

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

**УТВЕРЖДЕНО**

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

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Вычислительная геофизическая гидродинамика
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Фундаментальная и прикладная физика природных систем Физтех-школа Аэрокосмических Технологий кафедра термогидромеханики океана
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

1 (осенний) - Зачет

2 (весенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 90 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 60 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 45 час.

Всего часов: 135, всего зач. ед.: 3

Программу составил: Р.А. Ибраев, д-р физ.-мат. наук, старший научный сотрудник

Программа обсуждена на заседании кафедры термогидромеханики океана 22.03.2022

## Аннотация

Курс занятий по предмету «Вычислительная геофизическая гидродинамика» имеет целью формирование базовых знаний по вычислительной геофизической гидродинамике для использования в областях и дисциплинах естественнонаучного профиля, формирование исследовательских навыков и способности применять знания на практике. Задачами курса является, во-первых, формирование у студентов способностей самостоятельно формулировать простые задачи геофизической гидродинамики в применении к океану и атмосфере инструментами вычислительной гидродинамики, применение эффективных вычислительных методов, написание программ на языке fortran, получение решения в виде графиков. Во-вторых, понимание базовых принципов построения моделей региональной и глобальной динамики океана и атмосферы, основанных на полной системе уравнений геофизической гидродинамики. В-третьих, понимание базовых принципов построения совместных моделей Земной системы.

### 1. Цели и задачи

#### Цель дисциплины

- формирование базовых знаний по вычислительной геофизической гидродинамике для использования в областях и дисциплинах естественнонаучного профиля, формирование исследовательских навыков и способности применять знания на практике.

#### Задачи дисциплины

- дать студентам базовые знания в области вычислительной геофизической гидродинамики;
- научить студентов на примерах и задачах применять вычислительные методы для решения задач океанологии, самостоятельно анализировать полученные результаты.

### 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	УК-1.1 Анализирует проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними
	УК-1.2 Осуществляет поиск вариантов решения поставленной проблемной ситуации на основе доступных источников информации
	УК-1.3 Разрабатывает стратегию достижения поставленной цели как последовательность шагов, предвидя результат каждого из них и оценивая их влияние на внешнее окружение планируемой деятельности и на взаимоотношения участников этой деятельности
УК-2 Способен управлять проектом на всех этапах его реализации	УК-2.1 Формулирует в рамках обозначенной проблемы, цель, задачи, актуальность, значимость (научную, практическую, методическую и иную в зависимости от типа проекта), ожидаемые результаты и возможные сферы их применения
	УК-2.2 Способен прогнозировать результат деятельности и планировать последовательность шагов для достижения данного результата. Формирует план-график реализации проекта в целом и план контроля его выполнения
	УК-2.4 Представляет публично результаты проекта (или отдельных его этапов) в форме отчетов, статей, выступлений на научно-практических конференциях, семинарах и т.п.
	ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности

ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.2 Способен оценивать актуальность исследований в области своей профессиональной деятельности и их практическую значимость
	ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

### 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- фундаментальные понятия, законы, теории классической и современной вычислительной геофизической гидродинамики;
- порядки численных величин, характерные для различных разделов геофизической гидродинамики;
- современные проблемы вычислительной геофизической гидродинамики.

уметь:

- пользоваться своими знаниями для решения фундаментальных и прикладных задач и технологических задач;
- делать правильные выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента;
- производить численные оценки по порядку величины;
- видеть в технических задачах физическое содержание;
- осваивать новые предметные области, теоретические подходы и экспериментальные методики;
- получать наилучшие значения измеряемых величин и правильно оценить степень их достоверности;
- эффективно использовать информационные технологии и компьютерную технику для достижения необходимых теоретических и прикладных результатов.

владеть:

- навыками освоения большого объема информации;
- навыками самостоятельной работы;
- культурой постановки и моделирования физических задач;
- навыками грамотной обработки результатов опыта и сопоставления с теоретическими данными;
- практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач.

