

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Национальный исследовательский Томский государственный**

**университет**

**Физико-технический факультет**

УТВЕРЖДАЮ

Декан физико-технического ф-та ТГУ  
профессор Э.Р. Шрагер

\_\_\_\_\_ 2016 г.

**Рабочая программа дисциплины**

**Вычислительная гидродинамика**

Наименование магистерской программы

**Макрокинетика горения высокоэнергетических материалов**

Направление подготовки

**16.04.01 – Техническая физика**

Квалификация выпускника

**Магистр**

Томск  
2016

## 1. Код и наименование дисциплины

16.04.01 – техническая физика. Вычислительная гидродинамика.

## 2. Место дисциплины в структуре магистерской программы

Дисциплина «**Вычислительная гидродинамика**» относится к разделу вариативной части подготовки магистров (курсы по выбору студента) по направлению **16.04.01 – Техническая физика**

## 3. Год/годы и семестр/семестры обучения.

1 год обучения, 1-ый семестр

## 4. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия (если есть).

Дисциплина имеет содержательно-методические связи с рядом дисциплин, входящим в Базовую и вариативную части подготовки бакалавров по направлению **16.03.01 – Техническая физика**

Для освоения дисциплины «**Вычислительная гидродинамика**» магистрант должен обладать знаниями и умениями, , включая:

### Знания:

Методов математического моделирования физических процессов,

Основ газовой динамики,

Методов приближённых вычислений

### умение:

- 1 .Определять тип дифференциальных уравнений в частных производных
- 2 Ставить начальные и граничные условия
- 3 Решать системы линейных алгебраических уравнений

**5. Общая трудоемкость дисциплины (модуля) )** составляет 3 зачетных единиц, 108 часов, из которых 34 часа составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (16 часов – занятия лекционного типа, 18 часов – занятия семинарского типа) 74 часа составляет самостоятельная работа обучающегося.

## 6. Формат обучения Очное обучение .

## 7. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (заполняется в соответствии с картами компетенций)

Целями освоения дисциплины (модуля) являются:

- подготовка магистрантов к расчетно-проектной деятельности,
- подготовка к научно-исследовательской деятельности,

Освоение дисциплины «**Вычислительная гидродинамика**», как предшествующей, необходимо для освоения дисциплин, обеспечивающих профессиональные компетенции **ПК-2** (готовность использовать фундаментальные научные знания в качестве основы инженерной деятельности) и **ПК-8** (способность осваивать и использовать передовой технический опыт при определении и формализации задач, проведении расчетов,

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

### Знать: .

- основные термины, определения, понятия, необходимые для изучения теоретического материала.

- классификацию задач механики сплошной среды, основные условия корректной

постановки задач и основные этапы их решения.

- методы численного решения модельных задач механики сплошной среды.
- теоретические основы проведения газодинамических расчетов при проектировании конструкций,

**Уметь:**

. Определять тип и аппроксимировать дифференциальное уравнение в частных производных конечно-разностной схемой требуемого порядка точности.

Определять сходимость разностной схемы и вносимые ею погрешности в решение дифференциального уравнения.

Решать модельные задачи механики сплошной среды.

**Владеть методами:**

1. Построения разностных схем для модельных уравнений и уравнений газовой динамики.
2. Методами численной реализации разработанных методик.
3. Методами интерпретации и анализа получаемых решений.
4. Методом вычислительного эксперимента

**Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (модуля) «Вычислительная гидродинамика».**

способностью критически анализировать современные проблемы технической физики, ставить задачи и разрабатывать программу исследования, выбирать адекватные способы и методы решения экспериментальных и теоретических задач, интерпретировать, представлять и применять полученные результаты (ПК-5);

готовностью решать прикладные инженерно-технические и технико-экономические задачи с помощью пакетов прикладных программ для решения задач макрокинетики высокоэнергетических материалов (СПК-2).

