

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова  
Филиал Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова  
в городе Сарове

УТВЕРЖДАЮ

Директор филиала МГУ в городе  
Сарове



/В.В. Воеводин/

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Наименование дисциплины:**

**«Вычислительная гидродинамика»**

---

**Уровень высшего образования:**

**магистратура**

---

**Направление подготовки / специальность:**

**02.04.02 "Фундаментальная информатика и информационные технологии" (3++)**

---

**Направленность (профиль)/специализация ОПОП:**

**Суперкомпьютерные технологии и фундаментальная информатика**

---

**Форма обучения:**

**очная**

---

Саров 2022

Рабочая программа дисциплины (модуля) разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки 02.04.02 "Фундаментальная информатика и информационные технологии" программы магистратуры - приказ МГУ 30 августа 2019 года № 1054 (в редакции приказа МГУ от 11 сентября 2019 года № 1109)

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

### 1. НАИМЕНОВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Вычислительная гидродинамика

### 2. УРОВЕНЬ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

Подготовка научно-педагогических кадров в магистратуре.

### 3. НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ, НАПРАВЛЕННОСТЬ (ПРОФИЛЬ) ПОДГОТОВКИ

Направление 02.04.02 "Фундаментальная информатика и информационные технологии".

Направленность (профиль) «Суперкомпьютерные технологии и фундаментальная информатика».

### 4. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОСНОВНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина входит в обязательную часть магистерской образовательной программы «Суперкомпьютерные технологии и фундаментальная информатика», изучается в 1-м семестре.

### 5. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ

Дисциплина участвует в формировании следующих компетенций образовательной программы:

Формируемые компетенции	Планируемые результаты обучения
УК-1. Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, выработать стратегию действий, формулировать научно-обоснованные гипотезы, применять методологию научного познания в профессиональной деятельности.	<b>Знать</b> историю развития прикладной математики и информатики, особенности возникновения и развития основных методов, понятий, идей, научных теорий в прикладной математике и информатике; методы критического анализа проблемных ситуаций в области прикладной математики и информатики; методологию научного познания. <b>Уметь</b>

	<p>Критически анализировать проблемные ситуации в области прикладной математики и информатики на основе системного подхода</p> <p><b>Владеть</b> Способен формулировать научно-обоснованные гипотезы в профессиональной области.</p>
<p>ОПК-1. Способен находить, формулировать и решать актуальные проблемы в области прикладной математики, фундаментальной информатики и информационно-коммуникационных технологий.</p>	<p><b>Знать:</b> Актуальные проблемы современной прикладной математики и информатики;</p> <p><b>Уметь:</b> анализировать источники информации для поиска новых актуальных проблем и способов их решения;</p> <p><b>Владеть:</b> навыками применения передовых технологий для решения задач прикладной математики и информатики.</p>
<p>ПК-1. Способен в рамках задачи, поставленной специалистом более высокой квалификации, определять теоретическую основу и методологию исследования, разрабатывать план исследования в области информатики и информационно-коммуникационных технологий.</p>	<p><b>Знать:</b> Компьютерные технологии, математический аппарат, вычислительные методы для проведения математического моделирования и обработки данных; типовые методики проведения исследования в области информатики и информационно-коммуникационных технологий; современные методы построения и исследования вычислительных алгоритмов для решения основных классов задач, возникающих в современной науке и технике.</p> <p><b>Уметь:</b> Создавать математические модели реальных явлений и процессов; разрабатывать план исследования математических моделей реальных явлений и процессов; анализировать вычислительные алгоритмы, определять область их применимости; оценивать новизну вычислительных алгоритмов</p> <p><b>Владеть:</b> Способность разрабатывать план исследования в области информатики и информационно-коммуникационных технологий; методами построения и исследования вычислительных алгоритмов для решения основных классов задач, возникающих в современной науке и технике.</p>
<p>МПК-1 Способность понимать и применять в исследовательской и прикладной деятельности современные суперкомпьютерные технологии, математический аппарат, вычислительные методы для проведения крупномасштабного математического моделирования и обработки данных на современных высокопроизводительных вычисли-</p>	<p><b>Знать:</b> компьютерные технологии, математический аппарат, вычислительные методы для проведения крупномасштабного математического моделирования и обработки данных на современных высокопроизводительных вычислительных системах.</p> <p><b>Уметь:</b></p>

<p>тельных системах.</p>	<p>применять в исследовательской и прикладной деятельности современные компьютерные технологии, математический аппарат, вычислительные методы для проведения крупномасштабного математического моделирования и обработки данных на современных высокопроизводительных вычислительных системах;</p> <p><b>Владеть:</b>  навыками разработки программ для проведения крупномасштабного математического моделирования и обработки данных на современных высокопроизводительных вычислительных системах.</p>
--------------------------	--

## 6. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Объем дисциплины составляет 4 зачетные единицы, всего 144 часов.

