

федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
**РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

Кафедра метеорологических прогнозов

Рабочая программа по дисциплине

ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Основная профессиональная образовательная программа
высшего образования программы бакалавриата по направлению
подготовки

05.03.05 «Прикладная гидрометеорология»

Направленность (профиль):
Прикладная метеорология

Квалификация:
Бакалавр



Форма обучения
Очная/Заочная

Согласовано
Руководитель ОПОП
«Прикладная метеорология»


Волобуева О.В.

Утверждаю
Председатель УМС  И.И. Палкин

Рекомендована решением
Учебно-методического совета
22 10 2019 г., протокол № 2

Рассмотрена и утверждена на заседании кафедры
06 03 2019 г., протокол № 1
Зав. кафедрой  Дробжева Я.В.
Авторы-разработчики:
 Анискина О.Г.

Составил: Анискина О.Г. – доцент кафедры метеорологических прогнозов
Российского государственного гидрометеорологического университета.

© О.Г. Анискина, 2019
© РГГМУ, 2019

1. Цели освоения дисциплины

Цель дисциплины «Численные методы математического моделирования» - подготовка бакалавров, владеющих знаниями в объёме, необходимом для глубокого понимания принципов построения и функционирования гидродинамических моделей атмосферы, способных создавать гидродинамические модели атмосферных процессов и грамотно использовать результаты моделирования.

Основные задачи дисциплины «Численные методы математического моделирования» связаны с освоением:

- физических основ построения гидродинамических моделей атмосферы,
- теоретических принципов разработки и функционирования гидродинамических моделей атмосферы,
- численных методов решения уравнений гидродинамики атмосферы,
- основ применения результатов гидродинамического моделирования при составлении оперативных прогнозов погоды.

2. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Численные методы математического моделирования» для направления подготовки 05.03.05 – Прикладная гидрометеорология, профиль – Прикладная метеорология относится к дисциплинам базовой части.

Для освоения данной дисциплины, обучающиеся должны освоить разделы дисциплин: «Физика», «Информатика», «Вычислительная математика», «Математика (теория вероятности и статистика)», «Динамическая метеорология», «Механика жидкости и газа», «Статистические методы анализа гидрометеорологической информации», «Геофизика», «Иностранный язык».

Параллельно с дисциплиной «Численные методы математического моделирования» изучаются: «Метеорологическое обеспечение народного хозяйства», «Экология», «Космическая метеорология», «Авиационная метеорология».

Знания, полученные в результате изучения дисциплины «Численные методы математического моделирования», могут быть использованы при подготовке выпускной квалификационной работы бакалавра.

3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций.

Код компетенции	Компетенция
ОПК-1	Способность представить современную картину мира на основе знаний основных положений, законов и методов естественных наук, физики и математики
ОПК-3	Способность анализировать и интерпретировать данные натурных и лабораторных наблюдений, теоретических расчетов и моделирования.

В результате освоения компетенций в рамках дисциплины «Численные методы математического моделирования» обучающийся должен:

Знать:

- физическую и математическую постановку задачи гидродинамического прогноза погоды на основе уравнений гидротермодинамики атмосферы;

- системы координат, используемые в гидродинамическом моделировании;
- методы аппроксимации уравнений с помощью конечных разностей ;
- методы анализа конечно-разностных схем;
- способы борьбы с вычислительными ошибками, возникающими при интегрировании уравнений гидротермодинамики атмосферы численными методами;
- численные методы интегрирования уравнений прогностических моделей.

Уметь:

- разрабатывать алгоритмы гидродинамического прогноза погоды;
- аппроксимировать уравнения в частных производных конечными разностями;
- анализировать ошибки конечно-разностных схем;
- осмысленно использовать результаты гидродинамического прогноза погоды в синоптической практике.

Владеть:

- методикой построение гидродинамических моделей атмосферы в целом и отдельных атмосферных процессов и явлений;
- методикой обработки результатов гидродинамического моделирования;
- методами визуализации результатов гидродинамического моделирования атмосферных процессов.

Основные признаки освоения формируемых компетенций в результате освоения дисциплины «Численные методы математического моделирования» сведены в таблице.

Соответствие уровней освоения компетенцией планируемым результатам обучения и критериям их оценивания

