов Института - 01.06.01 - "Математика и механика" в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом (ФГОС) (физико-математические, технические науки).

3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины.

Дисциплина прежде всего нацелена на формирование у аспиранта следующих компетенций:

способность свободно владеть фундаментальными разделами математики и механики, необходимыми для решения научно-исследовательских задач механики жидкости, газа и плазмы (ПК-1);

способность использовать знания современных проблем и новейших достижений механики жидкости газа и плазмы в своей научно-исследовательской деятельности (ПК-2);

способность самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области механики жидкости, газа и плазмы, а также решать их с помощью современной аппаратуры, оборудования, информационных технологий с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта (ПК-3);

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

- **Знать:** основные современные численные схемы, используемые при расчете сверхзвуковых течений газа.
- **Уметь:** применять полученные знания при решении конкретных исследовательских и практических задач, возникающих в соответствующих областях механики сплошных сред.
- **Владеть:** современными методами и подходами, необходимыми при численном исследовании физических процессов в сверхзвуковой аэродинамике.

4. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы, 72 часа.

№ п/п	Раздел дисциплины	Неделя семестра	Всего	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу аспирантов и трудоемкость (в часах)			Промежуточная аттестация (в период сессии) (в часах)
				Аудиторные часы		Сам. работа в течение семестра (не включая период сессии)	
				Лекции (кол-во часов)	Семинары (кол-во часов)		
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Гиперболические системы законов сохранения	1-2	8	4		4	
2	TVD схемы метода сквозного счета	3-4	6	4		2	
3	Схемы сквозного счета высоких порядков	5-6	6	4		2	
4	Методы обработки данных численного моделирования	7-8	6	2		4	
5	Опрос по пройденным темам	9	2		2		
6	Упругопластическая модель твердого тела. Построение разностных сеток и схем.	10-11	8	4		4	
7	Уравнение состояния твердого тела и жидкости. Плавление	12-13	8	4		4	
8	Разрушение твердых тел	14-15	8	4		4	
9	Опрос по пройденным темам	16-17	2		2		
10	Групповая консультация		2				2
11	Самостоятельная подготовка обучающегося к зачету		14				14
12	Зачет		2				2
	Всего		72	26	4	24	18

Краткое содержание разделов дисциплины

Часть 1. Современные методы численного решения задач сверхзвуковой аэродинамики

1. Введение. Общая характеристика места и роли вычислительной аэродинамики в современной науке и в технических приложениях. Краткий исторический обзор ее развития.

2. Основные уравнения механики сплошной среды как система законов сохранения. Консервативная форма уравнений. Гиперболичность уравнений Эйлера. Другие примеры гиперболических уравнений.
3. Нарушение гладкости решения гиперболических систем законов сохранения. Понятие слабого решения. Единственность слабых решений. Энтропийное условие.
4. Условия Рэнкина–Гюгонио. Задача о распаде произвольного разрыва для линейных и нелинейных систем гиперболических уравнений. Ударные волны, контактные разрывы и волны разрежения. Инварианты Римана.
5. Основные способы дискретизации, применяемые при решении уравнений газовой динамики. Сравнительная характеристика методов конечных разностей, конечных объемов и конечных элементов. Понятия аппроксимации, устойчивости и сходимости.
6. Нахождение слабых решений гиперболических уравнений. Подходы с выделением разрывов и метод сквозного счета. Консервативные схемы. Теорема Лакса–Вендроффа.
7. Задача о распаде произвольного разрыва в газовой динамике. Сравнение современных методов сквозного счета с классической схемой Годунова.
8. Вычисление 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.
9. 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.
10. ENO- и WENO-реконструкция. Конечнообъемные и конечноразностные ENO- и WENO-схемы. Индикаторы гладкости.
11. Методы аппроксимации вязких членов. Особенности численной постановки различных типов граничных условий. Интегрирование уравнений по времени. Явные и неявные схемы. TVD-схемы Рунге–Кутта. Методы приближенной факторизации. Расчет стационарных невязких течений с помощью маршевых методов.
12. Обработка данных численного моделирования. Методы визуализации. Численные шпирен-визуализации, теневые картинки и интерферограммы.