Формируемые компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)
ПК-5- III уровень Способность критически анализировать современные проблемы технической физики, ставить задачи и разрабатывать программу исследования, выбирать адекватные способы и методы решения экспериментальных и теоретических задач, интерпретировать, представлять и применять полученные результаты ;	Знать: методы численного решения модельных задач механики сплошной среды. З (ПК-5) –III Уметь: Определять тип и аппроксимировать дифференциальное уравнение в частных производных конечно-разностной схемой требуемого порядка точности. Определять сходимость разностной схемы и вносимые ею погрешности в решение дифференциального уравнения. У (ПК-5) –III Владеть методами: Построения разностных схем для модельных уравнений и уравнений газовой динамики. Численной реализации разработанных методик. В (ПК-5) –III
СПК-2, III уровень готовностью решать прикладные инженерно-технические и технико-	Знать: теоретические основы проведения газодинамических расчетов при проектировании конструкций, решения

экономические задачи с помощью пакетов прикладных программ для решения задач макрокинетики высокоэнергетических материалов	задач макрокинетики. 3 (СПК-2) –III Уметь: Решать модельные задачи механики сплошной среды. У (СПК-2) –III  Владеть: Методами интерпретации и анализа получаемых решений. Методом вычислительного эксперимента. В (СПК-2) –III
--	---

### 8. Содержание дисциплины (модуля) и структура учебных видов деятельности

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Семинары	Лабораторные	Самостоятельная	
1	Основные понятия теории разностных схем..	1	1	2			3	Опрос-беседа
2	Основные приёмы построения разностных схем.	1	2-3	2			8	Разбор приёмов на конкретных примерах
3	Методы исследования устойчивости разностных схем.	1	4-5	2	2		6	Коллоквиум по 3-ём темам
4	Разностные схемы для расчета обобщенных решений.	1	6-7	2		2	6	Контрольная работа
5	Методы расчёта течений без ударных волн,	1	8-11	2	2	4	12	Реферат
6	Двухшаговые схемы типа Лакса-Вендроффа для нестационарных уравнений газовой динамики.	1	12-14	2	2	2	9	Отчёт по индивидуальной работе
7	Метод Годунова для решения задач газовой динамики.	1	15-17	2		4	9	Отчёт по индивидуальной работе:
8	Методы расщепления.	1	18	2			3	
9	Промежуточная аттестация	1					18	<b>Экзамен</b>
	Всего часов			16	6	12	74	

## Содержание дисциплины

**Введение.** Понятие численного моделирования течений жидкости и газа. Область вычислительной гидродинамики. Понятие вычислительного эксперимента.

**Тема 1.** Основные понятия теории разностных схем.

Понятие разностной схемы для уравнения с частными производными. Определение сходимости, аппроксимации, устойчивости разностных схем, простейшие приемы аппроксимации

**Тема 2** Основные приёмы построения разностных схем.

Метод неопределенных коэффициентов. Построение схем предиктор-корректор. Интегральный метод. Метод контрольного объема. Конструирование граничных условий при построении разностных схем.

**Тема 3.** Методы исследования устойчивости разностных схем.

Принцип максимума для разностных схем.

Условие Куранта – Фридрихса – Леви сходимости разностной схемы.

Спектральный анализ разностной задачи Коши. Необходимое спектральное условие устойчивости. Принцип замороженных коэффициентов. .

**Тема 4.** Разностные схемы для расчета обобщенных решений

Механизм возникновения разрывов. Определение обобщенного решения.

Дивергентные разностные схемы.

Схемы с искусственной вязкостью.

. Понятие схемной диссипации и дисперсии, вносимых в решение разностной схемой.

**Тема 5.** Методы расчёта течений без ударных волн,

Явные схемы бегущего счёта.

Неявные схемы бегущего счёта.

Метод характеристик-слоями Годунова.

**Тема 6** Двухшаговые схемы типа Лакса-Вендроффа для нестационарных уравнений газовой динамики.

Схемы с явной искусственной вязкостью.

**Тема 7.** Метод Годунова для решения задач газовой динамики.

Построение и анализ разностной схемы для уравнений акустики.

Задача о распаде произвольного разрыва для одномерной газовой динамики.

Построение и анализ разностной схемы Годунова для одномерных задач газовой динамики.

**Тема 8.** Методы расщепления.

Понятие расщепления по физическим параметрам и расщепления по координатам. Метод дробных шагов. Метод факторизации.

При реализации учебной работы используются следующие образовательные технологии:

1. Технология исследовательского обучения.
2. Модульная образовательная технология.
3. Технология развития критического мышления.
4. Информационная образовательная технология.