Этап (уровень) освоения компетенц ии	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения			
		2	3 минимальный	4 базовый	5 продвинутый
Третий этап (уровень) ОПК-1	Владеть: навыками анализа атмосферных процессов с помощью уравнений гидро- и термодинамики.	Не владеет: навыками анализа атмосферных процессов с помощью уравнений гидро- и термодинамики.	Слабо владеет: навыками анализа атмосферных процессов с помощью уравнений гидро- и термодинамики.	Слабо владеет: навыками анализа атмосферных процессов с помощью уравнений гидро- и термодинамики.	Свободно владеет: навыками анализа атмосферных процессов с помощью уравнений гидро- и термодинамики.
	Уметь: - использовать основные законы физики и гидротермодинамики для описания динамики атмосферы; - создавать математические модели атмосферных процессов; - объяснять процессы, происходящие в различных слоях атмосферы (приземном, пограничном и свободной атмосфере) с помощью полученных уравнений.	Не умеет: - использовать основные законы физики и гидротермодинамики для описания динамики атмосферы; - создавать математические модели атмосферных процессов; - объяснять процессы, происходящие в различных слоях атмосферы (приземном, пограничном и свободной атмосфере) с помощью полученных уравнений.	Затрудняется: - использовать основные законы физики и гидротермодинамики для описания динамики атмосферы; - создавать математические модели атмосферных процессов; - объяснять процессы, происходящие в различных слоях атмосферы (приземном, пограничном и свободной атмосфере) с помощью полученных уравнений.	Хорошо умеет: - использовать основные законы физики и гидротермодинамики для описания динамики атмосферы; - создавать математические модели атмосферных процессов; - объяснять процессы, происходящие в различных слоях атмосферы (приземном, пограничном и свободной атмосфере) с помощью полученных уравнений.	Отлично умеет: - использовать основные законы физики и гидротермодинамики для описания динамики атмосферы; - создавать математические модели атмосферных процессов; - объяснять процессы, происходящие в различных слоях атмосферы (приземном, пограничном и свободной атмосфере) с помощью полученных уравнений.
	Знать: - основные законы, используемые при описании динамики атмосферы; - механизмы формирования широкого спектра атмосферных процессов; - особенности преобразования различных форм энергии в атмосфере.	Не знает: - основные законы, используемые при описании динамики атмосферы; - механизмы формирования широкого спектра атмосферных процессов; - особенности преобразования различных форм энергии в атмосфере.	Плохо знает: - основные законы, используемые при описании динамики атмосферы; - механизмы формирования широкого спектра атмосферных процессов; - особенности преобразования различных форм энергии в атмосфере.	Хорошо знает: - основные законы, используемые при описании динамики атмосферы; - механизмы формирования широкого спектра атмосферных процессов; - особенности преобразования различных	Отлично знает: - основные законы, используемые при описании динамики атмосферы; - механизмы формирования широкого спектра атмосферных процессов; - особенности преобразования различных форм энергии в атмосфере.

				форм энергии в атмосфере.	
Второй этап (уровень) ОПК-3	Владеть: - анализом мезомасштабных явлений, - навыками работы с электронными базами данных	Не владеет: - анализом мезомасштабных явлений, - навыками работы с электронными базами данных	Недостаточно владеет: - анализом мезомасштабных явлений, - навыками работы с электронными базами данных	Хорошо владеет: - анализом мезомасштабных явлений, - навыками работы с электронными базами данных	Свободно владеет: - анализом мезомасштабных явлений, - навыками работы с электронными базами данных
	Уметь: грамотно обрабатывать и систематизировать имеющийся архивный материал и данные параметров атмосферы	Не умеет: обрабатывать и систематизировать имеющийся архивный материал и данные параметров атмосферы	Затрудняется: обрабатывать и систематизировать имеющийся архивный материал и данные параметров атмосферы	Умеет с помощью преподавателя: обрабатывать и систематизировать имеющийся архивный материал и данные параметров атмосферы	Умеет самостоятельно: грамотно обрабатывать и систематизировать имеющийся архивный материал и данные параметров атмосферы
	Знать: основные принципы численного и физико-статистического моделирования процессов атмосферы.	Не знает: основные принципы численного и физико-статистического моделирования процессов атмосферы.	Плохо знает: основные принципы численного и физико-статистического моделирования процессов атмосферы.	Хорошо знает: основные принципы численного и физико-статистического моделирования процессов атмосферы.	Отлично знает: основные принципы численного и физико-статистического моделирования процессов атмосферы.

4. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единиц, 144 часа.

Объём дисциплины	Всего часов	
	Очная форма обучения	Заочная форма обучения
	2019 г. набора	
Общая трудоёмкость дисциплины	144	144
Контактная работа обучающихся с преподавателям (по видам аудиторных учебных занятий) – всего:	56	16
в том числе:		
Лекции	28	8
практические занятия		
лабораторные занятия	28	8
Самостоятельная работа (СРС) – всего:	88	128
в том числе:		
курсовая работа	-	-
контрольная работа	-	+
Вид промежуточной аттестации (зачет/экзамен)	Экзамен	Экзамен

4.1.Содержание разделов дисциплины

Очное обучение
2019 г. набора

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Виды учебной работы, в т.ч. самостоятельная работа студентов			Формы текущего контроля успеваемости	Занятия в активной и интерактивной форме, час	Формируемые компетенции
			Лекции	Практич., лабор. занятия	Самостоят. работа			
1	Система уравнений гидротермодинамики атмосферы. Постановка задачи гидродинамического прогноза погоды	7	2	2	6	Письменный опрос, опрос перед лабораторной работой, отчёт по лабораторной работе, вопросы на лекции	2	ОПК-1 ОПК-3
2	Фильтрация модели атмосферы. Модель мелкой воды	7	2	2	6	Письменный опрос, опрос перед лабораторной работой, отчёт по лабораторной работе, вопросы на лекции	2	ОПК-1 ОПК-3

