

Министерство образования и науки Российской Федерации

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОГНОЗОВ

Рабочая программа по дисциплине

**ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ФИЗИКА  
(ПРАКТИКУМ НА ЭВМ)**

Основная профессиональная образовательная программа  
высшего образования программы бакалавриата по направлению подготовки

**03.03.02 «Физика»**

Направленность (профиль):

**Физика**

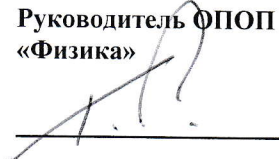
Квалификация:

**Бакалавр**

Форма обучения

**Очная**

Согласовано  
Руководитель ОПОП  
«Физика»



Бобровский А.П.

Утверждаю

Председатель УМС  И.И. Палкин

Рекомендована решением

Учебно-методического совета

19 июля 2018 г., протокол № 4

Рассмотрена и утверждена на заседании кафедры

20 февраля 2018 г., протокол № 7

Зав. кафедрой  Дробжева Я.В.

Авторы-разработчики:

 Погорельцев А.И.

Санкт-Петербург 2018

Составил: А.И. Погорельцев, доктор физ.-мат. наук, профессор кафедры метеорологических прогнозов РГГМУ.

Рецензент: Н.М. Гаврилов, доктор физ.-мат. наук, профессор Санкт-Петербургского государственного университета.

© Погорельцев Александр Иванович, 2018

© Российский государственный гидрометеорологический университет (РГГМУ), 2018 .

## **1. Цели освоения дисциплины**

«Вычислительная физика» (Практикум на ЭВМ) является одной из основных дисциплин базовой части цикла дисциплин, формирующих компетенции бакалавров по направлению подготовки 03.03.02 – Физика.

Цель дисциплины – формирование у студентов комплекса знаний в области практического применения численных методов, вычислительной техники и программных средств как применительно к решению прикладных и теоретических задач физики атмосферы и мониторинга окружающей среды, так и для рассмотрения физических задач более широкого профиля.

Основная задача дисциплины заключается в практическом освоении студентами основных методов и алгоритмов, применяемых для решения задач линейной алгебры, математической физики и гидродинамики атмосферы, а также используемых при обработке данных наблюдений; получении практических навыков работы с важнейшими пакетами прикладных программ, реализующих эти методы и алгоритмы.

Дисциплина изучается студентами, специализирующимися в области физики атмосферы и мониторинга окружающей среды.

## **2. Место дисциплины в структуре ОПОП**

Дисциплина «Вычислительная физика» для направления 03.03.02 – Физика относится к базовой части цикла дисциплин Б1.

Для освоения данной дисциплины, обучающиеся должны освоить разделы дисциплин: «Математика», «Общая физика», «Геофизика», «Физика атмосферы и гидросферы», «Теория колебаний и волн», «Численные методы и математическое моделирование». Дисциплина «Вычислительная физика» является базовой для изучения дисциплин «Математическое моделирование переноса загрязнений в атмосфере», «Математическое моделирование антропогенных воздействий на водные экосистемы» и для написания выпускной квалификационной работы бакалавра.

### **ОСОБЕННОСТИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ ДЛЯ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ**

Обучение обучающихся с ограниченными возможностями здоровья при необходимости осуществляется на основе адаптированной рабочей программы с использованием специальных методов обучения и дидактических материалов, составленных с учетом особенностей психофизического развития, индивидуальных возможностей и состояния здоровья таких обучающихся (обучающегося).

При определении формы проведения занятий с обучающимся-инвалидом учитываются рекомендации, содержащиеся в индивидуальной программе реабилитации инвалида, относительно рекомендованных условий и видов труда.

При необходимости для обучающихся из числа инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья создаются специальные рабочие места с учетом нарушенных функций и ограничений жизнедеятельности.

### 3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций.

<b>Код компетенции</b>	<b>Компетенция</b>
<b>ОПК-2</b>	Способность использовать в профессиональной деятельности базовые знания фундаментальных разделов математики, создавать математические модели типовых профессиональных задач и интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости моделей.
<b>ОПК-5</b>	Способность использовать основные методы, способы и средства получения, хранения, переработки информации и навыки работы с компьютером как со средством управления информацией.
<b>ОПК-9</b>	Способность получить организационно-управленческие навыки при работе в научных группах и других малых коллективах исполнителей.
<b>ПК-2</b>	Способность проводить научные исследования в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта.

