

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»

 **Фокичева А.А.**

Утверждаю  
Председатель УМС  **И.И. Палкин**

Рекомендована решением  
Учебно-методического совета  
19 марта 2018 г., протокол № 4

Рассмотрена и утверждена на заседании  
кафедры  
19 февраля 2018 г., протокол № 7  
Зав. кафедрой  **Дробжева Я.В.**

Авторы-разработчики:  
 **Анискина О.Г.**

**Составил:** Анискина О.Г. – доцент кафедры метеорологических прогнозов

## 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 образовательной программы.

Для освоения данной дисциплины, обучающиеся должны освоить разделы дисциплин: «Физика», «Информатика», «Вычислительная математика», «Теория вероятностей и математическая статистика», «Динамическая метеорология», «Статистические методы анализа гидрометеорологической информации», «Геофизика», «Иностранный язык».

Параллельно с дисциплиной «Численные методы математического моделирования» изучаются: «Вихревая динамика», «Ассимиляция гидродинамических данных», «Дополнительные главы параметризаций физических процессов», «Дополнительные разделы численных методов решения задач гидродинамики».

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
ОК-2	Способность решать стандартные профессиональные задачи на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом требований информационной безопасности.
ОК-3	Способность к эффективной коммуникации в устной и письменной формах, в том числе на иностранном языке
ОК-5	Способность к самообразованию, саморазвитию и самоконтролю,



	приобретению новых знаний, повышению своей квалификации.
<b>ОПК-1</b>	Способность представить современную картину мира на основе знаний основных положений, законов и методов естественных наук, физики и математики
<b>ОПК-3</b>	Способность анализировать и интерпретировать данные натурных и лабораторных наблюдений, теоретических расчетов и моделирования.
<b>ОПК-5</b>	Готовность к освоению новой техники, новых методов и новых технологий.
<b>ПК-3</b>	Способность прогнозировать основные параметры атмосферы, океана и вод суши на основе проведенного анализа имеющейся информации.

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 освоения компетенции	Критерии оценивания результатов обучения					
	2	3	4	5		
Второй этап освоения компетенции ОК-2	<p><b>Планируемые результаты обучения</b> (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)</p> <p><b>Владеть:</b> -навыками использования стандартных пакетов прикладных программ для решения практических задач; -навыками работы с информацией в локальных и глобальных компьютерных сетях.</p> <p><b>Уметь:</b> -создавать и использовать различные формы представления информации: формулы, графики, диаграммы, таблицы;</p> <p><b>Знать:</b> -основы баз данных; -модели и методы решения функциональных и вычислительных задач; -процедуры алгоритмизации и программирования; -программные среды конечного пользователя, математические и моделирующие программы общего назначения.</p>	<p><b>Не владеет:</b> -навыками использования стандартных пакетов прикладных программ для решения практических задач; -навыками работы с информацией в локальных и глобальных компьютерных сетях.</p> <p><b>Не умеет:</b> -создавать и использовать различные формы представления информации: формулы, графики, диаграммы, таблицы;</p> <p><b>Не знает:</b> -основы баз данных; -модели и методы решения функциональных и вычислительных задач; -процедуры алгоритмизации и программирования; -программные среды конечного пользователя, математические и моделирующие программы общего назначения.</p>	<p><b>Слабо владеет:</b> -навыками использования стандартных пакетов прикладных программ для решения практических задач; -навыками работы с информацией в локальных и глобальных компьютерных сетях.</p> <p><b>Затрудняется:</b> -создавать и использовать различные формы представления информации: формулы, графики, диаграммы, таблицы;</p> <p><b>Плохо знает:</b> -основы баз данных; -модели и методы решения функциональных и вычислительных задач; -процедуры алгоритмизации и программирования; -программные среды конечного пользователя, математические и моделирующие программы общего назначения.</p>	<p><b>Хорошо владеет:</b> -навыками использования стандартных пакетов прикладных программ для решения практических задач; -навыками работы с информацией в локальных и глобальных компьютерных сетях.</p> <p><b>Умеет:</b> -создавать и использовать различные формы представления информации: формулы, графики, диаграммы, таблицы;</p> <p><b>Хорошо знает:</b> -основы баз данных; -модели и методы решения функциональных и вычислительных задач; -процедуры алгоритмизации и программирования; -программные среды конечного пользователя, математические и моделирующие программы общего назначения.</p>	<p><b>Уверенно владеет:</b> -навыками использования стандартных пакетов прикладных программ для решения практических задач; -навыками работы с информацией в локальных и глобальных компьютерных сетях.</p> <p><b>Умеет свободно:</b> -создавать и использовать различные формы представления информации: формулы, графики, диаграммы, таблицы;</p> <p><b>Свободно описывает:</b> -основы баз данных; -модели и методы решения функциональных и вычислительных задач; -процедуры алгоритмизации и программирования; -программные среды конечного пользователя, математические и моделирующие программы общего назначения.</p>	продвинутый