72 часов занятий лекционного типа, 72 часа составляет самостоятельная работа учащегося.

## 7. ВХОДНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Учащиеся должны владеть знаниями по математическому анализу, линейной алгебре, уравнениям математической физики, численным методам.

## 8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Лекционно-семинарская система обучения с использованием информационно-коммуникативных технологий.

## 9. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

В курсе лекций рассматриваются вопросы построения и исследования разностных алгоритмов решения задач вычислительной гидродинамики. Основное внимание уделяется базовым методам построения эффективных разностных схем в лагранжевых, смешанных эйлерово лагранжевых и эйлеровых переменных –вариационному методу на основе принципа наименьшего действия Гамильтона-Якоби, методу опорных операторов, методу обратной характеристики, консервативному сеточно-характеристическому подходу.

В качестве примеров анализируются различные алгоритмы решения уравнений конвекции – диффузии, Эйлера, мелкой воды, динамической теории упругости.

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего (часы)	В том числе							
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы					Самостоятельная работа учащегося, часы		
		из них					из них		
Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Учебные занятия, направленные на проведение текущего контроля успеваемости: коллоквиумы, практические контрольные занятия и др.	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п..	Всего	
<p><b>Тема 1. Вариационно-разностные схемы газовой динамики в лагранжевых переменных.</b></p> <p>Вариационный принцип Гамльтона -Якоби  Аппроксимация функционала действия и вариационных связей.  Свойства вариационно-разностных схем.</p>	<b>24</b>	9	-	1	1	<b>11</b>	1	12	<b>13</b>

<p><b>Тема 2. Метод опорных операторов</b>  Аппроксимация оператора дивергенции. Метод локально гладких отображений. Сопряженный разностный оператор. Аппроксимация объемов и площадей граней ячеек расчетных сеток. Определение нормалей к граням трехмерных расчетных ячеек. Аппроксимация уравнения теплопроводности на косоугольных расчетных сетках, метод переменных направлений.</p>	31	13	-	1	1	2	17	2	12	14
<p><b>Тема 3 Системы законов сохранения гиперболического типа.</b>  Общий вид законов со-</p>			-							

<p>хранения в механике сплошных сред. Условие гиперболичности, характеристическая форма уравнений в одномерном и многомерном случаях. Римановы инварианты. Внутренние локальные мажоранты. Разрывные решения, задача Римана. Уравнения мелкой воды, газовой динамики и теории упругости.</p>	21	8		1	1		10	1	10	11
<p><b>Тема 4. Разностные схемы для систем законов сохранения гиперболического типа.</b> Разностные схемы для линейного уравнения переноса, метод обратной характеристики, амплитудные и фазовые ошибки. Метод характеристик для одномерных уравнений мелкой воды. Схема Годунова. Балансно-</p>	<b>58</b>	24		2	2	2	<b>30</b>	4	24	<b>28</b>



характеристические разностные схемы. Схема КАБАРЕ.										
Экзамен	<b>10</b>	4					<b>4</b>		6	<b>6</b>
<b>Итого</b>	<b>144</b>						<b>72</b>			<b>72</b>

#### **10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ УЧАЩИХСЯ**

Самостоятельная работа учащихся состоит в изучении лекционного материала, учебно-методической литературы, подготовки к практическим заданиям текущего контроля, промежуточной аттестации, экзамену.