**Виды самостоятельной работы и отчетов по ним.**

№ п/п	Вид самостоятельной работы	Трудоемкость (в часах)	Вид отчетности	Тип отчета	Период выполнения отчета (неделч семестра)
1	Выполнение индивидуальных заданий по теме <b>основные приёмы построения разностных схем.</b>	6	Отчет	письм., устно	2-3
2	Выполнение индивидуальных заданий по теме <b>методы исследования устойчивости разностных схем</b>	12	Отчет	письм., устно	4-7
3	Работа с учебно-методической литературой по дисциплине	18	Коллоквиум,	устно, письм.	1-18
4	Выполнение индивидуальных лабораторных заданий	20	Отчеты по лабораторным работам	письм., доклады на семинарах	9-17
5	Подготовка к экзамену	18		письм., устно	
	Всего часов	74			

**9. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю) и методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модулю).**

**Тематика самостоятельной работы.**

**1. Основные приёмы построения разностных схем.**

1 Построить методом неопределённых коэффициентов разностные схемы для аппроксимации уравнений переноса .

2 Построить разностные схемы предиктор- корректор для аппроксимации уравнений переноса .

3. Построить интегральным методом разностные схемы для аппроксимации уравнений переноса .

4 Построить дивергентные разностные схемы для аппроксимации квазилинейных уравнений переноса .

**2. Методы исследования устойчивости разностных схем**

1. Исследовать устойчивость разностных схем по КФЛ.
2. Исследовать устойчивость разностных схем с помощью спектрального метода

### 3 Провести исследования модифицированных уравнений для распространённых разностных схем

**Индивидуальная работа №1:** Разработка методик решения модельных уравнения по заданным разностным схемам

1. Выбор и анализ параметров схемы.
2. Разработка численной методики.
3. Составление рабочей программы для ЭВМ.
4. Анализ результатов.
5. Подготовка и представление отчёта.

**Индивидуальная работа № 2:** Разработка методик решения уравнений газовой динамики по заданным разностным схемам.

1. Выбор и анализ параметров схемы.
2. Разработка численной методики.
3. Составление рабочей программы для ЭВМ.
4. Проведение численных экспериментов по разработанной методике
5. Подготовка и представление отчёта.

### **10. Форма промежуточной аттестации и фонд оценочных средств, включающий:**

- Перечень компетенций выпускников образовательной программы, в формировании которых участвует дисциплина (модуль), и их карты

способностью критически анализировать современные проблемы технической физики, ставить задачи и разрабатывать программу исследования, выбирать адекватные способы и методы решения экспериментальных и теоретических задач, интерпретировать, представлять и применять полученные результаты (ПК-5);

готовностью решать прикладные инженерно-технические и технико-экономические задачи с помощью пакетов прикладных программ для решения задач макрокинетики высокоэнергетических материалов (СПК-2).

## КАРТА КОМПЕТЕНЦИИ

КОМПЕТЕНЦИЯ: ПК-5. Способностью критически анализировать современные проблемы технической физики, ставить задачи и разрабатывать программу исследования, выбирать адекватные способы и методы решения экспериментальных и теоретических задач, интерпретировать, представлять и применять полученные результаты

### ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОМПЕТЕНЦИИ

– профессиональная компетенция выпускника образовательной программы по направлению подготовки высшего образования Техническая физика, уровень Магистратура

Для освоения компетенции обучающийся должен знать теорию обыкновенных дифференциальных уравнений, методы математической физики, численные методы решения задач тепло- и массопереноса, процессы теплопередачи в технических устройствах, методы параллельных вычислений, пакеты прикладных программ

### ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИИ И КРИТЕРИИ ИХ ОЦЕНИВАНИЯ

Уровень освоения компетенции*	Планируемые результаты обучения** (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения				
		1	2	3	4	5
ПК-5- III уровень	<b>Владеть</b> методами: Построения разностных схем для модельных уравнений и уравнений газовой динамики. Численной реализации разработанных методик. В (ПК-5) –III.	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение навыков	В целом успешное, но не систематическое применение навыков	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков	Успешное и систематическое применение навыков
	<b>Уметь:</b> Определять тип и аппроксимировать дифференциальное уравнение в частных производных конечно-разностной схемой требуемого порядка точности. Определять сходимость разностной схемы и вносимые ею погрешности в решение дифференциального уравнения. У (ПК-5) –III.	Отсутствие умений	Частично освоенное умение	В целом успешно, но не систематическое	В целом успешные, но содержащие отдельные пробелы	Сформированное умение
	<b>Знать:</b> методы численного решения модельных задач механики сплошной среды. З (ПК-5) –III.	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение навыков	В целом успешное, но не систематическое применение навыков	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков	Успешное и систематическое применение навыков