### 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.

		лекции	семинары	лаборат. работы	работа
1	Вычислительная физика как направление современной науки.	2			3
2	Основные уравнения термогидродинамики океана.	10			4
3	Разностные аппроксимации. Основы сеточного метода. Разностная сетка.	18			8
4	Современные 3-х мерные модели динамики океана основанные на полных уравнениях геофизической гидродинамики.		30		15
5	Модели Мирового океана высокого и сверхвысокого пространственного разрешения. Проблемы. Подходы к решению.		30		15
Итого часов		30	60		45
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		135 час., 3 зач.ед.			

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

##### Семестр: 1 (Осенний)

##### 1. Вычислительная физика как направление современной науки.

Обзор основных понятий и направлений вычислительной физики.

##### 2. Основные уравнения термогидродинамики океана.

Уравнения движения. Уравнение сохранения массы. Балансы скалярных величин, таких, как соленость. Основные процессы гидродинамики.

##### 3. Разностные аппроксимации. Основы сеточного метода. Разностная сетка.

Разностные аппроксимации. Основы сеточного метода. Разностная сетка. Конечно-разностные аппроксимации. Формула Тейлора. Конечно-объемная аппроксимация.

Спектральный метод. Конечные элементы.

Представление непрерывной функции в виде разложения в бесконечный ряд Фурье. Представление дискретной функции в виде разложения в конечный ряд Фурье. Минимальная и максимальная длина волны, представимой на разностной сетке.

Ошибка аппроксимации и порядок точности аппроксимации производной.

Конечно-разностные схемы. Ошибка аппроксимации и порядок точности аппроксимации КРС. Численное решение и ее ошибка. Сходимость. Устойчивость. Методы исследования устойчивости КРС: прямой метод, энергетический метод, метод Неймана.

Схемы интегрирования по времени: двухуровневые и трехуровневые; явные и неявные. Свойства схем на примере уравнения колебания. Вычислительная мода трехуровневой схемы чехарада. Свойства схем на примере уравнения трения.

Уравнение переноса. Разностные схемы второго порядка с центральными разностями по пространству. Вычислительная дисперсия. Схемы с нецентральными пространственными разностями. Двумерное уравнение переноса. Нелинейная неустойчивость.

Уравнение трения.

Уравнения для гравитационных и инерционно-гравитационных волн. Одно- и двумерные гравитационные волны. Пространственное распределение переменных на разностной сетке.

Конечно-разностные схемы для численных моделей динамики океана на основе уравнений Навье-Стокса.

Решение уравнений в переменных вихрь-функция тока или скорость-давление.

Семестр: 2 (Весенний)

4. Современные 3-х мерные модели динамики океана основанные на полных уравнениях геофизической гидродинамики.

Систематизация. Вертикальные координаты. Горизонтальные координаты. Физические и математические приближения. Принстонская океанская модель. Модель Брайена. Модель ИВМ-ИО.

5. Модели Мирового океана высокого и сверхвысокого пространственного разрешения. Проблемы. Подходы к решению.

Основные понятия моделирования на компьютерах с распределенной памятью.

Модели Мирового океана высокого пространственного разрешения.

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

учебная аудитория, оснащенная компьютером и мультимедийным оборудованием (проектор, звуковая система).

#### **6.Перечень рекомендуемой литературы**

Основная литература

1. Динамика атмосферы и океана [Текст]. В 2 т. Т. 1/А. Гилл , -М., Мир, 1986
2. Вычислительные методы в физике [Текст]/Д. Поттер , -М., Мир, 1975
3. Численное моделирование процессов тепло- и массообмена [Текст] / В. М. Пасконов, В. И. Полежаев, Л. А. Чудов - М.Наука,1984
1. Мезингер Ф., А. Аракава. Численные методы, используемые в атмосферных моделях. Ленинград, Изд-во Гидрометеиздат, 1979.

Дополнительная литература

1. Вычислительные методы в задачах механики жидкости [Текст]/Р. Пейре, Томас Д. Тейлор, Computational methods for fluid flow, -Л., Гидрометеиздат, 1986

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

1. <http://lib.mipt.ru/> – электронная библиотека Физтеха
2. <http://www.edu.ru> – федеральный портал «Российское образование».
3. <http://benran.ru> –библиотека по естественным наукам Российской академии наук.