3	Методы интегрирования уравнений гидротермодинамики атмосферы.	7	2	2	6	Письменный опрос, опрос перед лабораторной работой, отчёт по лабораторной работе, вопросы на лекции	2	ОПК-1 ОПК-3
4	Расшатанные сетки.	7	2	2	6	Письменный опрос, опрос перед лабораторной работой, отчёт по лабораторной работе, вопросы на лекции	2	ОПК-1 ОПК-3
5	Постановка задачи регионального гидродинамического прогноза	7	2	2	6	Письменный опрос, опрос перед лабораторной работой, отчёт по лабораторной работе, вопросы на лекции	2	ОПК-1 ОПК-3
6	Метод сеток. Конечно-разностные аналоги производных.	7	2	2	6	Письменный опрос, опрос перед лабораторной работой, отчёт по лабораторной работе, вопросы на лекции	2	ОПК-1 ОПК-3
7	Метод шагов по времени. Схемы интегрирования по времени.	7	2	2	6	Письменный опрос, опрос перед лабораторной работой, отчёт по лабораторной работе, вопросы на лекции	2	ОПК-1 ОПК-3
8	Анализ ошибок, возникающих при аппроксимации	7	2	2	6	Письменный опрос, опрос перед лабораторной работой, отчёт по лабораторной работе, вопросы на лекции	2	ОПК-1 ОПК-3
9	Нелинейная вычислительная неустойчивость. Методы борьбы с нелинейной вычислительной неустойчивостью	7	2	2	6	Письменный опрос, опрос перед лабораторной работой, отчёт по лабораторной работе, вопросы на лекции	2	ОПК-1 ОПК-3
10	Спектральные методы решения уравнений гидродинамики атмосферы	7	2	2	6	Письменный опрос, опрос перед лабораторной работой, отчёт по лабораторной работе, вопросы на лекции	2	ОПК-1 ОПК-3
11	Специальные схемы интегрирования	7	2	2	6	Письменный опрос, опрос перед лабораторной работой,	2	ОПК-1 ОПК-3

	уравнений гидротермодинамики атмосферы					отчёт по лабораторной работе, вопросы на лекции		
12	Повышение точности интегрирования уравнений по вертикали.	7	2	2	6	Письменный опрос, опрос перед лабораторной работой, отчёт по лабораторной работе, вопросы на лекции	2	ОПК-1 ОПК-3
13	Описание физических процессов в гидродинамических моделях атмосферы	7	2	2	8	Письменный опрос, опрос перед лабораторной работой, отчёт по лабораторной работе, вопросы на лекции	2	ОПК-1 ОПК-3
14	Подготовка начальных данных	7	2	2	8	Письменный опрос, опрос перед лабораторной работой, отчёт по лабораторной работе, вопросы на лекции	2	ОПК-1 ОПК-3
	Итого		28	28	88		28	
С учетом трудозатрат при подготовке и сдаче экзамена					144			

Заочное обучение

2019 г. набора

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Виды учебной работы, в т.ч. самостоятельная работа студентов			Формы текущего контроля успеваемости	Занятия в активной и интерактивной форме, час	Формируемые компетенции
			Лекции	Практич., лабор. занятия	Самостоят. работа			
1	Система уравнений гидротермодинамик и атмосферы. Постановка задачи гидродинамического прогноза погоды. Фильтрация модели атмосферы. Модель мелкой воды. Методы интегрирования уравнений гидротермодинамик и атмосферы.	4	2	2	32	Письменный опрос, опрос перед лабораторной работой, отчёт по лабораторной работе, вопросы на лекции	1	ОПК-1 ОПК-3

2	Расшатанные сетки. Постановка задачи регионального гидродинамическог о прогноза. Метод сеток. Конечно- разностные аналоги производных. Метод шагов по времени. Схемы интегрирования по времени. Анализ ошибок, возникающих при аппроксимации	4	2	2	32	Письменный опрос, опрос перед лабораторной работой, отчёт по лабораторной работе, вопросы на лекции	1	ОПК-1 ОПК-3
3	Нелинейная вычислительная неустойчивость. Методы борьбы с нелинейной вычислительной неустойчивостью. Спектральные методы решения уравнений гидродинамики атмосферы. Специальные схемы интегрирования уравнений гидротермодинамик и атмосферы	4	2	2	32	Письменный опрос, опрос перед лабораторной работой, отчёт по лабораторной работе, вопросы на лекции	1	ОПК-1 ОПК-3
4	Повышение точности интегрирования уравнений по вертикали. Описание физических процессов в гидродинамических моделях атмосферы. Подготовка начальных данных	4	2	2	32	Письменный опрос, опрос перед лабораторной работой, отчёт по лабораторной работе, вопросы на лекции	1	ОПК-1 ОПК-3
Итого			8	8	128		4	
С учетом трудозатрат при подготовке и сдаче экзамена					144			

4.2. Содержание разделов дисциплины

4.2.1 Система уравнений гидротермодинамики атмосферы. Постановка задачи гидродинамического прогноза погоды

Роль гидродинамического моделирования атмосферных процессов для народного хозяйства. История возникновения и развития гидродинамических прогнозов погоды. Место гидродинамических прогнозов в оперативной метеорологической службе. Гидродинамическое прогнозирование в России и за рубежом. Перспективы гидродинамических прогнозов погоды.

Предмет и задачи дисциплины. История развития гидродинамических методов прогноза погоды. Многомасштабность атмосферных процессов и их классификация. Погодообразующие процессы и метеорологические шумы. Замкнутая система уравнений гидротермодинамики атмосферы и её особенности.