## КАРТА КОМПЕТЕНЦИИ

КОМПЕТЕНЦИЯ: СПК-2. Готовностью решать прикладные инженерно-технические и технико-экономические задачи с помощью пакетов прикладных программ для решения задач макрокинетики высокоэнергетических материалов

### ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОМПЕТЕНЦИИ

– профессиональная компетенция выпускника образовательной программы по направлению подготовки высшего образования Техническая физика, уровень Магистратура

Для освоения компетенции обучающийся должен знать теорию обыкновенных дифференциальных уравнений, методы математической физики, численные методы решения задач тепло- и массопереноса, процессы теплопередачи в технических устройствах, методы параллельных вычислений, пакеты прикладных программ

### ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИИ И КРИТЕРИИ ИХ ОЦЕНИВАНИЯ

Уровень освоения компетенции*	Планируемые результаты обучения** (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения				
		1	2	3	4	5
СПК-2, III уровень	Владеть: Методами интерпретации и анализа получаемых решений. Методом вычислительного эксперимента. В (СПК-2) –III	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение навыков	В целом успешное, но не систематическое применение навыков	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков	Успешное и систематическое применение навыков
	Уметь: Решать модельные задачи механики сплошной среды. У (СПК-2) –III	Отсутствие умений	Частично освоенное умение	В целом успешно, но не систематическое	В целом успешные, но содержащие отдельные пробелы	Сформированное умение
	Знать: теоретические основы проведения газодинамических расчетов при проектировании конструкций, решения задач макрокинетики. З (СПК-2) –III	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение навыков	В целом успешное, но не систематическое применение навыков	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков	Успешное и систематическое применение навыков

- Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих этапы формирования компетенций
- При изучении дисциплины «**Вычислительная гидродинамика**» предусматриваются следующие виды контроля:

1. Текущий.
2. Рубежный.
3. Итоговый.

#### • Текущий контроль

- Текущий контроль проводится в течении каждого лекционного или практического занятия путем опроса 4-5 студентов по материалам предыдущих лекций, связанных с изучением нового материала или освоением практического материала. Цель текущего контроля - выработка у студентов мотивации к самостоятельной работе по освоению дисциплины.

#### • Рубежный контроль

- Рубежный контроль проводится два раза в семестр путем выполнения индивидуальной работы в компьютерном классе. Цель рубежного контроля - проверка усвоения студентами теоретической части и навыков в выполнении самостоятельных работ, предусмотренных рабочей программой.

#### **Итоговый контроль**

Итоговый контроль проводится после завершения обучения студентами дисциплины «Итоговый контроль» в форме зачета. Цель итогового контроля - проверка знаний студента по всему изученному материалу, пониманию взаимосвязей различных его разделов друг с другом, связей его с другими дисциплинами.

В процессе экзаменационной проверки конкретные достижения результатов, предусмотренных разделом «Цели преподавания дисциплины» данной рабочей программы и образовательным стандартом.

Итоговый контроль предусматривает ответы на два вопроса из разных разделов теоретического материала и доклада по индивидуальным задачам.

#### **Контрольные вопросы аттестации**

1. Понятие сходимости разностной схемы
2. Определение аппроксимации разностной схемы.
3. Определение устойчивости разностной схемы.
4. Метод неопределенных коэффициентов построения разностных схем.
5. Метод контрольного объема построения разностных схем.
6. Интегральный метод построения разностных схем
7. Аппроксимация граничных условий.
8. Повышение порядка аппроксимации с использованием уравнения процесса.
9. Условие устойчивости Куранта-Фридрихса –Леви.
10. Метод Неймана определения устойчивости разностной схемы..
11. Понятие диссипации и дисперсии, вносимых в решение разностной схемой.
12. Разностные схемы первого порядка уравнения переноса.
13. Схема Лакса уравнения переноса.
14. Метод Лакса-Вендроффа уравнения переноса.
15. Простой неявный метод одномерного уравнения теплопроводности

16. Метод Кранка-Николсона одномерного уравнения теплопроводности
17. Явные схемы бегущего счёта для уравнений газовой динамики.
18. Явные схемы бегущего счёта для уравнений газовой динамики.
19. Схема Годунова расчёта центрированных волн разрежения.
20. Классическая схема Лакса-Вендроффа для уравнений газовой динамики.
21. Двухшаговые схемы 2-го порядка точности для уравнений газовой динамики
22. Схемы с искусственной вязкостью.
23. Метод Годунова для уравнений акустики.
24. Метод Годунова для уравнений газовой динамики
25. Метод дробных шагов

### **Подготовка рефератов по предлагаемым темам:**

Отчёт по индивидуальной работе №1: Разработка методики решения модельного уравнения по заданной разностной схеме.