<p>Второй этап (уровень) ОК-3</p>	<p><b>Владеть:</b> - изучаемым иностранным языком в целях его практического использования для получения информации из зарубежных источников; - навыками самостоятельной работы со специализированной литературой на иностранном языке.</p>	<p><b>Не владеет:</b> - изучаемым иностранным языком в целях его практического использования для получения информации из зарубежных источников; - навыками самостоятельной работы со специализированной литературой на иностранном языке.</p>	<p><b>Слабо владеет:</b> - изучаемым иностранным языком в целях его практического использования для получения информации из зарубежных источников; - навыками самостоятельной работы со специализированной литературой на иностранном языке.</p>	<p><b>Хорошо владеет:</b> - изучаемым иностранным языком в целях его практического использования для получения информации из зарубежных источников; - навыками самостоятельной работы со специализированной литературой на иностранном языке.</p>	<p><b>Уверенно владеет:</b> - изучаемым иностранным языком в целях его практического использования для получения информации из зарубежных источников; - навыками самостоятельной работы со специализированной литературой на иностранном языке.</p>
<p>Третий этап (уровень) ОК-5</p>	<p><b>Владеть:</b> - оптимальными методами экстраполяции и интерполяции гидрометеорологических процессов; - процессами, происходящими в атмосфере и режиме метеорологических элементов;</p>	<p><b>Не владеет:</b> - оптимальными методами экстраполяции и интерполяции гидрометеорологических процессов; - процессами, происходящими в атмосфере и режиме метеорологических элементов;</p>	<p><b>Слабо владеет:</b> - оптимальными методами экстраполяции и интерполяции гидрометеорологических процессов; - процессами, происходящими в атмосфере и режиме метеорологических элементов;</p>	<p><b>Хорошо владеет:</b> наиболее употребительную лексику иностранного языка и базовую профессиональную терминологию</p>	<p><b>Уверенно владеет:</b> наиболее употребительную лексику иностранного языка и базовую профессиональную терминологию</p>
	<p><b>Знать:</b> наиболее употребительную лексику иностранного языка и базовую профессиональную терминологию</p>	<p><b>Не знает:</b> наиболее употребительную лексику иностранного языка и базовую профессиональную терминологию</p>	<p><b>Плохо знает:</b> наиболее употребительную лексику иностранного языка и базовую профессиональную терминологию</p>	<p><b>Хорошо знает:</b> наиболее употребительную лексику иностранного языка и базовую профессиональную терминологию</p>	<p><b>Отлично знает:</b> наиболее употребительную лексику иностранного языка и базовую профессиональную терминологию</p>
	<p><b>Владеть:</b> - оптимальными методами экстраполяции и интерполяции гидрометеорологических процессов; - процессами, происходящими в атмосфере и режиме метеорологических элементов;</p>	<p><b>Не владеет:</b> - оптимальными методами экстраполяции и интерполяции гидрометеорологических процессов; - процессами, происходящими в атмосфере и режиме метеорологических элементов;</p>	<p><b>Слабо владеет:</b> - оптимальными методами экстраполяции и интерполяции гидрометеорологических процессов; - процессами, происходящими в атмосфере и режиме метеорологических элементов;</p>	<p><b>Хорошо владеет:</b> - оптимальными методами экстраполяции и интерполяции гидрометеорологических процессов; - процессами, происходящими в атмосфере и режиме метеорологических элементов;</p>	<p><b>Уверенно владеет:</b> - оптимальными методами экстраполяции и интерполяции гидрометеорологических процессов; - процессами, происходящими в атмосфере и режиме метеорологических элементов;</p>



	<p>-навыками самостоятельной работы, позволяющими повысить свою квалификацию.</p> <p><b>Уметь:</b> выражать и обосновывать свою позицию по вопросам, касающимся численного моделирования.</p> <p><b>Знать:</b> основные периодические издания и ресурсы сети Интернет, способствующие приобретению новых знаний и повышению квалификации</p>	<p>-навыками самостоятельной работы, позволяющими повысить свою квалификацию</p> <p><b>Не умеет:</b> выражать и обосновывать свою позицию по вопросам, касающимся численного моделирования.</p> <p><b>Не знает:</b> основные периодические издания и ресурсы сети Интернет, способствующие приобретению новых знаний и повышению квалификации</p>	<p>-навыками самостоятельной работы, позволяющими повысить свою квалификацию</p> <p><b>Слабо владеет:</b> выражать и обосновывать свою позицию по вопросам, касающимся численного моделирования.</p> <p><b>Плохо знает:</b> основные периодические издания и ресурсы сети Интернет, способствующие приобретению новых знаний и повышению квалификации</p>	<p>-навыками самостоятельной работы, позволяющими повысить свою квалификацию</p> <p><b>Хорошо владеет:</b> выражать и обосновывать свою позицию по вопросам, касающимся численного моделирования.</p> <p><b>Хорошо знает:</b> основные периодические издания и ресурсы сети Интернет, способствующие приобретению новых знаний и повышению квалификации</p>	<p>-навыками самостоятельной работы, позволяющими повысить свою квалификацию</p> <p><b>Отлично владеет:</b> выражать и обосновывать свою позицию по вопросам, касающимся численного моделирования.</p> <p><b>Отлично знает:</b> основные периодические издания и ресурсы сети Интернет, способствующие приобретению новых знаний и повышению квалификации</p>
<p>Третий этап (уровень) ОПК-1</p>	<p><b>Владеть:</b> навыками анализа атмосферных процессов с помощью уравнений гидро- и термодинамики.</p> <p><b>Уметь:</b> - 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.</p> <p><b>Знать:</b> - основные законы, используемые при</p>	<p><b>Не владеет:</b> навыками анализа атмосферных процессов с помощью уравнений гидро- и термодинамики.</p> <p><b>Не умеет:</b> - 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.</p> <p><b>Не знает:</b> - основные законы, используемые при</p>	<p><b>Слабо владеет:</b> навыками анализа атмосферных процессов с помощью уравнений гидро- и термодинамики.</p> <p><b>Затрудняется:</b> - 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.</p>	<p><b>Слабо владеет:</b> навыками анализа атмосферных процессов с помощью уравнений гидро- и термодинамики.</p> <p><b>Хорошо владеет:</b> навыками анализа атмосферных процессов с помощью уравнений гидро- и термодинамики.</p> <p><b>Хорошо умеет:</b> - 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.</p>	<p><b>Свободно владеет:</b> навыками анализа атмосферных процессов с помощью уравнений гидро- и термодинамики.</p> <p><b>Отлично владеет:</b> навыками анализа атмосферных процессов с помощью уравнений гидро- и термодинамики.</p>