Формулировка задачи гидродинамического прогноза погоды. Гидростатическое, геострофическое и адиабатическое приближения. Начальные условия. Боковые граничные условия. Граничные условия по вертикали. Принципиальная схема гидродинамического прогноза. Классификация гидродинамических прогнозов по заблаговременности. Интегрирование диагностических уравнений моделей по вертикали.

Системы координат по горизонтальным координатам – сферическая и декартова. Картографические проекции, используемые в атмосферных моделях. Масштабный множитель. Уравнения гидротермодинамики атмосферы в системе координат с произвольной вертикальной координатой. Системы координат по вертикали, используемые в гидродинамических моделях атмосферы (декартова, изобарическая, сигма, гибридная). Достоинства и недостатки различных систем координат (вертикальных и горизонтальных), их сравнительный анализ. Преодоление недостатков различных координатных систем.

Сферическая система координат. Система уравнений в сферической системе координат. Коэффициенты Ламэ. Достоинства и недостатки применения сферической системы координат. Методы преодоления недостатков. Повернутая сферическая система координат.

4.2.2 Фильтрация модели атмосферы

Уравнение вихря скорости. Уравнение дивергенции. Уравнение вихря скорости в квазигеострофическом приближении. Баротропная квазигеострофическая модель атмосферы. Сеточный метод решения уравнения модели. Метод итераций. Начальные и граничные условия. Принципиальная схема прогноза поля геопотенциала на среднем уровне. Квазисоленоидальные модели.

Вывод уравнения модели «мелкой воды». Уравнения модели «мелкой воды» в σ системе координат. Принципиальная схема прогноза по уравнениям модели «мелкой воды». Начальные и граничные условия.

4.2.3 Методы интегрирования уравнений гидротермодинамики атмосферы

Интегральные инварианты гидродинамических моделей атмосферы: основные положения, ограничения, применение. Вывод интегральных инвариантов нелинейного уравнения адвекции. Консервативные схемы интегрирования уравнений. Вывод интегральных инвариантов модели «мелкой воды». Интегральные инварианты бароклинических моделей атмосферы в различных системах координат. Построение моделей, обладающих инвариантами. Бокс метод: вывод уравнений, достоинства, недостатки, граничные условия.

Метод расщепления: основные положения, принципиальная схема прогноза, достоинства, недостатки, ограничения на использование. Реализация метода расщепления на примере уравнений модели «мелкой воды». Методы решения системы уравнений адвекции и адаптации. Начальные и граничные условия. Явные, неявные и полунявные схемы

интегрирования уравнений гидродинамических моделей атмосферы: принципиальная схема прогноза, достоинства, недостатки.

4.2.4 Расшатанные сетки.

Расшатанные по пространству и по времени сетки. Классификация сеток по Аракаве. Стандартные операторы дифференцирования и сглаживания. Конечно-разностная аппроксимация полных уравнений на расшатанных сетках. Вычислительная дисперсия.

Расшатанные сетки по времени и пространству. Стандартные операторы дифференцирования и сглаживания. Аппроксимация уравнений модели «мелкой воды» на расшатанных сетках.

4.2.5 Постановка задачи регионального гидродинамического прогноза погоды

Особенности регионального прогноза погоды. Проблема постановки граничных условий. Прозрачные граничные условия. Условия излучения. Прогноз на вложенных сетках. Телескопизация.

4.2.6 Метод сеток. Конечно-разностные аналоги производных

Основы метода сеток. Дискретизация пространства и времени. Равномерные и неравномерные сетки. Конечно-разностные аналоги производных. Ошибка аппроксимации производных, порядок точности, вязкость, согласованность. Повышение порядка точности аппроксимации.

4.2.7 Метод шагов по времени

Линейное уравнение адвекции. Точное решение уравнения адвекции. Принципиальная схема прогноза. Различные способы аппроксимации. Явные, полунявные и неявные схемы интегрирования уравнений модели. Уравнение Гельмгольца. Использование Лагранжева описания адвекции. Метод расщепления по физическим процессам. Прогностический алгоритм при помощи матричных операторов.

Явные, неявные, полунявные схемы интегрирования. Двухуровневые и трёхуровневые схемы интегрирования по времени. Одношаговые и многошаговые схемы интегрирования. Схемы типа «предиктор-корректор». Принципиальная схема прогноза по явной схеме интегрирования. Принципиальная схема прогноза по неявной схеме интегрирования. Метод итераций. Метод прогонки. Физические и вычислительные начальные условия.

4.2.8 Анализ ошибок, возникающих при аппроксимации линейного уравнения адвекции конечными разностями

Анализ ошибки аппроксимации, порядка точности, вычислительной вязкости, согласованности конечно-разностных схем на примере линейного уравнения адвекции.

Анализ устойчивости и дисперсионных свойств конечно-разностных схем, аппроксимирующих уравнения модели «мелкой воды» на расшатанных сетках. Сравнительный анализ точности описания скоростей на различных сетках.