Отчёт по индивидуальной работе № 2: Разработка методики решения уравнений газовой динамики

### **10. Форма промежуточной аттестации и фонд оценочных средств, включающий:**

- Перечень компетенций выпускников образовательной программы, в формировании которых участвует дисциплина (модуль), и их карты (*карты компетенций приводятся целиком вместе с критериями оценивания*).
- Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих этапы формирования компетенций (*знания, умения, навыки и (или) опыт деятельности*) должны соответствовать указанным в п. 6 настоящего документа и соответствовать картам компетенций)
- Методические материалы, определяющие процедуры оценивания результатов обучения.  
На основе содержания курса, по каждому из разделов сформулированы вопросы, обсуждаемые в ходе работы с преподавателем. Круг вопросов может выходить за рамки содержания данной дисциплины и касается изложения курсов, перечисленных в разделе 8 настоящей программы. Уровень подготовки обучающегося и его оценка выявляются в результате собеседований. Самостоятельная работа студентов опирается на ряд учебных пособий. В основе итоговой оценки лежит качество освоения разделов дисциплины с учётом степени активности каждого слушателя в ходе проведения семинаров и лабораторных работ.

### **11. Ресурсное обеспечение:**

а) основная литература:

1. Миньков Л.Л., Шрагер Э.Р. Компьютерное моделирование нестационарных газодинамических процессов. Томск, Электронное учебное пособие. 2009г.
2. Федоренко Р.П. Введение в вычислительную физику. – Долгопрудный: Издательский дом «Интеллект». 2008. 504 с.
3. Самарский А.А., Вабищевич П.Н. Аддитивные схемы для задач математической физики. М.: Наука. 2001. 319 с.
4. Абакумов М.В., Гулин А.В. Лекции по численным методам математической физики. Учебное пособие. Инфра-М. 2016. 158 с.

#### **Дополнительная литература**

1. У.Г. Пирумов, Г.С. Росляков. Численные методы газовой динамики. – М.: Высшая школа, 1987.
2. А.А. Самарский. Введение в теорию разностных схем. – М.: Наука, 1971.

3. Рождественский Б.Л., Яненко Н.Н. Системы квазилинейных уравнений и их приложения к газовой динамике М. Наука ,1978. 668с.

4. Флетчер. К. Вычислительные методы в динамике жидкостей. – М.: Мир, 1 – 2 т., 1991.

5. П.Роуч. Вычислительная гидродинамика М.: Мир. 1980.

6. Численное решение многомерных задач газовой динамики под ред. Годунова С.К. изд-во «Наука» Москва 1976г.

7. Д.Андерсон, Дж. Таннеилл, Р. Плетчер. Вычислительная гидромеханика и теплообмен. – М.: Мир, 1,2.тт., 1990г.. - 328 с.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

- Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет.
- <http://www.lib.tsu.ru/> – Научная библиотека ТГУ
- <http://e.lanbook.com/> – Электронно-библиотечная система издательства «Лань»
- <http://www.diss.rsl.ru/> – Электронная библиотека диссертаций РГБ
- <http://elibrary.ru/> – Научная электронная библиотека
  
- Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса, включая программное обеспечение, информационные справочные системы (при необходимости).

При выполнении лабораторных работ используется лицензионное ПО: транслятор Pascal, Fortran, средства графической обработки данных Grapher 8.

- Описание материально-технической базы.

Курс обеспечен наличием на факультете компьютерных классов, доступом в сеть Интернет, наличием в библиотеке ТГУ достаточного количества учебников и учебных пособий. Все виды информационных ресурсов Научной библиотеки ТГУ. Информационные источники сети Интернет. Лабораторные работы выполняются на ПК компьютерных классов и на супер компьютере СКИФ.

## **12. Язык преподавания.**

Русский

## **13. Преподаватель (преподаватели).**

Автор \_\_\_\_\_ Э.Р.Шрагер

Рецензент (ы) \_\_\_\_\_

Программа одобрена на заседании Ученого совета физико-технического факультета ТГУ от 21 апреля 2016 года, протокол № 44.