Численное решение задач взаимодействия твердых тел

1. Постановка нестационарной задачи взаимодействия твердых тел. Упругопластическая модель твердого тела. Граничные условия при взаимодействии твердых тел.
2. Построение разностной схемы на треугольной сетке. Общий алгоритм расчета процессов соударения твердых тел. Построение разностных соотношений для уравнений баланса.
3. Построение треугольных сеток динамическим методом в сложных и многосвязных счетных областях.
4. Симметричный алгоритм расчета контактной поверхности взаимодействующих твердых тел. Примеры расчетов.
5. Ударная адиабата твердого тела. Экспериментальные методы ее построения.
6. Уравнение состояния твердого тела. Холодная и тепловая части давления и энергии. Трехчленное уравнение состояния. Построение функции Грюнайзена. Определение нулевой изотермы. Область применения термодинамической модели. Определение температуры Дебая. Примеры расчетов.
7. Плавление при высоких давлениях, полученных в ударной волне. Модификация уравнения состояния. Уравнение состояния жидкости.
8. Критерии разрушения твердых тел. Простейшие критерии – мгновенное разрушение, накопление деформаций. Кинетические критерии разрушения, работа напряжений на пластических деформациях.
9. Алгоритм явного выделения берегов макротрещин отрыва и сдвига на четырехугольной сетке. Моделирование разрушенного материала дискретными частицами конечного размера. Примеры расчетов.

5. Образовательные технологии

Создание электронного варианта курса лекций «Методы решения задач механики сплошной среды». Демонстрационно-компьютерное сопровождение лекционного материала.

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспирантов

1. Кудрявцев А.Н. Современные численные методы сверхзвуковой аэродинамики. ИТПМ СО РАН (<http://www.itam.nsc.ru/users/alex/lectures.html>).

7. Фонд оценочных средств для проведения аттестации по итогам освоения дисциплины: показатели, критерии оценивания компетенций, типовые контрольные задания

Текущий контроль успеваемости производится с помощью экспресс-опросов учащихся. В конце семестра проводится зачет, на основе чего выставляется общая отметка.

Вопросы к зачету

Билет 1

1. Нарушение гладкости решений гиперболических уравнений. Понятие слабого решения.
2. Схема Годунова.

Билет 2

1. Условия Рэнкина-Гюгонио для систем законов сохранения.
2. Схема Роу.

Билет 3

1. Задача о распаде разрыва и ее решение для линейных систем уравнений.
2. Понятие о монотонных схемах и TVD схемах.

Билет 4

1. Основные понятия о решении задачи Римана для нелинейных систем законов сохранения.
2. Повышение порядка точности разностных схем, ограничители наклона.

Билет 5

1. Понятия аппроксимации, устойчивости и сходимости.
2. Расщепление вектора потоков по Стегеру-Уормингу.

Билет 6

1. Консервативные схемы и теорема Лакса-Вендроффа.
2. Расщепление вектора потоков по ван Лееру.

Билет 7

1. Уравнения Эйлера как гиперболическая система.
2. Метод HLL (Хартена-Лакса-ван Леера) для приближенного вычисления потоков.

Билет 8

1. Условия Рэнкина-Гюгонио для уравнений Эйлера.
2. Понятие об ENO и WENO схемах.

Билет 9

1. Потеря единственности для слабых решений гиперболических систем. Энтропийное

условие.

2. WENO схема 5-го порядка.

Билет 10

1. Ударные волны, волны разрежения и контактные разрывы (на примере уравнений газовой динамики).
2. TVD схемы Рунге-Кутты для интегрирования уравнений по времени.

Билет 11

1. Анализ устойчивости разностных схем по фон Нейману.
2. Обобщение TVD схем на многомерный случай и системы законов сохранения.

Билет 12

1. Анализ устойчивости разностных схем с помощью метода дифференциальных приближений
2. Конечнообъемные и конечноразностные ENO/WENO схемы.

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. Кудрявцев А.Н. Современные численные методы сверхзвуковой аэродинамики. ИТПМ СО РАН (<http://www.itam.nsc.ru/users/alex/lectures.html>).