В результате освоения компетенций в рамках дисциплины «Методы и средства гидрометеорологических измерений» обучающийся должен:

**знать:**

- особенности машинной арифметики и проблемы, возникающие при численной реализации

методов решения прикладных задач на компьютерах;

- основы программирования и основные элементы языка Фортран;
- методы и принципы построения алгоритмов, применяемые для решения задач линейной алгебры и математической физики;
- численные методы, используемые для решения нестационарных уравнений гидродинамики атмосферы;
- физическую и математическую постановки задачи о распространении в атмосфере внутренних гравитационных волн (ВГВ);
- основы теории возмущений и ее применение для решения задачи о вертикальной структуре ВГВ при наличии фонового потока и диссипации.

**уметь:**

- применять математический аппарат линейной алгебры и математической физики, используемый при разработке методов и построении численных алгоритмов решения прикладных и теоретических задач физики атмосферы;
- использовать стандартные пакеты прикладных программ, разработанные для решения задач линейной алгебры, математической физики и статистической обработки данных наблюдений;
- реализовывать на Фортране методы решения нестационарных задач гидродинамики, исследовать их на устойчивость и использовать методы компьютерной графики для представления результатов расчетов;
- использовать стандартные пакеты прикладных программ, предназначенных для спектральной обработки данных наблюдений.

**владеть:**

- навыками написания прикладных программ для решения прикладных геофизических задач по моделированию и анализу данных спутниковых и наземных измерений с использованием стандартных пакетов программ (SLATEC, IMSL и др.).

Кроме этого, бакалавр **должен иметь представление** о важнейших проблемах физики атмосферы, решение которых возможно только методом математического моделирования и вычислительного эксперимента (моделирование климата и его изменений, долгосрочный прогноз погоды, обработка данных наблюдений - например, радиолокационных данных, изображений со спутников, ассимиляция данных в глобальных моделях общей циркуляции).

Основные признаки освоения формируемых компетенций в результате освоения дисциплины  
«Вычислительная физика» сведены в таблице.

### 1. Соответствие уровней освоения компетенцией планируемым результатам обучения и критериям их оценивания

Этап (уровень) освоения компетенции	Основные признаки освоения компетенцией (описание уровня)				
	1.	2.	3.	4.	5.
минимальный	не владеет	слабо ориентируется в терминологии и содержании	Способен выделить основные идеи текста, работает с критической литературой	Владеет основными навыками работы с источниками и критической литературой	Способен дать собственную критическую оценку изучаемого материала
	не умеет	не выделяет основные идеи	Способен показать основную идею в развитии	Способен представить ключевую проблему в ее связи с другими процессами	Может соотнести основные идеи с современными проблемами
	не знает	допускает грубые ошибки	Знает основные рабочие категории, однако не ориентируется в их специфике	Понимает специфику основных рабочих категорий	Способен выделить характерный авторский подход
базовый	не владеет	плохо ориентируется в терминологии и содержании	Владеет приемами поиска и систематизации, но не способен свободно изложить материал	Свободно излагает материал, однако не демонстрирует навыков сравнения основных идей и концепций	Способен сравнивать концепции, аргументированно излагает материал
	не умеет	выделяет основные идеи, но не видит проблем	Выделяет конкретную проблему, однако излишне упрощает ее	Способен выделить и сравнить концепции, но испытывает сложности с их практической привязкой	Аргументированно проводит сравнение концепций по заданной проблематике
	не знает	допускает много ошибок	Может изложить основные рабочие категории	Знает основные отличия концепций в заданной проблемной области	Способен выделить специфику концепций в заданной проблемной области
продвинутый	не владеет	ориентируется в терминологии и содержании	В общих чертах понимает основную идею, однако плохо связывает ее с существующей проблематикой	Видит источники современных проблем в заданной области анализа, владеет подходами к их решению	Способен грамотно обосновать собственную позицию относительно решения современных проблем в заданной области

	не умеет	выделяет основные идеи, но не видит их в развитии	Может понять практическое назначение основной идеи, но затрудняется выявить ее основания	Выявляет основания заданной области анализа, понимает ее практическую ценность, однако испытывает затруднения в описании сложных объектов анализа	Свободно ориентируется в заданной области анализа. Понимает ее основания и умеет выделить практическое значение заданной области
	не знает	допускает ошибки при выделении рабочей области анализа	Способен изложить основное содержание современных научных идей в рабочей области анализа	Знает основное содержание современных научных идей в рабочей области анализа, способен их сопоставить	Может дать критический анализ современным проблемам в заданной области анализа