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

Пакеты офисного программного обеспечения Microsoft Office (Word, Excel, PowerPoint), OpenOffice, Работа на ЭВМ в среде LINUX. Программирование на языке FORTRAN.

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

Успешное освоение курса «Вычислительная геофизическая гидродинамика» требует большой самостоятельной работы студента. В программе курса приведено минимально необходимое время для работы студента над темой.

Самостоятельная работа включает в себя:

- ознакомление с актуальной научной литературой;
- решение задач при выполнении домашних заданий;
- чтение рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала (по конспектам лекций, учебной и научной литературе).

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в результате анализа итогов самостоятельных работ, а также индивидуальных консультаций.

Показателем владения материалом служит умение решать задачи. Для формирования умения применять теоретические знания на практике студенту необходимо решать как можно больше задач.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Фундаментальная и прикладная физика природных систем Физтех-школа Аэрокосмических Технологий кафедра термогидромеханики океана
<b>курс:</b>	<u>1</u>
<b>квалификация:</b>	магистр
Семестры, формы промежуточной аттестации:	
1 (осенний) - Зачет	
2 (весенний) - Дифференцированный зачет	
<b>Разработчик:</b>	Р.А. Ибраев, д-р физ.-мат. наук, старший научный сотрудник

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	УК-1.1 Анализирует проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними
	УК-1.2 Осуществляет поиск вариантов решения поставленной проблемной ситуации на основе доступных источников информации
	УК-1.3 Разрабатывает стратегию достижения поставленной цели как последовательность шагов, предвидя результат каждого из них и оценивая их влияние на внешнее окружение планируемой деятельности и на взаимоотношения участников этой деятельности
УК-2 Способен управлять проектом на всех этапах его реализации	УК-2.1 Формулирует в рамках обозначенной проблемы, цель, задачи, актуальность, значимость (научную, практическую, методическую и иную в зависимости от типа проекта), ожидаемые результаты и возможные сферы их применения
	УК-2.2 Способен прогнозировать результат деятельности и планировать последовательность шагов для достижения данного результата. Формирует план-график реализации проекта в целом и план контроля его выполнения
	УК-2.4 Представляет публично результаты проекта (или отдельных его этапов) в форме отчетов, статей, выступлений на научно-практических конференциях, семинарах и т.п.
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ОПК-2.2 Способен оценивать актуальность исследований в области своей профессиональной деятельности и их практическую значимость
	ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Вычислительная геофизическая гидродинамика» обучающийся должен:

**знать:**



- фундаментальные понятия, законы, теории классической и современной вычислительной геофизической гидродинамики;
- порядки численных величин, характерные для различных разделов геофизической гидродинамики;
- современные проблемы вычислительной геофизической гидродинамики.

**уметь:**

- пользоваться своими знаниями для решения фундаментальных и прикладных задач и технологических задач;
- делать правильные выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента;
- производить численные оценки по порядку величины;
- видеть в технических задачах физическое содержание;
- осваивать новые предметные области, теоретические подходы и экспериментальные методики;
- получать наилучшие значения измеряемых величин и правильно оценить степень их достоверности;
- эффективно использовать информационные технологии и компьютерную технику для достижения необходимых теоретических и прикладных результатов.

**владеть:**

- навыками освоения большого объема информации;
- навыками самостоятельной работы;
- культурой постановки и моделирования физических задач;
- навыками грамотной обработки результатов опыта и сопоставления с теоретическими данными;
- практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач.

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

Текущий контроль осуществляется в форме защиты работ на семинарах.

Примерные темы для текущего контроля:

1. Одномерная нестационарная задача диффузии
2. Одномерная нестационарная задача адвекции
3. Двумерная нестационарная задача адвекции

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

Промежуточная аттестация по дисциплине «Вычислительная геофизическая гидродинамика» проводится в форме зачета в 9 семестре и в форме дифференцированного зачета в 10 семестре. Для получения зачёта обучающийся должен выполнить и продемонстрировать вычислительный эксперимент.