	описании динамики атмосферы; - механизмы формирования широкого спектра атмосферных процессов; - особенности преобразования различных форм энергии в атмосфере.	описании динамики атмосферы; - механизмы формирования широкого спектра атмосферных процессов; - особенности преобразования различных форм энергии в атмосфере.	описании динамики атмосферы; - механизмы формирования широкого спектра атмосферных процессов; - особенности преобразования различных форм энергии в атмосфере.	описании динамики атмосферы; - механизмы формирования широкого спектра атмосферных процессов; - особенности преобразования различных форм энергии в атмосфере.	описании динамики атмосферы; - механизмы формирования широкого спектра атмосферных процессов; - особенности преобразования различных форм энергии в атмосфере.
Второй этап (уровень) ОПК-3	<b>Владеть:</b> - анализом мезомасштабных явлений, - навыками работы с электронными базами данных	<b>Не владеет:</b> - анализом мезомасштабных явлений, - навыками работы с электронными базами данных	<b>Недостаточно владеет:</b> - анализом мезомасштабных явлений, - навыками работы с электронными базами данных	<b>Хорошо владеет:</b> - анализом мезомасштабных явлений, - навыками работы с электронными базами данных	<b>Свободно владеет:</b> - анализом мезомасштабных явлений, - навыками работы с электронными базами данных
Второй этап (уровень) ОПК-5	<b>Знать:</b> основные принципы численного и физико-статистического моделирования процессов атмосферы.	<b>Не знает:</b> основные принципы численного и физико-статистического моделирования процессов атмосферы.	<b>Плохо знает:</b> основные принципы численного и физико-статистического моделирования процессов атмосферы.	<b>Хорошо знает:</b> основные принципы численного и физико-статистического моделирования процессов атмосферы.	<b>Отлично знает:</b> основные принципы численного и физико-статистического моделирования процессов атмосферы.
<b>Уметь:</b> грамотно обрабатывать и систематизировать имеющийся архивный материал и данные параметров атмосферы	<b>Не умеет:</b> обрабатывать и систематизировать имеющийся архивный материал и данные параметров атмосферы	<b>Затрудняется:</b> обрабатывать и систематизировать имеющийся архивный материал и данные параметров атмосферы	<b>Умеет с помощью преподавателя:</b> обрабатывать и систематизировать имеющийся архивный материал и данные параметров атмосферы	<b>Умеет самостоятельно:</b> грамотно обрабатывать и систематизировать имеющийся архивный материал и данные параметров атмосферы	
<b>Владеть:</b> - навыками самостоятельной работы с глобальной компьютерной сетью Интернет; - методами поиска необходимой информации с использованием меню и ключевых слов; - способами копирования файлов данных и программ с серверов сети на диски	<b>Не владеет:</b> - навыками самостоятельной работы с глобальной компьютерной сетью Интернет; - методами поиска необходимой информации с использованием меню и ключевых слов; - способами копирования файлов данных и программ с серверов сети на диски	<b>Недостаточно владеет:</b> - навыками самостоятельной работы с глобальной компьютерной сетью Интернет; - методами поиска необходимой информации с использованием меню и ключевых слов; - способами копирования файлов данных и программ с серверов сети на диски	<b>Хорошо владеет:</b> - навыками самостоятельной работы с глобальной компьютерной сетью Интернет; - методами поиска необходимой информации с использованием меню и ключевых слов; - способами копирования файлов данных и программ с серверов сети на диски	<b>Свободно владеет:</b> - навыками самостоятельной работы с глобальной компьютерной сетью Интернет; - методами поиска необходимой информации с использованием меню и ключевых слов; - способами копирования файлов данных и программ с серверов сети на диски	



<p>своего компьютера.</p> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- проводить поиск необходимой информации с использованием специализированных поисковых систем;</li> <li>- работать с электронными библиотеками и базами данных, содержащими метеорологическую информацию;</li> <li>- работать со специальными серверами сети, обеспечивающими возможность проведения расчетов и решения задач гидрометеорологии, математики и статистики.</li> </ul>	<p>своего компьютера.</p> <p><b>Не уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- проводить поиск необходимой информации с использованием специализированных поисковых систем;</li> <li>- работать с электронными библиотеками и базами данных, содержащими метеорологическую информацию;</li> <li>- работать со специальными серверами сети, обеспечивающими возможность проведения расчетов и решения задач гидрометеорологии, математики и статистики.</li> </ul>	<p>своего компьютера.</p> <p><b>Затрудняется:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- проводить поиск необходимой информации с использованием специализированных поисковых систем;</li> <li>- работать с электронными библиотеками и базами данных, содержащими метеорологическую информацию;</li> <li>- работать со специальными серверами сети, обеспечивающими возможность проведения расчетов и решения задач гидрометеорологии, математики и статистики.</li> </ul>	<p>своего компьютера.</p> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- проводить поиск необходимой информации с использованием специализированных поисковых систем;</li> <li>- работать с электронными библиотеками и базами данных, содержащими метеорологическую информацию;</li> <li>- работать со специальными серверами сети, обеспечивающими возможность проведения расчетов и решения задач гидрометеорологии, математики и статистики.</li> </ul>	<p>своего компьютера.</p> <p><b>Уметь самостоятельно:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- проводить поиск необходимой информации с использованием специализированных поисковых систем;</li> <li>- работать с электронными библиотеками и базами данных, содержащими метеорологическую информацию;</li> <li>- работать со специальными серверами сети, обеспечивающими возможность проведения расчетов и решения задач гидрометеорологии, математики и статистики.</li> </ul>
<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-общее представление об устройстве и принципах работы глобальной компьютерной сети Интернет, историю ее развития;</li> <li>-существующие способы адресации страниц сети, в том числе систему доменных имен, и используемые протоколы работы;</li> <li>-основные серверы ответственного сегмента сети и наиболее интересные зарубежные серверы, связанные с хранением и обработкой информации.</li> </ul>	<p><b>Не знает:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-общее представление об устройстве и принципах работы глобальной компьютерной сети Интернет, историю ее развития;</li> <li>-существующие способы адресации страниц сети, в том числе систему доменных имен, и используемые протоколы работы;</li> <li>-основные серверы ответственного сегмента сети и наиболее интересные зарубежные серверы, связанные с хранением и обработкой информации.</li> </ul>	<p><b>Плохо знает:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-общее представление об устройстве и принципах работы глобальной компьютерной сети Интернет, историю ее развития;</li> <li>-существующие способы адресации страниц сети, в том числе систему доменных имен, и используемые протоколы работы;</li> <li>-основные серверы ответственного сегмента сети и наиболее интересные зарубежные серверы, связанные с хранением и обработкой информации.</li> </ul>	<p><b>Хорошо знает:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-общее представление об устройстве и принципах работы глобальной компьютерной сети Интернет, историю ее развития;</li> <li>-существующие способы адресации страниц сети, в том числе систему доменных имен, и используемые протоколы работы;</li> <li>-основные серверы ответственного сегмента сети и наиболее интересные зарубежные серверы, связанные с хранением и обработкой информации.</li> </ul>	<p><b>Свободно описывает:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-общее представление об устройстве и принципах работы глобальной компьютерной сети Интернет, историю ее развития;</li> <li>-существующие способы адресации страниц сети, в том числе систему доменных имен, и используемые протоколы работы;</li> <li>-основные серверы ответственного сегмента сети и наиболее интересные зарубежные серверы, связанные с хранением и обработкой информации.</li> </ul>
<p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-методами статистической</li> </ul>	<p><b>Не владеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-методами статистической</li> </ul>	<p><b>Слабо владеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-методами статистической</li> </ul>	<p><b>Хорошо владеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-методами статистической</li> </ul>	<p><b>Уверенно владеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-методами статистической</li> </ul>
<p>Второй этап</p>				