Устойчивость конечно-разностных схем интегрирования. Методы анализа устойчивости. Прямой метод. Энергетический метод. Метод Неймана. Анализ устойчивости двухуровневых и трехуровневых схем. Анализ устойчивости явных и неявных схем. Сравнительный анализ устойчивости схем с использованием центральных и направленных разностей. Сравнительный

анализ устойчивости явных и неявных схем интегрирования. Анализ устойчивости двухшаговых схем.

Фазовая и групповая скорости. Вычислительная дисперсия. Анализ искажения скоростей при аппроксимации уравнения адвекции различными конечно-разностными схемами.

Уравнение колебания. Уравнение трения. Точное решение. Аппроксимация различными конечно-разностными схемами. Анализ устойчивости методом Неймана. Анализ изменения фазы колебания.

Уравнения, описывающие эволюцию инерционно-гравитационных волн. Исследование дисперсионных свойств уравнений адаптации модели «мелкой воды». Влияние сеток на дисперсионные свойства.

4.2.9 Нелинейное уравнение адвекции. Нелинейная вычислительная неустойчивость

Нелинейное уравнение адвекции. Особенности интегрирования. Нелинейное взаимодействие. Ошибки ложного представления. Нелинейная вычислительная неустойчивость. Методы подавления и предотвращения нелинейной вычислительной неустойчивости. Фильтрация. Сглаживание. Консервативные схемы.

Нелинейная вычислительная неустойчивость и методы борьбы с ней.

4.2.10 Спектральные методы решения уравнений гидродинамики атмосферы

Спектральная форма уравнений гидродинамики атмосферы. Методы минимизации невязки. Базисные функции, используемые в атмосферных моделях. Сферические функции. Полиномы Лежандра. Метод коэффициентов взаимодействия. Спектрально-сеточное преобразование. Псевдоспектральный метод. Решение диагностических уравнений. Метод конечных элементов.

4.2.11 Специальные схемы интегрирования уравнений гидротермодинамики атмосферы

Монотонные схемы интегрирования прогностических уравнений. Квазимонотонные схемы. Метод коррекции потоков. TVD – схемы. Полулагранжев метод описания адвекции. Консервативные схемы.

4.2.12 Повышение порядка точности аппроксимации производных

Конечно-разностные схемы высокого порядка точности. Повышение точности аппроксимации схем центральных разностей за счет привлечения дополнительных точек. Повышение порядка точности аппроксимации схем направленных разностей против потока. Устойчивость конечно-разностных схем высоких порядков точности. Диссипативные свойства конечно-разностных схем высоких порядков точности. Использование конечно-разностных аналогов с повышенным порядком точности. Расшатанные по вертикали сетки. Сетка Лоренца. Сетка Чарни. Аппроксимация сплайнами. Метод конечных элементов.

4.2.13 Описание физических процессов в гидродинамических моделях атмосферы

Проблема описание неадиабатических процессов в гидродинамических моделях атмосферы. Параметризация физических процессов. Параметризация конвекции. Параметризация радиационных процессов. Параметризация турбулентности. Параметризация фазовых переходов. Гидрологический цикл. Модель океана. Совместные модели. Бесшовные модели.

4.2.14 Подготовка начальных данных

Проблема постановки начальных условий. Ассимиляция данных наблюдений вариационное усвоение. Фильтр Калмана. Метод Крессмана. Интерполяция. Инициализация. Метод нормальных мод. Функции Хафа.

4.3.Семинарские, практические, лабораторные занятия, их содержание

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование работ	Форма проведения	Формируемые компетенции
1	1	Система уравнений гидротермодинамики атмосферы. Постановка задачи гидродинамического прогноза погоды	Лабораторная работа	ОПК-1 ОПК-3
2	2	Фильтрация модели атмосферы. Модель мелкой воды	Лабораторная работа	ОПК-1 ОПК-3
3	3	Методы интегрирования уравнений гидротермодинамики атмосферы.	Лабораторная работа	ОПК-1 ОПК-3
4	4	Распатанные сетки.	Лабораторная работа	ОПК-1 ОПК-3
5	5	Постановка задачи регионального гидродинамического прогноза	Лабораторная работа	ОПК-1 ОПК-3
6	6	Метод сеток. Конечно-разностные аналоги производных.	Лабораторная работа	ОПК-1 ОПК-3
7	7	Метод шагов по времени. Схемы интегрирования по времени.	Лабораторная работа	ОПК-1 ОПК-3
8	8	Анализ ошибок, возникающих при аппроксимации	Лабораторная работа	ОПК-1 ОПК-3
9	9	Нелинейная вычислительная неустойчивость. Методы борьбы с нелинейной вычислительной неустойчивостью	Лабораторная работа	ОПК-1 ОПК-3
10	10	Спектральные методы решения уравнений гидродинамики атмосферы	Лабораторная работа	ОПК-1 ОПК-3
11	11	Специальные схемы интегрирования уравнений гидротермодинамики атмосферы	Лабораторная работа	ОПК-1 ОПК-3
12	14	Повышение точности интегрирования уравнений по вертикали.	Лабораторная работа	ОПК-1 ОПК-3
13	15	Описание физических процессов в гидродинамических моделях атмосферы	Лабораторная работа	ОПК-1 ОПК-3
14	15	Подготовка начальных данных	Лабораторная работа	ОПК-1 ОПК-3

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

5.1. Текущий контроль

- 5.1.1. Вопросы на лекции. Студентам предлагаются вопросы по каждому разделу с последующим их домашним анализом и письменными ответами на следующей лекции.
- 5.1.2. Решение задач по разделам. Студентам предлагаются задачи для домашнего решения и последующей проверки.
- 5.1.3. Беседа со студентами (коллоквиум) перед выполнением каждой лабораторной работы.
- 5.1.4. Прием и проверка отчета по каждой лабораторной и практической работе.
- 5.1.5. Студентам выдаётся индивидуальное задание с последующей проверкой и допуском к зачёту.