б) дополнительная литература:

1. Пинчуков В. И., Шу Ч.-В. Численные методы высоких порядков для задач аэрогидродинамики. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000.
2. Фомин В. М. и др. Механика – от дискретного к сплошному. Новосибирск: Изд-тво СО РАН, 2008.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

Кудрявцев А.Н. Современные численные методы сверхзвуковой аэродинамики. ИТПМ СО РАН (<http://www.itam.nsc.ru/users/alex/lectures.html>).

Colella P., Puckett E. G. Modern Numerical Methods for Fluid Flow. University of California. (<http://www.rzg.mpg.de/~bds/numerics/cfd-lectures.html>).

Shu C.-W. Essentially Non-Oscillatory and Weighted Essentially Non-Oscillatory Schemes for Hyperbolic Conservation Laws. NASA/CR-97-206253, ICASE Report № 97-65, 1997.

(http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19980007543_1998045663.pdf).

9. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Учебная аудитория, оборудованная всем необходимым для организации учебного процесса: доска, экран, компьютер, мультимедийный проектор.

10. Банк обучающих материалов, рекомендации по организации самостоятельной работы аспирантов

1. Кудрявцев А.Н. Современные численные методы сверхзвуковой аэродинамики. ИТПМ СО РАН (<http://www.itam.nsc.ru/users/alex/lectures.html>).
2. Роуч П. Вычислительная гидродинамика. М.: Мир, 1980.
3. Андерсон Д., Таннехилл Дж., Плетчер Р. Вычислительная гидромеханика и теплообмен. М: Мир, 1990. Т. 1-2.

4. Флетчер К. Вычислительные методы в динамике жидкостей. М.: Мир, 1991. Т. 1-2.
5. LeVeque R. J. Numerical Methods for Conservation Laws. Basel et al. Birkhäuser, 1992.
6. Куликовский А. Г., Погорелов Н. В., Семенов А. Ю. Математические вопросы численного решения гиперболических систем уравнений. М.: Физматлит, 2001.
7. Альтшулер Л. В. Применение ударных волн в физике высоких давлений // УФН. 1965. Т. 85. С. 197–258.
8. Зельдович Я. Б., Райзер Ю. П. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. М.: Наука, 1966.
9. Уилкинс М. Л. Расчет упругопластических течений // Вычислительные методы в гидродинамике / Под ред. Б. Олдера, С. Фернбаха, М. Ротенберга. М.: Мир, 1967. С. 212–263.
10. Физика взрыва / Под ред. К. П. Станюковича. М.: Наука, 1975.
11. Colella P., Puckett E. G. Modern Numerical Methods for Fluid Flow. University of California. (<http://www.rzg.mpg.de/~bds/numerics/cfd-lectures.html>).
12. Shu C.-W. Essentially Non-Oscillatory and Weighted Essentially Non-Oscillatory Schemes for Hyperbolic Conservation Laws. NASA/CR-97-206253, ICASE Report № 97–65, 1997. (http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19980007543_1998045663.pdf).

Программа составлена в соответствии с требованиями следующих нормативных документов:

1. Федеральный закон «Об образовании в Российской Федерации» от 29 декабря 2012 года № 273-ФЗ;
2. Приказ Министерства образования и науки РФ от 19.11.2013 года № 1259 «Об утверждении порядка организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования – программам подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре)»;
3. Федеральные государственные образовательные стандарты высшего образования по направлениям подготовки кадров высшей квалификации: 01.06.01 - "Математика и механика" - приказ Минобрнауки России от 30.07.2014 г. № 866.

Разработчик: профессор, д.ф.м.н.



Маслов А.А.

ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ В РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЕ
за 20__/20__ учебный год

В рабочую программу _____

для специальности _____

вносятся следующие дополнения и/или изменения:

Дополнения и изменения внес _____

(должность, Ф.И.О., подпись)

Рабочая программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры ТПМ Института

«__» _____ 20__ г.

протокол № _____

Заведующий кафедрой ТПМ

(подпись)

(Ф.И.О.)