#### 4. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы, 72 часа.

Объём дисциплины	Всего часов
	2015, 2016, 2017, 2018 г.г. набора
<b>Общая трудоёмкость дисциплины</b>	<b>72</b>
<b>Контактная работа обучающихся с преподавателям (по видам аудиторных учебных занятий) – всего:</b>	<b>34</b>
в том числе:	
лекции	
практические занятия	
лабораторные занятия	<b>34</b>
<b>Самостоятельная работа (СРС) – всего:</b>	<b>38</b>
в том числе:	
курсовая работа	
контрольная работа	
<b>Вид промежуточной аттестации (зачет/экзамен)</b>	<b>зачет</b>

#### 4.1.Содержание разделов дисциплины

№ п/п	Раздел и тема дисциплины	Семестр	Виды учебной работы, в т.ч. самостоятельная работа студентов, час.	Формы текущего контроля успеваемости	Занятия в активной и интерактивной	Формируемые компетенции
			2015, 2016, 2017, 2018 г.г. набора			

			Лекции	раб.	Самост. работа		форме, час.	
1	Численное решение систем линейных алгебраических уравнений.	7	0	4	4	Опрос перед лабораторной работой. Обсуждение и анализ проделанной работы.	0	ОПК-2 ОПК-5
2	Интерполяция и численное интегрирование.	7	0	4	4	Опрос перед лабораторной работой. Обсуждение и анализ проделанной работы.	2	ОПК-2 ОПК-5
3	Аппроксимация данных наблюдения	7	0	4	4	Опрос перед лабораторной работой. Обсуждение и анализ проделанной работы.	2	ОПК-2 ОПК-5
4	Численные методы решения задачи Коши для ОДУ.	7	0	4	8	Опрос перед лабораторной работой. Обсуждение и анализ проделанной работы.	2	ОПК-2 ОПК-5 ПК-2
5	Численные методы решения граничных задач.	7	0	6	6	Опрос перед лабораторной работой. Обсуждение и анализ проделанной работы.	4	ОПК-2 ОПК-5 ПК-2
6	Численные методы решения нестационарных задач гидродинамики.	7	0	6	6	Опрос перед лабораторной работой. Обсуждение и анализ проделанной работы.	4	ОПК-2 ОПК-5 ПК-2 ОПК-9
7	Анализ экспериментальных данных с	7	0	6	6	Опрос перед лабораторной работой.	4	ОПК-2 ОПК-5

целью выявления скрытых периодичностей.					Обсуждение и анализ проделанной работы.		ПК-2 ОПК-9
<b>ИТОГО:</b>		<b>0</b>	<b>34</b>	<b>38</b>		<b>34</b>	

## 4.2. Содержание разделов дисциплины

### Численное решение систем линейных алгебраических уравнений

Различные способы решения систем линейных алгебраических уравнений, преимущества прямых методов, хранящаяся, разреженная и ленточная матрицы, вектор ошибки и невязка, понятие вырожденности матрицы, векторные нормы, метод последовательного исключения Гаусса, треугольное (LU) разложение матрицы, главные элементы. Плохо обусловленные или некорректно поставленные задачи, понятие близости матрицы к вырожденной, число обусловленности, матричная норма, методы оценки числа обусловленности.

### Интерполяция и численное интегрирование

Интерполирующая функция, эрмитов интерполянт, полиномиальная интерполяция, кусочно-полиномиальная интерполяция, формула Ньютона-Лейбница, методы построения квадратур, простейшие одномерные квадратурные формулы (прямоугольников, трапеций, Симпсона), базис Лагранжа, правила Гаусса, понятие правил открытого типа, основные свойства правил Гаусса, правила Гаусса-Кронрода, оценка погрешности, вычисление интегралов в нерегулярных случаях.

### Аппроксимация данных наблюдений

Метод наименьших квадратов, метод ортогональных проекций, метод наименьших квадратов с весами, аппроксимация данных с использованием других норм, статистические критерии при исследовании данных наблюдений, стандартное отклонение, доверительные интервалы, график невязок, ковариационная матрица. Нормальные уравнения, ортогональные факторизации, QR-факторизация, преобразование Хаусхолдера, понятие

почти вырожденной матрицы, вычисление собственных значений, сингулярное (SVD) разложение, псевдо-обратная матрица, аппроксимация по методу наименьших квадратов с использованием SVD разложения.

### **Численные методы решения задачи Коши для обыкновенных дифференциальных уравнений**

Решение обыкновенного дифференциального уравнения (ОДУ), интегральные кривые, семейство решений ОДУ, начальная точка, дискретизация задачи, уравнения высокого порядка и системы уравнений, устойчивые и неустойчивые уравнения и численные методы, жесткие дифференциальные уравнения, метод Эйлера, точность и устойчивость численных методов, глобальная ошибка, локальная и распространяемая ошибки, множитель перехода, стратегия выбора шага интегрирования, анализ устойчивости для систем ОДУ, порядок метода численного интегрирования, неявные методы и их устойчивость, многошаговые и многозначные методы.