а) Образцы тестовых и контрольных заданий текущего контроля

Вопросы на лекции:

1. В чём суть дискретизации пространства и времени в задачах моделирования атмосферных процессов?
2. Что такое численные схемы?
3. Какие требования предъявляются к численным схемам?
4. Что такое аппроксимация?
5. Дать понятие сходимости конечно-разностной схемы?
6. Как определяется порядок аппроксимации конечно-разностной схемы?
7. В чём суть понятия согласованность?
8. В чём суть понятия сходимость?
9. Как определяется вычислительная эффективность?
10. Что такое число Куранта?
11. За что отвечает критерий Куранта-Фридрихса-Леви?
12. Сформулируйте теорему Леви.
13. Какие конечно-разностные аналоги производных известны?
14. Чем отличаются конечно-разностные аналоги производных?
15. Как повысить порядок точности конечно-разностного аналога?
16. Что такое вычислительная дисперсия?
17. Что такое вычислительная вязкость?
18. К чему приводит ошибка ложного представления?
19. Что такое интегральные инварианты?

Образцы вопросов для тестирования студентов.

1. Какой из перечисленных конечно-разностных аналогов производной обладает наивысшим порядком точности?

- а) направленные разности вперёд
- б) направленные разности назад
- в) центральные разности
- г) несимметричные разности

(Правильный ответ – в)

2. Что такое дискретное пространство?

- а) Это физическое пространство, в котором задана совокупность точек
- б) Это пространство, разделённое на отрезки неопределённой длины
- в) Это фазовое пространство
- г) Это пространство, в котором производят синоптические наблюдения на станциях

(Правильный ответ – а)

Вопросы к коллоквиуму перед выполнением лабораторной работы №7 «Схемы интегрирования по времени»

1. Что такое схема интегрирования по времени?
2. Для чего и когда используется схема интегрирования по времени?
3. Какие принципы классификации схем интегрирования по времени Вам известны?
4. Напишите линейное уравнение адвекции.
5. Аппроксимируйте линейное уравнение адвекции явной схемой.
6. Аппроксимируйте линейное уравнение адвекции неявной схемой.
7. В чём достоинства и недостатки явных (неявных) схем?
8. Поясните алгоритм использования схем интегрирования по времени для решения прогностических уравнений.
9. Какие внешние условия необходимы для решения линейного уравнения адвекции при помощи явной двухуровневой трёхточечной схемы?
10. В чём отличие с точки зрения алгоритма решения трёхуровневой схемы от двухуровневой схемы?
11. Что значит «поставить начальные условия»?
12. Что значит «поставить граничные условия»?
13. Какие виды граничных условий Вам известны?
14. как проявляется при решении вычислительная мода?
15. По какому критерию определяют размер шага по времени?
16. Что надо знать, чтобы рассчитать количество шагов по времени?
17. В какой ситуации нет необходимости в постановке граничных условий?
18. Как можно контролировать вычислительную неустойчивость?
19. Как ведёт себя решение при использовании неустойчивой схемы?

б) Примерная тематика рефератов, эссе, докладов

Выполнение рефератов и докладов по данной дисциплине не предусмотрено.

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, изложенный на лекциях, для чего рекомендуется использовать сделанные на лекциях конспекты, базовый учебник.

Выполнение работы проходит при регулярных, по возможности, консультациях с преподавателем, для чего студенту предоставлена возможность использовать удаленный доступ (Интернет).

5.3. Промежуточный контроль

Контроль по результатам 7-го учебного семестра – зачет.

Промежуточный контроль по результатам 8-го учебного семестра – экзамен.

Зачет проходит в устной форме. Обучающемуся предлагается дать наиболее полный ответ на два, случайным образом выбранных вопроса.

Экзамен проходит в устной форме. Обучающемуся предлагается наиболее полно ответить на два вопроса случайным образом выбранного билета. Полный комплект экзаменационных билетов охватывает все разделы дисциплины.