(уровень) ПК-3	обработки и анализа данных наблюдений, используемыми метеорологами; -навыками самостоятельной работы с научной технической литературой; -навыками работы с базами гидрометеорологических данных.	обработки и анализа данных наблюдений, используемыми метеорологами; -навыками самостоятельной работы с научной технической литературой; -навыками работы с базами гидрометеорологических данных.	обработки и анализа данных наблюдений, используемыми метеорологами; -навыками самостоятельной работы с научной технической литературой; -навыками работы с базами гидрометеорологических данных.	обработки и анализа данных наблюдений, используемыми метеорологами; -навыками самостоятельной работы с научной технической литературой; -навыками работы с базами гидрометеорологических данных.
<b>Уметь:</b> -выбирать оптимальные методы и средства решения поставленных задач; -правильно оформлять полученные результаты; -проводить сбор, обработку, анализ и систематизацию научно-технической информации	<b>Не умеет:</b> -выбирать оптимальные методы и средства решения поставленных задач; -правильно оформлять полученные результаты; -проводить сбор, обработку, анализ и систематизацию научно-технической информации	<b>Затрудняется:</b> -выбирать оптимальные методы и средства решения поставленных задач; -правильно оформлять полученные результаты; -проводить сбор, обработку, анализ и систематизацию научно-технической информации	<b>Умеет:</b> -выбирать оптимальные методы и средства решения поставленных задач; -правильно оформлять полученные результаты; -проводить сбор, обработку, анализ и систематизацию научно-технической информации	<b>Умест свободно:</b> -выбирать оптимальные методы и средства решения поставленных задач; -правильно оформлять полученные результаты; -проводить сбор, обработку, анализ и систематизацию научно-технической информации
<b>Знать:</b> -современное состояние и мировой уровень исследований в области моделирования; -методику разработки программ проведения физических и математических моделей исследуемых гидрометеорологических процессов, явлений и объектов; -главные международные журналы, публикующие результаты исследований в области метеорологии и климатологии, и всю отечественную научную периодику в данной области;	<b>Не знает:</b> -современное состояние и мировой уровень исследований в области моделирования; -методику разработки программ проведения физических и математических моделей исследуемых гидрометеорологических процессов, явлений и объектов; -главные международные журналы, публикующие результаты исследований в области метеорологии и климатологии, и всю отечественную научную периодику в данной области;	<b>Плохо описывает:</b> -современное состояние и мировой уровень исследований в области моделирования; -методику разработки программ проведения физических и математических моделей исследуемых гидрометеорологических процессов, явлений и объектов; -главные международные журналы, публикующие результаты исследований в области метеорологии и климатологии, и всю отечественную научную периодику в данной области;	<b>Описывает с помощью преподавателя:</b> -современное состояние и мировой уровень исследований в области моделирования; -методику разработки программ проведения физических и математических моделей исследуемых гидрометеорологических процессов, явлений и объектов; -главные международные журналы, публикующие результаты исследований в области метеорологии и климатологии, и всю отечественную научную периодику в данной области;	<b>Свободно описывает:</b> -современное состояние и мировой уровень исследований в области моделирования; -методику разработки программ проведения физических и математических моделей исследуемых гидрометеорологических процессов, явлений и объектов; -главные международные журналы, публикующие результаты исследований в области метеорологии и климатологии, и всю отечественную научную периодику в данной области;



#### 4. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 7 зачетных единиц, 252 часа.

Объём дисциплины	Всего часов	
	Очная форма обучения 2015, 2016, 2017, 2018 гг. набора	Заочная форма обучения 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 гг. набора
Общая трудоёмкость дисциплины	252	252
Контактная работа обучающихся с преподавателям (по видам аудиторных учебных занятий) – всего:	124	34
в том числе:		
лекции	54	12
практические занятия	16	22
лабораторные занятия	54	-
Самостоятельная работа (СРС) – всего:	128	218
в том числе:		
контрольная работа	-	+
Вид промежуточной аттестации (зачет/экзамен)	экзамен	экзамен

#### 4.1.Содержание разделов дисциплины

##### Очное обучение

2015, 2016, 2017, 2018 гг. 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	Самостоятел ьная работа			
1	Система уравнений гидротермодинамики атмосферы	7	4	0	4	Вопросы на лекции	0	ОК-2 ОК-5 ПК-3
2	Постановка задачи гидродинамического прогноза погоды	7	4	2	2	Вопросы на лекции, вопросы по практической работе, письменный опрос.	1	ОК-3 ОК-5 ПК-3
3	Системы координат, используемые в гидродинамических моделях атмосферы.	7	2	0	2	Вопросы на лекции	0	ОК-2 ОК-5 ПК-3
4	Фильтрация модели	7	2	2	2	Вопросы на	1	ОК-2

