

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра прикладной океанологии ЮНЕСКО-МОК и КУПЗ

Рабочая программа дисциплины

**ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ**

Основная профессиональная образовательная программа
высшего образования по направлению подготовки

05.03.05 «Прикладная гидрометеорология»

Направленность (профиль):
Прикладная океанология

Уровень:
Бакалавриат

Форма обучения
Очная/заочная

Согласовано
Руководитель ОПОП

Царев В.А. Царев В.А.

Председатель УМС
И.И. Палкин И.И. Палкин

Рекомендована решением
Учебно-методического совета РГГМУ
24 июня 2024 г., протокол № 9

Рассмотрена и утверждена на заседании кафедры
12 мая 2024 г., протокол № 10
Зав. кафедрой Хаймина О.В. Хаймина О.В.

Автор-разработчик:
Чанцев В.Ю. Чанцев В.Ю.

Санкт-Петербург 2021

1. Цель и задачи освоения дисциплины

Цель освоения дисциплины – формирование у бакалавров прикладной гидрометеорологии, обучающихся по профилю прикладная океанология, представления о численных методах решения дифференциальных уравнений в частных производных, описывающих динамику океана

Задачи:

- ознакомление с численными методами, применяемыми в современных гидротермодинамических моделях океана,
- получение представлений о различных типах численных аппроксимаций по пространству и интегрирования по времени уравнений в частных производных,
- изучение основных критериев устойчивости численных схем,
- приобретения навыков решения конечно-разностными методами уравнений в частных производных, описывающих динамику океана.

2. Место дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы.

Дисциплина «Численные методы решения гидрометеорологических задач» относится к дисциплинам части, формируемой участниками образовательных отношений Блока 1 профессиональной подготовки бакалавров по направлению 05.03.05 «Прикладная гидрометеорология», профиля «Прикладная океанология» (Б1.О.10) и изучается в 7 семестре обучения.

Для освоения данной дисциплины, обучающиеся должны освоить разделы дисциплин: «Высшая математика», «Общая океанология», «Математические методы решения океанологических задач», «Гидромеханика». Параллельно с дисциплиной «Численные методы решения гидрометеорологических задач» изучаются «Физика океана». Дисциплина «Численные методы решения гидрометеорологических задач» является базовой для освоения дисциплин «Динамика океана», «Морские гидрологические прогнозы», «Моделирование морских экосистем».

3. Перечень планируемых результатов обучения

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование компетенций раздела ОПК-3 (Способен использовать базовые знания в области гидрометеорологии при решении задач профессиональной деятельности): ОПК-3.1, ОПК-3.2 и ОПК-3.3.

Таблица 2.

Общие профессиональные компетенции

Код и наименование профессиональной компетенции	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции	Результаты обучения
ОПК-3: Способен использовать базовые знания в области гидрометеорологии при решении задач профессиональной деятельности	ОПК 3.1: Выбирает методы решения профессиональной задачи, используя базовые знания в области гидрометеорологии.	Знать: основные численные методы, применяемые в современных гидротермодинамических моделях океана. Уметь: применять конечно-разностные методы для решения уравнений в частных производных, описывающих динамику океана. Владеть: современным программным обеспечением, ко-

		торое может быть использовано при реализации численных методов в океанологии.
	ОПК 3.2: Анализирует и интерпретирует данные наблюдений, измерений, результаты теоретических расчетов и моделирования с учетом базовых знаний в области гидрометеорологии.	Знать: различные типы численных аппроксимаций по пространству и интегрирования по времени уравнений в частных производных. Уметь: анализировать результаты численных экспериментов. Владеть: навыками проведения численных экспериментов.
	ОПК 3.3: Получает качественные и количественные результаты решения профессиональных задач.	Знать: основные критерии устойчивости численных схем. Уметь: выбирать численные методы. Владеть: методами верификации результатов экспериментов.

4. Структура и содержание дисциплины

4.1. Объем дисциплины

Объем дисциплины составляет 4 зачетные единицы, 144 академических часа.

Таблица 4.