Перечень вопросов на лекции

1. Метод сеток: основные положения.
2. Конечно-разностные аналоги производных.
3. Ошибка аппроксимации производных.
4. Порядок точности аппроксимации производных.
5. Вычислительная вязкость.
6. Согласованность конечно-разностных схем.
7. Повышение порядка точности аппроксимации.
8. Линейное уравнение адвекции: принципиальная схема прогноза.
9. Явные и неявные схемы.
10. Двухуровневые и трёхуровневые схемы интегрирования по времени.
11. Одношаговые и многошаговые схемы интегрирования.
12. Принципиальная схема прогноза по явной схеме интегрирования.
13. Принципиальная схема прогноза по неявной схеме интегрирования.
14. Решение линейного уравнения адвекции аппроксимированного неявной схемой методом итераций.
15. Вычислительные моды.
16. Физические и вычислительные начальные условия.
17. Устойчивость конечно-разностных схем интегрирования.
18. Анализ устойчивости двухуровневых схем методом Неймана.
19. Анализ устойчивости трехуровневых схем.
20. Анализ устойчивости неявных схем.
21. Сравнительный анализ устойчивости схем с использованием центральных и направленных разностей.
22. Сравнительный анализ устойчивости явных и неявных схем интегрирования.
23. Анализ устойчивости двухшаговых схем.
24. Фазовая и групповая скорости. Вычислительная дисперсия.
25. Уравнение колебания. Аппроксимация различными конечно-разностными схемами.
26. Уравнение колебания. Анализ устойчивости методом Неймана.
27. Уравнение колебания. Анализ изменения фазы колебания. Нелинейная вычислительная неустойчивость

Перечень вопросов к экзамену

1. Погодообразующие волновые процессы и метеорологические шумы.
2. Формулировка задачи гидродинамического прогноза погоды. Начальные условия. Боковые граничные условия. Граничные условия по вертикали.
3. Гидростатическое, геострофическое и адиабатическое приближения.
4. Принципиальная схема гидродинамического прогноза.
5. Интегрирование диагностических уравнений по вертикали. Уравнение статики.
6. Интегрирование диагностических уравнений вертикали. Уравнение неразрывности.
7. Метод расщепления. Основные положения. Достоинства и недостатки.
8. Достоинства и недостатки различных систем координат (по вертикали), их сравнительный анализ. Преодоление недостатков различных координатных систем.
9. Достоинства и недостатки различных систем координат (горизонтальных), их сравнительный анализ. Преодоление недостатков различных координатных систем.

10. Метод сеток: основные положения.
11. Интегральные инварианты гидродинамических моделей атмосферы: основные положения, ограничения, применение.
12. Аппроксимация уравнений модели мелкой воды на расштанной по пространству сетке.
13. Полуявные схемы интегрирования уравнений гидродинамических моделей атмосферы: принципиальная схема прогноза, достоинства, недостатки.
14. Явные схемы интегрирования уравнений гидродинамических моделей атмосферы: принципиальная схема прогноза, достоинства, недостатки.
15. Неявные схемы интегрирования уравнений гидродинамических моделей атмосферы: принципиальная схема прогноза, достоинства, недостатки.
16. Расштаннные по пространству сетки.
17. Интегрирование уравнений с использованием Лагранжевых переменных.
18. Анализ дисперсионных свойств уравнений адаптации модели мелкой воды.
19. Проблемы, возникающие при интегрировании уравнения переноса массовой доли водяного пара, и методы их решения.
20. Конечно-разностные аналоги производных.
21. Принципиальная схема прогноза по явной схеме интегрирования.
22. Принципиальная схема прогноза по неявной схеме интегрирования.
23. Конечно-разностная аппроксимация полных уравнений на расштанной по пространству сетке.
24. Бокс метод.
25. Вложенные сетки.
26. Устойчивость конечно-разностных схем интегрирования.
27. Постановка граничных условий при интегрировании уравнений гидротермодинамики атмосферы на ограниченной территории.
28. Учет неадиабатичности атмосферных процессов в гидродинамических моделях атмосферы
29. Параметризация физических процессов в гидродинамических моделях атмосферы. Основные понятия, процессы, подлежащие параметризации.
30. Параметризации конвекции в гидродинамических моделях атмосферы. Основные положения, классификация методов параметризации.
31. Ансамблевый прогноз.
32. Представление полей метеорологических величин при помощи рядов.
33. Базисные функции, используемые в атмосферных спектральных моделях.
34. Сферические функции. Свойства, достоинства, недостатки.
35. Сферические функции. Усечение бесконечных рядов.
36. Сферические функции. Разложение в ряд по сферическим функциям.
37. Разложение в ряд по тригонометрическим функциям.
38. Вычисление коэффициентов разложения в ряд по тригонометрическим функциям.
39. Вычисление коэффициентов разложения в ряд по сферическим функциям.
40. Решение линейного уравнения адвекции спектральным методом.
41. Минимизация невязки. Метод Галёркина.
42. Минимизация невязки. Метод коллокации.
43. Минимизация невязки. Метод наименьших квадратов.
44. Получение определяющей системы уравнений при решении спектральным методом линейного уравнения адвекции.

Образцы билетов к экзамену

Экзаменационный билет № 1

Российский Государственный Гидрометеорологический Университет

Кафедра Метеорологических прогнозов
Курс Численные методы математического моделирования

1. Погодообразующие волновые процессы и метеорологические шумы.
2. Минимизация невязки. Метод Галёркина.

Зав. кафедрой _____ Дробжева Я.В.

Экзаменационный билет № 2
 Российский Государственный Гидрометеорологический Университет
 Кафедра Метеорологических прогнозов
 Курс Численные методы математического моделирования

1. Формулировка задачи гидродинамического прогноза погоды. Начальные условия. Боковые граничные условия. Граничные условия по вертикали.
2. Представление полей метеорологических величин при помощи рядов.