	атмосферы					лекции, вопросы по практической работе, письменный опрос.		ОК-5 ПК-3
5	Модель мелкой воды	7	2	2	2	Вопросы на лекции, вопросы по практической работе, письменный опрос.	1	ОК-2 ОК-5 ПК-3
6	Инварианты гидродинамических моделей атмосферы. Бокс метод.	7	2	0	2	Вопросы на лекции	0	ОК-2 ОК-5 ПК-3
7	Метод расщепления. Методы (явные, неявные и полунеявные) интегрирования уравнений гидротермодинамики атмосферы.	7	2	0	2	Вопросы на лекции	0	ОК-2 ОК-5 ПК-3
8	Расшатанные сетки. Дисперсионные свойства.	7	2	2	0	Вопросы на лекции, вопросы по практической работе, письменный опрос.	2	ОК-2 ОК-5 ПК-3
9	Анализ устойчивости и дисперсионных свойств уравнений адаптации.	7	2	4	2	Вопросы на лекции, вопросы по практической работе, письменный опрос.	1	ОК-2 ОК-5 ПК-3
10	Методы борьбы с нелинейной вычислительной неустойчивостью.	7	2	2	2	Вопросы на лекции, вопросы по практической работе, письменный опрос.	2	ОК-2 ОК-5 ПК-3 ОПК-1 ОПК-5
11	Постановка задачи регионального гидродинамического прогноза	7	2	0	2	Вопросы на лекции	0	ОК-2 ОК-5 ПК-3 ППК-1 ОПК-3 ОПК-5
12	Метод сеток. Конечно-разностные аналоги производных.	7	2	6	2	Вопросы на лекции, вопросы по практической работе, письменный опрос, опрос перед	2	ОК-2 ОК-5 ПК-3 ОПК-3 ОПК-5



						лабораторной работой, отчёт по лабораторной работе		
13	Повышение порядка точности аппроксимации производных.	7	0	4	2	Вопросы по практической работе, письменный опрос, опрос перед лабораторной работой, отчёт по лабораторной работе	2	ОК-3 ОК-5 ПК-3 ОПК-1 ОПК-5
14	Метод шагов по времени.	7	2	6	2	Вопросы на лекции, вопросы по практической работе, письменный опрос, опрос перед лабораторной работой, отчёт по лабораторной работе	4	ОК-2 ОК-5 ПК-3 ОПК-3 ОПК-5
15	Анализ ошибок, возникающих при аппроксимации линейного уравнения адвекции конечными разностями.	7	0	4	2	Вопросы по практической работе, письменный опрос, опрос перед лабораторной работой, отчёт по лабораторной работе	2	ОК-2 ОК-5 ПК-3 ОПК-3 ОПК-5
16	Схемы интегрирования по времени.	7	0	2	2	Вопросы по практической работе, письменный опрос, опрос перед лабораторной работой, отчёт по лабораторной работе	2	ОК-2 ОК-5 ПК-3 ОПК-3 ОПК-5
17	Устойчивость конечно-разностных схем.	7	0	4	2	Вопросы по практической работе, письменный опрос, опрос перед лабораторной	1	ОК-2 ОК-5 ПК-3 ОПК-3 ОПК-5

							работой, отчёт по лабораторной работе		
18	Анализ свойств дисперсионных	7	0	2	2		Вопросы по практической работе, письменный опрос.	1	ОК-2 ОК-5 ПК-3 ОПК-3 ОПК-5
19	Уравнения колебаний, трения. Конечно-разностная аппроксимация и анализ. Анализ изменения фазы решения.	7	0	0	2		Вопросы по практической работе, письменный опрос.	1	ОК-2 ОК-5 ПК-3 ОПК-3 ОПК-5
20	Нелинейное уравнение адвекции. Нелинейная вычислительная неустойчивость.	7	0	2	2		Вопросы по практической работе, письменный опрос, опрос перед лабораторной работой, отчёт по лабораторной работе	2	ОК-2 ОК-5 ПК-3 ОПК-3 ОПК-5
21	Аппроксимация уравнений модели мелкой воды на расшатанных и нерасшатанных сетках.	7	0	2	2		Вопросы по практической работе, письменный опрос, опрос перед лабораторной работой, отчёт по лабораторной работе	2	ОК-2 ОК-5 ПК-3 ОПК-3 ОПК-5
22	Система уравнений гидротермодинамики атмосферы в сферической системе координат	8	2	0	8		Вопросы на лекции	0	ОК-2 ОК-5 ПК-3 ОПК-3 ОПК-5
23	Постановка задачи локального гидродинамического прогноза погоды.	8	4	2	8			0	ОК-2 ОК-5 ПК-3 ОПК-3 ОПК-5
24	Спектральные методы решения уравнений гидродинамики атмосферы	8	8	10	10		Вопросы на лекции, вопросы на лабораторных работах	1	ОК-2 ОК-5 ПК-3 ОПК-3 ОПК-5
25	Специальные схемы интегрирования уравнений гидротермодинамики атмосферы	8	2	2	8		Вопросы на лекции, вопросы на лабораторных работах	1	ОК-2 ОК-5 ПК-3 ОПК-3



								ОПК-5
26	Различные схемы интегрирования уравнений гидротермодинамики атмосферы по времени (на примере уравнений модели «мелкой воды»)	8	2	4	6	Вопросы на лекции, вопросы на лабораторных работах	1	ОК-2 ОК-5 ПК-3 ОПК-3 ОПК-5
27	Повышение точности интегрирования уравнений по вертикали.	8	2	2	6	Вопросы на лекции, вопросы на лабораторных работах	0	ОК-2 ОК-5 ПК-3 ОПК-3 ОПК-5
28	Дисперсионные свойства конечно-разностных схем	8	2	2	6	Вопросы на лекции, вопросы на лабораторных работах	0	ОК-2 ОК-5 ПК-3 ОПК-3 ОПК-5
29	Исследование чувствительности гидродинамических моделей атмосферы	8	2	2	2	Вопросы на лекции, вопросы на лабораторных работах		ОК-2 ОК-5 ПК-3 ОПК-3 ОПК-5
<b>Итого</b>			<b>54</b>	<b>70</b>	<b>92</b>		<b>30</b>	
С учетом трудозатрат при подготовке и сдаче экзамена (36 часов)					<b>252</b>			