### **Численные методы решения граничных задач**

Формулировка граничной (краевой) задачи, метод суперпозиции, метод прогонки (аналитической факторизации), метод построения функции Грина, определитель Вронского, достоинства и недостатки различных методов решения граничных задач.

### **Численные методы решения нестационарных задач гидродинамики**

Нестационарная (смешанная) граничная задача, уравнения мелкой воды, адвекция, адаптация (взаимное приспособление полей ветра и массы или давления) и диффузия, проблема дискретизации (метод сеток), конечно-разностная аппроксимация, аналитическое решение линейного уравнения адвекции, пространственная дискретизация, вычислительная дисперсия и ошибки аппроксимации, согласованность, сходимости и устойчивость численных схем, схемы интегрирования по времени, критерий устойчивости Куранта-Фридриха-Леви, свойства схем на примере уравнения колебаний, свойства схем интегрирования эволюционных уравнений на примере линейного уравнения адвекции.

## Анализ экспериментальных данных с целью выявления скрытых периодичностей

Преобразование Фурье. Граничная частота и частота Найквиста. Маскировка частот и влияние конечности длины выборки. Сглаживание и фильтрация. Анализ данных с пропусками, периодограммы Ломба-Скаргла. Вейвлет преобразование. Пространственно-временной спектральный анализ глобальных распределений метеорологических полей.

### 4.3 Семинарские, практические, лабораторные занятия, их содержание

Семинарских и практических занятий учебным планом не предусмотрено.

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование лабораторных работ	Форма проведения	Формируемые компетенции
1	1	Численное решение систем линейных алгебраических уравнений.	Практическая работа	ОПК-2 ОПК-5
2	2	Интерполяция и численное интегрирование.	Практическая работа	ОПК-2 ОПК-5
3	3	Аппроксимация данных наблюдения	Практическая работа	ОПК-2 ОПК-5
4	4	Численные методы решения задачи Коши для ОДУ.	Практическая работа	ОПК-2 ОПК-5 ПК-2
5	5	Численные методы решения граничных задач.	Практическая работа	ОПК-2 ОПК-5 ПК-2
6	6	Численные методы решения нестационарных задач гидродинамики.	Практическая работа	ОПК-2 ОПК-5 ПК-2 ОПК-9
7	7	Анализ экспериментальных данных с целью выявления скрытых периодичностей.	Практическая работа	ОПК-2 ОПК-5 ПК-2 ОПК-9

## **5. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов и оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины**

### **5.1. Текущий контроль**

Опрос перед лабораторной работой.

Обсуждение и анализ проделанной работы.

#### **а) Образцы тестовых и контрольных заданий текущего контроля**

Вопросы перед лабораторной работой:

- Что определяет число обусловленности при решении задач линейной алгебра и аппроксимации данных наблюдений?

- В каких случаях мы должны использовать интерполяцию, а в каких решать задачу аппроксимации?

- Какие параметры волны определяют эффективность ее генерации локализованным по высоте источником?

- Каким образом производится разделение планетарных волн на стоячие и бегущие на восток и запад компоненты?

#### **б) Примерная тематика рефератов, эссе, докладов**

Выполнение рефератов и докладов по данной дисциплине не предусмотрено учебным планом.

#### **в) Примерные темы курсовых работ, критерии оценивания**

Выполнение курсовых работ по данной дисциплине не предусмотрено учебным планом.

### **5.2. Методические указания по организации самостоятельной работы**

В течение семестра студент обязан самостоятельно прорабатывать материал, для чего рекомендуется изучить основную и дополнительную литературу, презентации практических работ. Освоение материалом и выполнение практических работ проходит при регулярных, по возможности, консультациях с преподавателем, для чего студенту предоставлена возможность использовать удаленный доступ (Интернет).

### **5.3. Промежуточный контроль**

Промежуточный контроль по результатам 7-го учебного семестра – зачет.