#### **11. РЕСУРСНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ**

##### **Основная учебно-методическая литература**

1. Самарский А.А., Попов Ю.П. Разностные методы решения задач газовой динамики. М. Наука, 1992г., 424 стр.
2. Самарский А.А., Колдоба А.В., Повещенко Ю.А., Тишкин В.Ф., Фаворский А.П. Разностные схемы на нерегулярных сетках. - Минск, 1996г., 274 стр.
3. Головизнин В.М., Соловьев А.В. Дисперсионные и диссипативные характеристики разностных схем для уравнений в частных производных гиперболического типа. М., МаксПресс, 2018г. 200 стр.
4. Головизнин В.М. Зайцев М.А., Карабасов С.А., Короткин И.А. Новые алгоритмы вычислительной гидродинамики для многопроцессорных вычислительных систем. Издательство Московского Университета, 2013г., 472 стр.

5. Куликовский А.Г., Погорелов Н.Г., Семенов А.Ю. Математические вопросы численного решения гиперболических систем уравнений. М. ФИЗМАТЛИТ, 2001, 608 стр.

6. Роуч П. Вычислительная гидродинамика. Мир. 1980г., 618 стр.

### **Дополнительная учебно-методическая литература**

1. Серин Д. Математические основы классической механики жидкости -
2. Федоренко Р.П. Введение в вычислительную физику. - Москва. Изд. Московского физико-технического института. 1994, 526 с.

### **Перечень программного обеспечения**

1. Программный продукт Red Hat Enterprise Linux Server for HPC Compute Node for Power, LE, Self-support
2. Программный продукт Red Hat Enterprise Linux Server for HPC Head Node for Power, LE, Standard
3. Операционная система SUSE Linux Enterprise Server 11 SP4 for x86\_64
4. Операционная система Red Hat Enterprise Linux Server 5.0 for x86\_64
5. Операционная система SUSE Linux Enterprise Server 10 SP3 for ppc64
6. Операционная система Ubuntu 18.04.
7. Программное обеспечение для виртуализации Oracle VM VirtualBox
8. Операционная система ALT Linux MATE Starterkit 9 лицензия GPL
9. Программный продукт JetBrains IntelliJ IDEA Community Edition Free Educational Licenses
10. Программный продукт JetBrains PyCharm Community Edition Free Educational Licenses
11. Программный продукт JetBrains CLion Community Edition Free Educational Licenses
12. Программный продукт UPPAAL (<http://www.uppaal.org/>) академическая лицензия
13. Программный продукт Java 8 (64-bit) Oracle Corporation

14. Программный продукт Java SE Development Kit 8(64-bit) Oracle Corporation
15. Программный продукт NetBeans IDE 8.2 NetBeans.org
16. Программный продукт Dev-C++ Bloodshed Software
17. Программный продукт CodeBlocks The Code::Blocks Team
18. Программный продукт Free Pascal 3.0.0 Free Pascal Team
19. Программный продукт Python 3.5.1 (64-bit) Python Software Foundation
20. Программный продукт R for Windows 3.2.2 R Core Team
21. Программный продукт Haskell Platform 7.10.3 Haskell.org
22. Операционная система Microsoft Windows 7 корпоративная академическая лицензия
23. Операционная система Microsoft Windows 10 Education академическая лицензия
24. Программный продукт Microsoft Project Professional 2013 академическая лицензия
25. Программный продукт Microsoft Visio Professional 2013 академическая лицензия
26. Программный продукт Microsoft Visual Studio Professional 2013 - RUS [Русский (Россия)] академическая лицензия

### **Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем**

1. <http://www.edu.ru> – портал Министерства образования и науки РФ
2. <http://www.ict.edu.ru> – система федеральных образовательных порталов «ИКТ в образовании»
3. <http://www.openet.ru> - Российский портал открытого образования
4. <http://www.mon.gov.ru> - Министерство образования и науки Российской Федерации
5. <http://www.fasi.gov.ru> - Федеральное агентство по науке и инновациям

### **Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»**

1. Math-Net.Ru [Электронный ресурс] : общероссийский математический портал / Математический институт им. В. А. Стеклова РАН ; Российская академия наук, Отделение математических наук. - М. : [б. и.], 2010. - Загл. с титул. экрана. - Б. ц.