Зав. кафедрой _____ Дробжева Я.В.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) Основная литература:

1. Клемин, В.В. Динамика атмосферы Воен.-косм. акад. им. А.Ф. Можайского; В.В. Клёмин, Ю.В. Кулешов, С.С. Суворов, Ю.Н. Волконский ; [под общ. ред. С.С. Суворова и В.В. Клёмина]. - Санкт-Петербург: Наука, 2013. - 420 с.
2. Бахвалов, Н. С. Численные методы [Электронный ресурс] / Н. С. Бахвалов, Н. П. Жидков, Г. М. Кобельков. - 7-е изд. (эл.). - М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. - 636 с.
<http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=365807>

б) дополнительная литература:

1. Репинская Р. П. , Анискина О. Г. Конечно-разностные методы в гидродинамическом моделировании атмосферных процессов. – СПб.: РГГМИ, 2001
http://elib.rshu.ru/files_books/pdf/img-213172857.pdf
2. Численные методы, используемые в атмосферных моделях. – Л.: Гидрометеиздат, 1982
3. Мезингер Ф., Аракава А. Численные методы, используемые в атмосферных моделях. – М.: Наука, 1979
4. Белов Н. П., Борисенков Е. П., Панин Б. Д.. Численные методы прогноза погоды. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. http://elib.rshu.ru/files_books/pdf/img-090589.pdf
5. Белов Н. П. Численные методы прогноза погоды. – Л.: Гидрометеиздат, 1975.

в) рекомендуемые интернет-ресурсы

1. Электронный ресурс NOAA National Centers For Environmental Information. Режим доступа: http://web.kma.go.kr/eng/biz/forecast_02.jsp
2. Электронный ресурс Met Office Numerical Weather Prediction models. Режим доступа: <http://www.metoffice.gov.uk/research/modelling-systems/unified-model/weather-forecasting>
3. Электронный ресурс Numerical Weather Prediction NWP. Режим доступа: <http://www.rmets.org/weather-and-climate/weather/numerical-weather-prediction-nwp>

г) программное обеспечение

windows 7 лицензия 48818295,
 office 2010 лицензия 49671955,
 windows 7 лицензия 48130165,
 office 2010 лицензия 49671955,
 язык высокого уровня Fortran (свободно распространяемый продукт)

д) профессиональные базы данных

не используются

е) информационные справочные системы:

1. Электронно-библиотечная система ГидроМетеоОнлайн. Режим доступа: <http://elib.rshu.ru>
2. Электронно-библиотечная система Знаниум. Режим доступа: <http://znanium.com>

7. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Вид учебных занятий	Организация деятельности студента
<p>Лекции (темы №1-14)</p>	<p>Написание конспекта лекций: последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников и общения с преподавателями с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначить вопросы, термины, материал, который вызывает трудности, пометить и попытаться найти ответ в рекомендуемой литературе и в общении с преподавателями. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции, на консультации, или с использованием удаленного доступа через Интернет</p>
<p>Лабораторные работы (темы №1-14)</p>	<p>Проработка рабочей программы, уделяя особое внимание целям и задачам структуре и содержанию дисциплины. Конспектирование источников, прежде всего - базового учебника. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы и работа с текстом. Разработка программ на языке высокого уровня Fortran.</p>
<p>Индивидуальные задания</p>	<p>Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы и анализ вычислительных схем. Разработка программ на языке высокого уровня Fortran.</p>
<p>Подготовка экзамену</p>	<p>При подготовке к зачету и экзамену необходимо ориентироваться на конспекты лекций, рекомендуемую литературу, вопросы для подготовки к экзамену.</p>

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

Тема (раздел) дисциплины	Образовательные и информационные технологии	Перечень программного обеспечения и информационных справочных систем
<p>Темы 1-14</p>	<p><u>информационные технологии</u> 1. чтение лекций с использованием слайд-презентаций, 2. организация взаимодействия с обучающимися посредством электронной почты 3. проведение компьютерного тестирования</p>	<p>1. Пакет Microsoft Excel, PowerPoint. 2. Электронно-библиотечная система ГидроМетеоОнлайн http://elib.rshu.ru 3. Использование сайта кафедры метеорологических прогнозов http://ra.rshu.ru/mp</p>

	<u>образовательные технологии</u> 1. интерактивное взаимодействие педагога и студента 2. сочетание индивидуального и коллективного обучения	
--	---	--

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.

1. **Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа** – укомплектована специализированной (учебной) мебелью, набором демонстрационного оборудования и учебно-наглядными пособиями, обеспечивающими тематические иллюстрации, соответствующие рабочим учебным программам дисциплин (модулей).
2. **Учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа** - укомплектована специализированной (учебной) мебелью, техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации, оснащенная компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечено доступом в электронную информационно-образовательную среду организации
3. **Учебная аудитория для групповых и индивидуальных консультаций** - укомплектована специализированной (учебной) мебелью, техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации.
4. **Учебная аудитория для текущего контроля и промежуточной аттестации** - укомплектована специализированной (учебной) мебелью, техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации. Персональный компьютер типа Notebook.
5. **Помещение для самостоятельной работы** – укомплектовано специализированной (учебной) мебелью, оснащено компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечено доступом в электронную информационно-образовательную среду организации.

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.