#### **Вопросы к зачету 7-го семестра:**

1. Какие способы существуют для уменьшения числа обусловленности при решении задач аппроксимации данных спутниковых наблюдений?
2. В каких случаях можно использовать нормальную систему уравнений метода наименьших квадратов при решении задач аппроксимации данных?
3. Как разделить бегущие на восток и запад планетарные волны при анализе глобальных распределений метеорологических полей по данным реанализа?
4. Какие прикладные программы предпочтительнее использовать при решении жестких задач?
5. Как оценить является ли задача жесткой?
6. Что характеризует показатель вейвлета Морле? Какое значение этого показателя обычно используют при анализе атмосферных волн?
7. Каковы преимущества и недостатки различных методов решения граничных задач?
8. Как выглядит вертикальная структура внутренней гравитационной волны (ВГВ) выше и ниже источника?
9. К каким эффектам приводит учет молекулярной диссипации при решении задач о вертикальном распространении ВГВ?
10. Какие ВГВ способны распространяться до высот термосферы?

## **6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

## 6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### а) основная литература:

1. *Форсайт Дж., Малькольм М., Моулер К.* Машинные методы математических вычислений.- М.: Мир. 1980. 280 с.
2. *На Ц.* Вычислительные методы решения прикладных граничных задач.- М.: Мир. 1982. 296 с.
3. *Каханер Д., Моулер К., Нэш С.* Численные методы и программное обеспечение.- М.: Мир. 2001. 576 с.
4. *8. Репинская Р.П., Анискина О.Г.* Конечно-разностные методы в гидродинамическом моделировании атмосферных процессов.- Санкт-Петербург: РГГМУ, 2002, 174 с.
5. *10. Самарский А.А., Михайлов А.П.* Математическое моделирование.- М.: Физматгиз. 2005. 320 с.

### б) дополнительная литература:

1. *Курганский М.В.* Введение в крупномасштабную динамику атмосферы (адиабатические инварианты и их применение).- Санкт-Петербург: Гидрометеоздат. 1993. 168 с.
2. Модели общей циркуляции атмосферы.- под редакцией *Ю. Чанга.* Л.: Гидрометеоздат, 1981. 352 с.
3. *Холтон Дж.Р.* Динамическая метеорология стратосферы и мезосферы.- Л.: Гидрометеоздат. 1979. 224 с.
4. *Durran D.R.* Numerical methods for wave equations in geophysical fluid dynamics. Texts in Applied mathematics vol. 32. Springer-Verlag, New York, USA, 1999, 465 p.
5. *Амосов А.А., Дубинский Ю.А., Копченова Н.В.* Вычислительные методы для инженеров.- М.: Высшая школа. 1994. 544 с.
6. *Бидлингмайер Е.Р., Погорельцев А.И.* Численное моделирование трансформации акустико-гравитационных волн в температурные и вязкие волны в атмосфере//Изв. РАН, Физика атмосферы и океана, 1992, Т. 28, № 1, С. 64-74.
7. *Белов П.Н., Борисенков Е.П., Панин Б.Д.* Численные методы прогноза погоды.- Л.: Гидрометеоздат, 1989, 376 с.
8. *Самарский А.А.* Введение в численные методы.- М.: Наука. 1987. 288 с.



**в) Интернет-ресурсы:**

1. [http://people.sc.fsu.edu/~jburkardt/f\\_src/slatec/slatec.html](http://people.sc.fsu.edu/~jburkardt/f_src/slatec/slatec.html)
2. <http://apps.nrbook.com/fortran/index.html>
3. <http://paos.colorado.edu/research/wavelets/>

**7. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины**

- 4.
- 5.

<b>Вид учебных занятий</b>	<b>Организация деятельности студента</b>
<b>Лабораторные занятия (темы №1-7)</b>	Проработка рабочей программы, уделяя особое внимание целям и задачам структуре и содержанию дисциплины. Конспектирование источников, указанных в разделе основной литературы. Просмотр рекомендуемой литературы и работа с текстом.
<b>Подготовка к зачету</b>	При подготовке к зачету необходимо ориентироваться на конспекты, сделанные при обсуждении лабораторной работы, ее подготовке и анализе полученных результатов, рекомендуемую литературу, вопросы для подготовки к экзамену и т.д.

**8. Информационные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

6.

<b>Тема (раздел) дисциплины</b>	<b>Образовательные и информационные технологии</b>	<b>Перечень программного обеспечения и информационных справочных систем</b>
---------------------------------	--	---

Темы 1-7	Использование Интернета, компьютера	<p>Пакеты прикладных программ для решения задач линейной алгебры, математической физики, статистической и спектральной обработки данных наблюдений;</p> <p>трехмерная модель общей циркуляции средней и верхней атмосферы;</p> <p>трехмерная модель общей циркуляции средней и верхней атмосферы;</p>
----------	-------------------------------------	---

7.

## 9. Материально-техническое обеспечение дисциплины

1. Лаборатория моделирования средней и верхней атмосферы, в которой используются персональные компьютеры и рабочие станции.