URL: <http://www.mathnet.ru>

2. Университетская библиотека Online [Электронный ресурс] : электронная библиотечная система / ООО "Директ-Медиа" . - М. : [б. и.], 2001. - Загл. с титул. экрана. - Б. ц. URL: [www.biblioclub.ru](http://www.biblioclub.ru)

3. Универсальные базы данных EastView [Электронный ресурс] : информационный ресурс / EastViewInformationServices. - М. : [б. и.], 2012. - Загл. с титул. экрана. - Б. ц.  
URL: [www.ebiblioteka.ru](http://www.ebiblioteka.ru)

4. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU [Электронный ресурс] : информационный портал / ООО "РУ-НЭБ" ; Санкт-Петербургский государственный университет. - М. : [б. и.], 2005. - Загл. с титул. экрана. - Б. ц.  
URL: [www.eLibrary.ru](http://www.eLibrary.ru)

## **МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА**

Для преподавания дисциплины требуется класс, оборудованный интерактивной или меловой доской и средствами интерактивной видеотрансляции.

### **12. ЯЗЫК ПРЕПОДАВАНИЯ**

Русский

### **13. РАЗРАБОТЧИК ПРОГРАММЫ, ПРЕПОДАВАТЕЛИ**

д.ф.- м.н., профессор Головизнин Василий Михайлович

**Оценочные средства для промежуточной аттестации по дисциплине**

**«Численные методы механики сплошных сред»**

Средства для оценивания планируемых результатов обучения, критерии и показатели оценивания приведены ниже.

РЕЗУЛЬТАТ ОБУЧЕНИЯ	КРИТЕРИИ и ПОКАЗАТЕЛИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТА ОБУЧЕНИЯ из соответствующих карт компетенций					ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА
	1	2	3	4	5	
	<b>Неудовлетворительно</b>	<b>Неудовлетворительно</b>	<b>Удовлетворительно</b>	<b>Хорошо</b>	<b>Отлично</b>	
Способность строить и анализировать разностные методы решения задач математической физики, в том числе многомерные задачи	Отсутствие знаний	Фрагментарное знание содержания курса.	В целом сформированное, но неполное знание всех разделов курса	Сформированное, но содержащие отдельные пробелы знание всех разделов курса	Сформированные систематические знания всех разделов курса.	индивидуальное собеседование
Способность математически формулировать основные задачи математической физики, применять для их решения соответствующие числен-	Отсутствие умений	Отсутствие навыков использования численных методов для решения задач математической физики	В целом сформированное, но не систематическое умение использовать полученные знания для решения конкретных задач	Активное владение основами курса. Умение применять полученные знания для решения конкретных задач.	Активное владение всем материалом курса. Умение применять полученные знания для решения конкретных задач.	Практическое контрольное задание

ные методы						
Способность получить и грамотно изложить собственные научные результаты	Отсутствие навыков	Отсутствие умения четко излагать смысл математических утверждений.	Приобретённое в целом умение излагать содержание математических утверждений, но отсутствующая при этом четкость и грамотность.	Умение грамотно излагать содержание курса, методы решения задач и полученные результаты . Недостаточная четкость изложения.	Умение четко и грамотно излагать содержание курса, методы решения задач и полученные результаты .	индивидуальное собеседование

### Фонды оценочных средств

#### Список вопросов для индивидуального собеседования на аттестации.

1. Вариационный принцип Гамльтона -Якоби
2. Аппроксимация функционала действия и вариационных связей.
3. Основные свойства вариационно - разностных схем.
4. Аппроксимация оператора дивергенции.
5. Метод локально гладких отображений. Сопряженный разностный оператор.
6. Аппроксимация объемов и площадей граней ячеек расчетных сеток. Определение нормалей к граням трехмерных расчетных ячеек.
7. Аппроксимация уравнения теплопроводности на косоугольных расчетных сетках
8. Метод переменных направлений.
9. Общий вид законов сохранения в механике сплошных сред.

10. Условие гиперболичности, характеристическая форма систем гиперболических уравнений в одномерном и многомерном случаях.
11. Инварианты Римана и их свойства. Локальные мажоранты.
12. Разрывные решения, распад произвольного разрыва (задача Римана)
13. Уравнения мелкой воды, газовой динамики и теории упругости.
14. Построение основных разностных схем для линейного уравнения переноса
15. Метод обратной характеристики, амплитудные и фазовые ошибки.
16. Метод характеристик для решения одномерных уравнений мелкой воды.
17. Схема Годунова ее построение и основные характеристики
18. Балансно-характеристические разностные схемы.
19. Схема КАБАРЕ.