Объем дисциплины по видам учебных занятий в академических часах

Объём дисциплины	Всего часов	
	Очная форма обучения	Заочная форма обучения
	7 семестр	5 курс
Объем дисциплины	144	144
Контактная работа обучающихся с преподавателем (по видам аудиторных учебных занятий) – всего:	56	16
в том числе:	-	
лекции	28	8
занятия семинарского типа:	-	
практические занятия		
лабораторные занятия	28	8
Самостоятельная работа (далее – СРС) – всего:	88	128
в том числе:	-	
курсовая работа	-	
контрольные работы	-	
Вид промежуточной аттестации	экзамен	экзамен

4.2. Структура дисциплины

Таблица 5.

Структура дисциплины для очной формы обучения

№	Раздел/тема дисциплины	Семестр	Виды учебной работы, в т.ч. самостоятельная работа студентов, час.				Формы текущего контроля успеваемости	Формируемые компетенции	Индикаторы достижения компетенций
			Лекции	Лабораторные работы	Практические работы	СРС			
1	Введение	7	2					ОПК-3	ОПК-3.1,
2	Конечно-разностные методы решения	7	20	28		48	Решение типовой задачи, письменный опрос	ОПК-3	ОПК-3.1, ОПК-3.2, ОПК-3.3
3	Современные численные модели океана	7	6			40	письменный опрос	ОПК-3	ОПК-3.1, ОПК-3.2, ОПК-3.3
	ИТОГО		28	28		88			

Таблица 7.

Структура дисциплины для заочной формы обучения

№	Раздел / тема дисциплины	Курс	Виды учебной работы, в т.ч. самостоятельная работа студентов, час.				Формы текущего контроля успеваемости	Формируемые компетенции	Индикаторы достижения компетенций
			Лекции	Лабораторные работы	Практические работы	СРС			
1	Введение	4	1			10		ОПК-3	ОПК-3.1,
2	Конечно-разностные методы решения	4	3	4		60	Решение типовой задачи, письменный опрос	ОПК-3	ОПК-3.1, ОПК-3.2, ОПК-3.3
3	Современные численные модели океана	4	4	4		58	письменный опрос	ОПК-3	ОПК-3.1, ОПК-3.2, ОПК-3.3
	ИТОГО		8	8		128	-	-	-

4.3. Содержание разделов дисциплины

Введение

Развитие и использование численных методов в океанологических моделях. Дифференциальные уравнения в частных производных, описывающие динамику океана. Начальные и краевые условия. Метод сеток.

Конечно-разностные методы решения уравнений в частных производных

Условие согласования. Ошибка аппроксимации. Порядок аппроксимации. Центральные и направленные разности. Сходимость и устойчивость конечно-разностных схем. Диссипация в численных схемах. Эффект вычислительной дисперсии. Условие Куранта-Фридрихса-Леви. Эффект вычислительной вязкости. Явные и неявные методы интегрирования уравнений гидротермодинамики. Метод прогонки. Схема Кранка-Николсона. Вычислительные сетки Аракавы. Полуявный и метод расщепления для представления адвективных и других членов в прогностических уравнениях динамики океана. Схема интегрирования уравнений движения leap frog.

Современные численные модели океана

Схемы более высокого порядка точности аппроксимации производных по пространству. Системы координат, используемые в океанологических моделях. Другие методы: спектральные, конечных элементов и конечных объемов. Криволинейные и неструктурированные расчетные сетки. Способы дискретизации по вертикальным координатам. Пространственное и временное разрешение современных моделей океана.

Подразделы содержания дисциплины, выносимые на самостоятельную работу студентов, определяются преподавателем.

4.4. Содержание занятия семинарского типа

Таблица 11.

Содержание лабораторных занятий для очной формы обучения

№ темы дисциплины	Тематика лабораторных занятий	Всего часов	В том числе часов практической подготовки
2	Численное решение одномерного уравнения диффузии	8	8
2	Численное решение одномерного уравнения адвекции	10	10
2	Численное решение одномерного уравнения адвекции-диффузии	10	10

Таблица 13.