Примеры экзаменационных билетов:

Билет № 1

1. Одномерная нестационарная задача диффузии. Задача Дирихле. Решить с применением явной схемы по времени.
2. Одномерная нестационарная задача адвекции. Использовать схему центральные разности по пространству в комбинации с схемой Мацуно (схема Эйлера с пересчетом).

Билет № 2

1. Одномерная нестационарная задача диффузии. Задача Неймана. Решить с применением явной схемы по времени.
2. Одномерная нестационарная задача адвекции. Использовать схему центральные разности по пространству в комбинации с схемой чехарда и схемой Мацуно (схема Эйлера с пересчетом).

### Билет № 3

1. Одномерная нестационарная задача диффузии. Задача Дирихле. Решить с применением неявной схемы по времени.
2. Двумерная нестационарная задача диффузии. Задача Дирихле. Задача Неймана. Явные схемы по времени.

### Билет № 4

1. Одномерная нестационарная задача диффузии. Задача Неймана. Решить с применением неявной схемы по времени.
2. Двумерная нестационарная задача адвекции.

### Билет № 5

1. Одномерная нестационарная задача адвекции. Использовать явную схему по времени (схему Эйлера) и схема разности против потока.
2. Система двумерных уравнений инерционно-гравитационных волн. Выбор сетки.

### Критерии оценивания

оценка «отлично (10)» выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины при ответе экзаменационного билета и ответе на вопросы по программе дисциплины, а также по результатам контрольных, самостоятельных работ и тестов;

оценка «отлично (9)» выставляется студенту, показавшему систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины при ответе экзаменационного билета и ответе на вопросы по программе дисциплины, а также по результатам контрольных, самостоятельных работ и тестов;

оценка «отлично (8)» выставляется студенту, показавшему систематизированные, знания учебной программы дисциплины при ответе экзаменационного билета и ответе на вопросы по программе дисциплины, а также по результатам контрольных, самостоятельных работ и тестов;

оценка «хорошо (7)» выставляется студенту по результатам контрольных, самостоятельных работ и тестов, если он твердо знает материал экзаменационного билета, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности;

оценка «хорошо (6)» выставляется студенту по результатам контрольных, самостоятельных работ и тестов, если он знает материал экзаменационного билета, по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе много неточностей;

оценка «хорошо (5)» выставляется студенту по результатам контрольных, самостоятельных работ и тестов, если он знает материал экзаменационного билета, излагает его, умеет применять полученные знания на практике, не допускает в ответе грубых ошибок;

оценка «удовлетворительно (4)» выставляется студенту по результатам контрольных, самостоятельных работ и тестов, а также, если во время ответа экзаменационного билета он показал фрагментарный, характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, но при этом он владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения;

оценка «удовлетворительно (3)» выставляется студенту по результатам контрольных, самостоятельных работ и тестов, а также, если во время ответа экзаменационного билета он показал разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушение логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации;

оценка «неудовлетворительно (2-1)» выставляется студенту по результатам контрольных, самостоятельных работ и тестов, а также, если во время ответа экзаменационного билета, он показал, что не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных понятий дисциплины и не умеет использовать полученные знания при решении типовых практических задач.

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

Порядок проведения контрольных работ/тестов:

Во время проведения контрольных работ/тестов обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, калькуляторами.

Порядок проведения дифференцированного зачета:

Дифференцированный зачет по вычислительной геофизической гидродинамике выставляется по результатам выполнения вычислительного эксперимента.

Постановка вычислительного эксперимента на ЭВМ включает следующие шаги:

Формулировка задачи в дифференциальных уравнениях.

Конечно-разностная аппроксимация уравнений и граничных условий.

Разностная сетка.

Анализ устойчивости.

Программирование.

Расчет

Вывод результатов в графическом виде.

Рекомендации для работы на компьютере:

Работа на ЭВМ в среде LINUX. Программирование на языке FORTRAN. Ввод - вывод информации. Графическое представление результатов с помощью графических пакетов.

Студенты могут пользоваться другими языками программирования и графическими программами, но в этом случае они сами должны обеспечить их установку на компьютере.