### Заочное обучение

2014, 2015, 2016, 2017, 2018 гг. набора

№ п/п	Раздел дисциплины	Курс	Виды учебной работы, в т.ч. самостоятельная работа студентов			Формы текущего контроля успеваемости	Занятия в активной и интерактивной форме, час	Формируемые компетенции
			Лекции	Практические занятия	Самостоятельная работа			
1	Система уравнений гидротермодинамики атмосферы	4	0	0	6	Письменный опрос.	0	ОК-2 ОК-5 ПК-3
2	Постановка задачи гидродинамического прогноза погоды	4	2	2	8	Вопросы на лекции, вопросы по практической работе, письменный опрос.	1	ОК-2 ОК-5 ПК-3
3	Системы координат, используемые в гидродинамических моделях атмосферы.	4	0	0	10	Письменный опрос.	0	ОК-2 ОК-5 ПК-3
4	Фильтрация модели	4	0	0	12	Письменный	0	ОК-2

	атмосферы					опрос.		ОК-5 ПК-3
5	Модель мелкой воды	4	2	2	10	Вопросы на лекции, вопросы по практической работе, письменный опрос.	0	ОК-2 ОК-5 ПК-3
6	Инварианты гидродинамических моделей атмосферы. Бокс метод.	5	0	0	12	Письменный опрос.	0	ОК-2 ОК-5 ПК-3
7	Метод расщепления. Методы (явные, неявные и полуявные) интегрирования уравнений гидротермодинамики атмосферы.	5	2	0	12	Вопросы на лекции	1	ОК-2 ОК-5 ПК-3
8	Расшатанные сетки. Дисперсионные свойства.	5	0	2	10	Вопросы по практической работе, письменный опрос.	0	ОК-2 ОК-5 ПК-3
9	Анализ устойчивости и дисперсионных свойств уравнений адаптации.	5	2	2	10	Вопросы на лекции, вопросы по практической работе, письменный опрос.	0	ОК-2 ОК-5 ПК-3
10	Методы борьбы с нелинейной вычислительной неустойчивостью.	5	0	2	12	Вопросы по практической работе, письменный опрос.	1	ОК-2 ОК-5 ПК-3 ОПК-3 ОПК-5
11	Постановка задачи регионального гидродинамического прогноза	5	2	2	10	Вопросы на лекции	0	ОК-2 ОК-5 ПК-3 ОПК-3 ОПК-5
12	Метод сеток. Конечно-разностные аналоги производных.	5	2	0	8	Вопросы на лекции, письменный опрос	0	ОК-2 ОК-5 ПК-3 ОПК-3 ОПК-5
13	Повышение порядка точности аппроксимации производных.	5	0	0	12	Письменный опрос	1	ОК-2 ОК-5 ПК-3 ОПК-3 ОПК-5
14	Метод шагов по	5	0	2	12	Вопросы по	0	ОК-2



	времени.					практической работе, письменный опрос		ОК-5 ПК-3 ОПК-3 ОПК-5
15	Анализ ошибок, возникающих при аппроксимации линейного уравнения адвекции конечными разностями.	5	0	0	10	Письменный опрос	0	ОК-2 ОК-5 ПК-3 ОПК-3 ОПК-5
16	Схемы интегрирования по времени.	5	0	0	10	Письменный опрос	0	ОК-2 ОК-5 ПК-3 ОПК-3 ОПК-5
17	Устойчивость конечно-разностных схем.	5	0	2	10	Вопросы по практической работе, письменный опрос	0	ОК-2 ОК-5 ПК-3 ОПК-3 ОПК-5
18	Анализ дисперсионных свойств	5	0	0	10	Письменный опрос.	0	ОК-2 ОК-5 ПК-3 ОПК-3 ОПК-5
19	Уравнения колебаний, трения. Конечно-разностная аппроксимация и анализ. Анализ изменения фазы решения.	5	0	2	12	Вопросы по практической работе, письменный опрос.	0	ОК-2 ОК-5 ПК-3 ОПК-3 ОПК-5
20	Нелинейное уравнение адвекции. Нелинейная вычислительная неустойчивость.	5	0	2	10	Вопросы по практической работе, письменный опрос	0	ОК-2 ОК-5 ПК-3 ОПК-3 ОПК-5
21	Аппроксимация уравнений модели мелкой воды на расщатанных и нерасщатанных сетках.	5	0	2	8	Вопросы по практической работе, письменный опрос	0	ОК-2 ОК-5 ПК-3 ОПК-3 ОПК-5
<b>Итого часов:</b>			<b>12</b>	<b>22</b>	<b>205</b>		<b>4</b>	
С учетом трудозатрат при подготовке и сдаче экзамена (13 часов)					<b>252</b>			

## 4.2. Содержание разделов дисциплины

### 4.2.1 Система уравнений гидротермодинамики атмосферы

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.

### 4.2.2 Постановка задачи гидродинамического прогноза погоды

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.

### 4.2.3 Системы координат, используемые в гидродинамических моделях атмосферы

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.

### 4.2.4 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.

### 4.2.5 Модель «мелкой воды»

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

### 4.2.6 Инварианты гидродинамических моделей атмосферы. Бокс метод

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 бароклинных моделей атмосферы в различных системах координат. Построение моделей, обладающих инвариантами. Бокс метод: вывод уравнений, достоинства, недостатки, граничные условия.

#### **4.2.7 Метод расщепления. Методы (явные, неявные и полунявные) интегрирования уравнений гидротермодинамики атмосферы.**

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.

#### **4.2.8 Расшатанные сетки. Дисперсионные свойства**

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.

#### **4.2.9 Анализ устойчивости и дисперсионных свойств уравнений адаптации**

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

#### **4.2.10 Методы борьбы с нелинейной вычислительной неустойчивостью**

Нелинейная вычислительная неустойчивость и методы борьбы с ней.

#### **4.2.11 Постановка задачи регионального гидродинамического прогноза**

Особенности гидродинамического прогноза на ограниченной территории. Постановка граничных условий. Телескопизация.