Содержание лабораторных занятий для заочной формы обучения

№ темы дисциплины	Тематика лабораторных занятий	Всего часов	В том числе часов практической подготовки
-------------------	-------------------------------	-------------	---

			ческой подго- товки
2	Численное решение одномерного уравнения диффузии	2	2
2	Численное решение одномерного уравнения адвекции	3	3
2	Численное решение одномерного уравнения адвекции-диффузии	3	3

5. Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине.

Электронные ресурсы, разработанные в рамках дисциплины, размещенные на сайте «Численные методы» в интерактивной системе SAKAI РГГМУ (<http://sakai.rshu.ru>):

- конспекты лекций;
- презентации с разъяснением способов решения практических научных задач;
- методические указания по выполнению типовых научных заданий;
- вспомогательные информационные материалы (таблицы, примеры);
- средства для текущего контроля.

6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

Учет успеваемости обучающегося по дисциплине осуществляется по 100-балльной шкале. Максимальное количество баллов по дисциплине за один семестр – 100:

- максимальное количество баллов за выполнение всех видов текущего контроля – 63;
- максимальное количество баллов за посещение лекционных занятий - 7;
- максимальное количество баллов за прохождение промежуточной аттестации – 30;

6.1. Текущий контроль

Типовые задания, методика выполнения и критерии оценивания текущего контроля по разделам дисциплины представлены в Фонде оценочных средств по данной дисциплине.

Текущий контроль реализуется в электронном виде на сайте «Численные методы» в интерактивной системе SAKAI РГГМУ (<http://sakai.rshu.ru>):

6.2. Промежуточная аттестация

Форма промежуточной аттестации по дисциплине – **экзамен**.

Форма проведения **зачета**: устно по билетам.

Перечень вопросов для подготовки к экзамену:

ОПК-3.1, ОПК-3.2, ОПК-3.3

1. Использование численных методов в океанологических моделях.
2. Основные дифференциальные уравнения, описывающие динамику океана.
3. Начальные и краевые условия.
4. Метод сеток.
5. Условие согласования и сходимости конечно-разностных схем.
6. Ошибка аппроксимации. Порядок аппроксимации.
7. Центральные и направленные разности аппроксимации.
8. Устойчивость конечно-разностных схем.
9. Диссипация в численных схемах.
10. Эффект вычислительной дисперсии.
11. Условие Куранта-Фридрихса-Леви.

12. Эффект вычислительной вязкости.
13. Явные и неявные методы интегрирования уравнений гидротермодинамики.
14. Схема Кранка-Николсона.
15. Метод прогонки.
16. Численное решение одномерного уравнения адвекции-диффузии
17. Вычислительные сетки Аракавы.
18. Полуявный метод для представления адвективных и других членов в прогностических уравнениях динамики океана.
19. Метод расщепления.
20. Схема интегрирования уравнений движения leap frog.
21. Схемы более высокого порядка точности аппроксимации производных по пространству.
22. Системы координат, используемые в океанологических моделях.
23. Сферические системы координат со смещением полюсов.
24. Спектральные методы
25. Метод конечных элементов
26. Метод конечных объемов.
27. Криволинейные сетки.
28. Неструктурированные сетки.
29. Z-вертикальная координата
30. Сигма- вертикальная координата
31. Изопикническая вертикальная координата
32. Пространственное и временное разрешение современных моделей океана.

6.3. Балльно-рейтинговая система оценивания

Таблица 14.

Распределение баллов по основным видам учебной работы

Вид учебной работы, за которую ставятся баллы	Баллы
Посещение лекционных занятий	0-7
Типовая задача №1	0-14
Типовая задача №2	0-14
Типовая задача №3	0-20
Письменный опрос	0-15
Промежуточная аттестация	0-30
ИТОГО	0-100

Минимальное количество баллов для допуска до промежуточной аттестации составляет 40 баллов при условии выполнения всех видов текущего контроля.

Таблица 16.

Балльная шкала итоговой оценки на экзамене

Оценка	Баллы
Отлично	85-100
Хорошо	65-84
Удовлетворительно	40-64
Неудовлетворительно	0-39

7. Методические рекомендации для обучающихся по освоению дисциплины

Методические рекомендации ко всем видам аудиторных занятий, а также методические рекомендации по организации самостоятельной работы, в том числе по подготовке к текущему контролю и промежуточной аттестации представлены в Методических рекоменда-

ции для обучающихся по освоению дисциплины «Численные методы решения гидрометеорологических задач».

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

8.1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная литература

1. Годунов С.К., Рябенький В.С. Разностные схемы. Введение в теорию. — М.: Наука, 1973. — 400 с.
2. Флетчер К. Вычислительные методы в динамике жидкостей. Т.1 Основные положения и общие методы — М.: Мир, 1991.-505 с.
3. Флетчер К. Вычислительные методы в динамике жидкостей. Т.2 Методы расчета различных течений — М.: Мир, 1991.-553 с.
4. Балуева А. С. Простейшие численные методы решения задач гидрометеорологии. — Л.: Гидрометеиздат, 1975. — 188 с.
5. Чанцев В.Ю. Методические указания по дисциплине «Численные методы математического моделирования. Часть 1: Решение уравнения адвекции. — СПб.: РГГМУ, 2021.
6. Чанцев В.Ю. Построение ортогональных криволинейных сеток с помощью программы RGFGGRID. Учебное пособие. — СПб.: РГГМУ, 2021

Дополнительная литература

1. Kantha L.H., Clayson C.A. Numerical models of oceans and oceanic processes. International geophysics series. V. 66 – San Diego, California, USA: Academic press, 2000. – 981 p.
2. Дьяконов В. П. MATLAB. Полный самоучитель. – М.: ДМК Пресс, 2012. – 768 с.
3. Мезингер Ф., Аракава А. Численные методы, используемые в атмосферных моделях. Т.1 – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 136 с.
4. Мезингер Ф., Аракава А. Численные методы, используемые в атмосферных моделях. Т.2 – Л.: Гидрометеиздат, 1982. – 360 с.
5. Пейре Р., Тейлор Т.Д. Вычислительные методы в задачах механики жидкости. –Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 352 с.
6. Рихтмайер Р., Мортон К. Разностные методы решения краевых задач – М.: Мир, 1972. – 421 с.
7. Роуч П. Вычислительная гидродинамика. — М.: Мир, 1980. — 618 с.

8.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет"

Конспекты лекций, презентации, методические материалы по выполнению типовых научных заданий и вспомогательные информационные материалы, размещенные на сайте «Численные методы» в интерактивной системе SAKAI РГГМУ (<http://sakai.rshu.ru>)

8.3. Перечень программного обеспечения

- 1.Операционные системы Windows 7,10;
2. Пакет прикладных программ Microsoft Office.
3. Свободно распространяемый программный продукт компилятор G-Fortan. Режим доступа: https://masuday.github.io/fortran_tutorial/install_gfortran_windows.html

8.4. Перечень информационных справочных систем

1. ЭБС Юрайт
2. Электронно-библиотечная система elibrary;

9. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Материально-техническое обеспечение программы соответствует действующим санитарно-техническим и противопожарным правилам и нормам и обеспечивает проведение всех видов практических занятий и самостоятельной работы студентов.

Учебный процесс обеспечен аудиториями, комплектом лицензионного программного обеспечения, библиотекой РГГМУ.

Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, оснащенная специализированной (учебной) мебелью.

Учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа, для групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, укомплектована специализированной (учебной) мебелью, мультимедийным оборудованием, служащим для представления учебной информации

Учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа, для групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации - укомплектована специализированной (учебной) мебелью, компьютерами с возможностью подключения к сети "Интернет"

Помещение для самостоятельной работы студентов. Помещение оснащено: специализированной (учебной) мебелью, компьютерами с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду организации.

Помещение для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования (ноутбук, проектор, переносной экран).

10. 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.

11. Возможность применения электронного обучения и дистанционных образовательных технологий

Дисциплина может реализовываться с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий в интерактивной системе SAKAI РГГМУ (<http://sakai.rshu.ru>).

Рассмотрено и рекомендовано к использованию в учебном процессе на 2022/2023 учебный год без изменений.

Протокол заседания кафедры прикладной океанографии ЮНЕСКО-МОК и комплексного управления прибрежными зонами от 30.06.2022 №12