#### **4.2.12 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.

#### **4.2.13 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.

#### 4.2.14 Метод шагов по времени

Линейное уравнение адвекции. Точное решение уравнения адвекции. Принципиальная схема прогноза. Различные способы аппроксимации.

#### 4.2.15 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.

#### 4.2.16 Схемы интегрирования по времени

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.

#### 4.2.17 Устойчивость конечно-разностных схем

Устойчивость конечно-разностных схем интегрирования. Методы анализа устойчивости. Прямой метод. Энергетический метод. Метод Неймана. Анализ устойчивости двухуровневых и трёхуровневых 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.

#### 4.2.18 Анализ дисперсионных свойств

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

#### 4.2.19 Уравнения колебаний, трения. Конечно-разностная аппроксимация и анализ. Анализ изменения фазы решения.

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

#### 4.2.20 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.



#### **4.2.21 Аппроксимация уравнений модели мелкой воды на расштатанных и нерасштатанных сетках**

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

#### **4.2.22 Система уравнений гидротермодинамики атмосферы в сферической системе координат**

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.

#### **4.2.23 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.

#### **4.2.24 Постановка задачи регионального гидродинамического прогноза погоды**

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

#### **4.2.25 Специальные схемы интегрирования уравнений гидротермодинамики атмосферы**

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

#### **4.2.26 Различные схемы интегрирования уравнений гидротермодинамики атмосферы по времени (на примере уравнений модели «мелкой воды»)**

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.

#### **4.2.27 Повышение точности интегрирования уравнений по вертикали**

Использование конечно-разностных аналогов с повышенным порядком точности. Расштатанные по вертикали сетки. Сетка Лоренца. Сетка Чарни. Аппроксимация сплайнами. Метод конечных элементов.

#### 4.2.28 Дисперсионные свойства конечно-разностных схем

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

#### 4.2.29 Исследование чувствительности гидродинамических моделей атмосферы

Определение чувствительности. Прямой метод исследования чувствительности. Исследования чувствительности моделей с помощью методов теории управления. Вектор параметров. Уравнения в вариациях. Решение обратных задач. Настройка и балансировка гидродинамических моделей атмосферы.

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

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование работ	Форма проведения	Формируемые компетенции
1	13	Аппроксимация производных и уравнений с частными производными	Лабораторная работа	ОК-2, ОК-5 ПК-3 ОПК-3, ОПК-5
2	14	Повышение точности конечно-разностных аналогов производных	Лабораторная работа	ОК-2, ОК-5 ПК-3 ОПК-3, ОПК-5
3	15	Схемы интегрирования по времени	Лабораторная работа	ОК-2, ОК-5 ПК-3, ОПК-3
4	16	Анализ ошибки аппроксимации, порядка точности, вычислительной вязкости, согласованности.	Лабораторная работа	ОК-2, ОК-5 ПК-3, ОПК-3
5	18	Анализ устойчивости.	Практическая работа	ОК-2, ОК-5 ПК-3, ОПК-3
6	19	Анализ дисперсионных свойств	Лабораторная работа	ОК-2, ОК-5 ПК-3, ОПК-3
7	21	Решение нелинейного уравнения адвекции	Лабораторная работа Практическое занятие	ОК-2, ОК-5 ПК-3
8	22	Аппроксимация уравнений модели мелкой воды на расшатанных и нерасшатанных сетках.	Лабораторная работа	ОК-2, ОК-5 ПК-3
9	17	Сравнительный анализ схем интегрирования по времени	Лабораторная работа Практическая работа	ОК-2, ОК-5 ПК-3
10	18	Сравнительный анализ устойчивости конечно-разностных схем интегрирования по времени	Лабораторная работа	ОК-2, ОК-5 ПК-3
11	20	Применение схем интегрирования по времени к уравнению колебаний	Лабораторная работа	ОК-2, ОК-5 ПК-3, ОПК-3
12	15	Разработка алгоритма интегрирования	Практическая	ОК-2, ОК-5



		по времени методом шагов по времени уравнений адвекции и колебаний	работа	ПК-3
13	14	Сравнительный анализ использования разных схем интегрирования уравнения неразрывности	Практическая работа	ОК-2, ОК-5 ПК-3
14	13	Анализ точности конечно-разностных аналогов производных	Практическая работа	ОК-2, ОК-3 ПК-3
15	9	Анализ устойчивости уравнений адаптации модели мелкой воды	Лабораторная работа	ОК-2, ОК-5 ПК-3
16	6	Аппроксимация уравнений модели мелкой воды различными схемами для разных сеток	Лабораторная работа	ОК-2, ОК-5 ПК-3
18	5	Решение уравнения вихря скорости методом простой итерации	Лабораторная работа	ОК-2, ОК-5 ПК-3 ОПК-3
19	3	Постановка начальных и граничных условий для задачи гидродинамического прогноза погоды	Лабораторная работа	ОК-2, ОК-5 ПК-3, ОПК-3
20	26	Численные эксперименты с квазимонотонными схемами интегрирования прогностических уравнений.	Лабораторная работа	ОК-2, ОК-5 ПК-3, ОПК-3
21	16	Численные эксперименты с консервативными схемами интегрирования прогностических уравнений	Практическая работа	ОК-2, ОК-5 ПК-3, ОПК-3
22	27	Постановка различных граничных условий при моделировании региональных атмосферных процессов	Лабораторная работа	ОК-2, ОК-5 ПК-3, ОПК-3
23	22	Интегрирование модели «Мелкой воды» при помощи различных схем	Практическая работа	ОК-2, ОК-5 ПК-3, ОПК-3
24	27	Интегрирование по вертикали диагностических уравнений	Лабораторная работа	ОК-2, ОК-5 ПК-3, ОПК-3
25	25	Спектральные методы интегрирования	Лабораторная работа	ОК-2, ОК-5 ПК-3, 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 выдается 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 синоптическое наблюдения на станциях

(Правильный ответ – а)

**Вопросы к коллоквиуму перед выполнением лабораторной работы №3 «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?

### 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.

Студенты заочной формы обучения выполняют контрольную работу, пользуясь методическими указаниями.

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

### 5.3. Промежуточный контроль

#### Очная форма обучения

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

Контроль по результатам 8-го учебного семестра – экзамен.

#### Заочная форма обучения

Промежуточный контроль по результатам 4-го учебного года – дифференцированный зачет.

Контроль по результатам 5-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.

#### Вопросы к зачету

- 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 трёхуровневых 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

**Образец тестов к зачету 7 семестр**  
(правильный ответ подчеркнут)

- 1) Анализ устойчивости конечно разностных схем производится по методу
  - a) Аракавы
  - b) Неймана
  - c) Тейлора
  - d) Эйлера
  
- 2) В гидродинамическом прогнозе уравнения решаются
  - a) точно
  - b) приближенно
  - c) точно или приближенно зависит от синоптической ситуации
  - d) точно или приближенно зависит от данных измерений на сети метеорологических станций

**Перечень вопросов к экзамену**

1. Уравнения гидродинамики в сферической системе координат.
2. Уравнения гидродинамики в системе координат описывающий рельеф.
3. Особенности прогноза влажности в гидродинамических моделях атмосферы.
4. Спектральные методы, используемые в атмосферных моделях атмосферы.
5. Особенности прогноза на ограниченной территории.
6. Начальные условия для гидродинамических моделей атмосферы.
7. Граничные условия для гидродинамических моделей атмосферы.
8. Спектральные методы, используемые для гидродинамического прогноза.



9. Базисные функции, используемые в гидродинамических моделях.
10. Свойства сферических функций.
11. Разложения в ряд по тригонометрическим функциям.
12. Получение определяющей системы уравнений.
13. Использование метода наименьших квадратов при минимизации невязки.
14. Метод Галёркина при минимизации невязки.
15. Причины параметризаций физических процессов в гидродинамических моделях атмосферы.
16. Основные принципы параметризаций физических процессов в атмосферных моделях.
17. Основные параметризуемые процессы в гидродинамических моделях атмосферы.
18. Подготовка начальных данных для гидродинамических моделей атмосферы.
19. Ассимиляция.
20. Ансамблевый прогноз.

## Образцы билетов к экзамену

### Экзаменационный билет № 1

**Российский Государственный Гидрометеорологический Университет**  
 Метеорологический факультет  
 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**  
 Метеорологический факультет  
 Кафедра метеорологических прогнозов

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. 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:

2. Белов Н. П., Борисенков Е. П., Панин Б. Д.. Численные методы прогноза погоды. – Л.: Гидрометеоздат, 1989. [http://elibr.rshu.ru/files\\_books/pdf/img-090589.pdf](http://elibr.rshu.ru/files_books/pdf/img-090589.pdf)
3. Белов Н. П. Численные методы прогноза погоды. – Л.: Гидрометеоздат, 1975.
4. Репинская Р. П., Анискина О. Г. Конечно-разностные методы в гидродинамическом моделировании атмосферных процессов. – СПб.: РГГМИ, 2001 [http://elibr.rshu.ru/files\\_books/pdf/img-213172857.pdf](http://elibr.rshu.ru/files_books/pdf/img-213172857.pdf)

### 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](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

win7 48818295 20.07.2011



office 2010 49671955 01.02.2012

windows 7 48130165 21.02.2011

office 2010 49671955 01.02.2012

язык высокого уровня GUN Fortran (свободно распространяемый продукт)

система анализа и представления данных GRADS (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><b>Лекции</b> (темы №1-13, 15, 22-29)</p>	<p>Написание конспекта лекций: последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины.</p> <p>Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников и общения с преподавателями с выписыванием толкований в тетрадь.</p> <p>Обозначить вопросы, термины, материал, который вызывает трудности, пометить и попытаться найти ответ в рекомендуемой литературе и в общении с преподавателями.</p> <p>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><b>Лабораторные и практические занятия</b> (темы №3, 5, 6, 9, 12-18, 21,-22, 25)</p>	<p>Проработка рабочей программы, уделяя особое внимание целям и задачам структуре и содержанию дисциплины.</p> <p>Конспектирование источников, прежде всего - базового учебника.</p> <p>Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы и работа с текстом.</p> <p>Разработка программ на языке высокого уровня Fortran.</p>
<p><b>Индивидуальные задания</b></p>	<p>Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы и анализ вычислительных схем.</p> <p>Разработка программ на языке высокого уровня Fortran.</p>
<p><b>Подготовка к зачету и экзамену</b></p>	<p>При подготовке к зачету и экзамену необходимо ориентироваться на конспекты лекций, рекомендуемую литературу, вопросы для подготовки к экзамену и т.д.</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
Темы 1-29	<u>информационные технологии</u> 1. чтение лекций с использованием слайд-презентаций, 2. организация взаимодействия с обучающимися посредством электронной почты 3. проведение компьютерного тестирования <u>образовательные технологии</u> 1. интерактивное взаимодействие педагога и студента 2. сочетание индивидуального и коллективного обучения	1. Пакет Microsoft Excel, PowerPoint. 2. Электронно-библиотечная система ГидроМетеоОнлайн <a href="http://elib.rshu.ru">http://elib.rshu.ru</a> 3. Использование сайта кафедры метеорологических прогнозов <a href="http://ra.rshu.ru/mp">http://ra.rshu.ru/mp</a>
Темы 13-18, 21-29	<u>информационные технологии</u> 1. чтение лекций с использованием слайд-презентаций, 2. организация взаимодействия с обучающимися посредством электронной почты 3. проведение компьютерного тестирования <u>образовательные технологии</u> 1. интерактивное взаимодействие педагога и студента 2. сочетание индивидуального и коллективного обучения	1. компилятор языка программирования GUN Fortran 2. система анализа и представления данных GRADS 3. Пакет Microsoft Excel, PowerPoint. 4. Электронно-библиотечная система ГидроМетеоОнлайн <a href="http://elib.rshu.ru">http://elib.rshu.ru</a> 5. Использование сайта кафедры метеорологических прогнозов <a href="http://ra.rshu.ru/mp">http://ra.rshu.ru/mp</a>

### 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, доской, комплектом мультимедийного оборудования, обеспечивающим 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. Персональный компьютер типа Notebook.
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.