

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ  
филиал ФГБОУ ВО «РГГМУ» в г. Туансе

Кафедра «Метеорологии, экологии и природопользования»

Рабочая программа по дисциплине

**ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АТМОСФЕРНЫХ  
ПРОЦЕССОВ**

Основная профессиональная образовательная программа  
высшего образования программы бакалавриата по направлению подготовки

**05.03.05 «Прикладная гидрометеорология»**

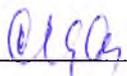
Направленность (профиль):  
**Прикладная метеорология**

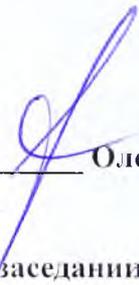
Квалификация:  
**Бакалавр**

Форма обучения  
**Очная, заочная**

Год поступления 2022, 2021

Согласовано  
Руководитель ОПОП  
«Прикладная гидрометеорология»

 Цай С.Н.

Утверждаю  
Директор филиала ФГБОУ  
ВО «РГГМУ» в г. Туансе  Олейников С.А.

Рассмотрена и утверждена на заседании кафедры  
20 июня 2023 г., протокол № 4

Зав. кафедрой  Цай С.Н.

Авторы-разработчики:  
\_\_\_\_\_ Дымов-Иванов В.В.

\_\_\_\_\_ Туансе 2023

Рассмотрена и рекомендована к использованию в учебном процессе на 2023/2024 учебный год без изменений\*

**Протокол заседания кафедры № 4 от 20 июня 2023 г**

Рассмотрено и рекомендовано к использованию в учебном процессе на \_\_\_\_/\_\_\_\_ учебный год с изменениями (см. лист изменений)\*\*

**Протокол заседания кафедры \_\_\_\_\_ от \_\_.\_\_.20\_\_ №\_\_**

\*Заполняется при ежегодном пересмотре программы, если в неё не внесены изменения

\*\* Заполняется при ежегодном пересмотре программы, если в неё внесены изменения

### 1. Цель и задачи освоения дисциплины

**Цель** освоения дисциплины – сформировать и конкретизировать знания и навыки применения основ гидродинамики и законов сохранения к анализу динамики атмосферы Земли.

#### **Задачи:**

- ознакомление с основами гидродинамики и методами применения их для анализа динамики атмосферы;
- изучение теоретических основ математического моделирования различных циркуляционных процессов;
- изучение основных принципов численного (гидродинамического) прогноза погоды.

### 2. Место дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы

Дисциплина «Гидродинамическое моделирование атмосферных процессов» относится к дисциплинам части, формируемой участниками образовательных отношений Блока 1 рабочего учебного плана подготовки бакалавров по направлению подготовки 05.03.05 – «Прикладная гидрометеорология», профиль подготовки «Прикладная метеорология».

Дисциплина «Гидродинамическое моделирование атмосферных процессов» изучается в 8 семестре очной формы обучения и на 5 курсе заочной формы обучения.

Для освоения данной дисциплины, обучающиеся должны освоить разделы дисциплин: «Физика», «Математика», «Физика атмосферы», «Физическая метеорология», «Геофизическая гидродинамика», «Динамическая метеорология».

Параллельно с дисциплиной «Гидродинамическое моделирование атмосферных процессов» изучается дисциплина «Линейная теория атмосферных волн».

Знания, полученные в результате изучения дисциплины «Гидродинамическое моделирование атмосферных процессов» могут быть использованы при написании научно-исследовательской работы, при проведении преддипломной практики, а также при подготовке выпускной квалификационной работы.

### 3. Перечень планируемых результатов обучения

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование компетенций: ПК-2, ПК-5.

Таблица 1.

#### Профессиональные компетенции

| Код и наименование профессиональной компетенции  | Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции                | Результаты обучения   |
|--|--|---|
| ПК-2. Способен анализировать явления и процессы природной среды, выявлять их закономерности. | ПК-2.2. Выявляет закономерности и аномалии происходящих процессов в природной среде. | <i>Знать:</i><br>- Основные закономерности и аномалии процессов, происходящих в атмосфере;<br><i>Уметь:</i><br>- Обрабатывать, систематизировать и анализировать данные наблюдений и выявлять в них аномальные значения;<br><i>Владеть:</i> |

|  |   |   |
|--|---|---|
|  |   | - Методами анализа атмосферных явлений разных пространственных масштабов.   |
| <b>ПК-5.</b> Способен систематизировать метеорологическую информацию, полученную различными способами. | ПК-5.1. Использует различные источники (данные наблюдений, экспериментов и результатов моделирования) и методы получения информации о конкретном явлении или процессе | <i>Знать:</i><br>- Источники получения метеорологической информации;<br><i>Уметь:</i><br>- Обрабатывать, метеорологическую информацию из различных источников;<br><i>Владеть:</i><br>- Навыками обработки метеорологической информации из различных источников.   |
|  | ПК-5.2. Оценивает качество полученной метеорологической информации  | <i>Знать:</i><br>- Требования к качеству метеорологической информации;<br><i>Уметь:</i><br>- Обрабатывать и корректировать полученную метеорологическую информацию;<br><i>Владеть:</i><br>- Навыками обработки и корректировки полученной метеорологической информации.                                     |
|  | ПК-5.3. Проводит анализ и систематизацию поступившей информации, которая может быть использована в том числе для составления обзоров и справочников                   | <i>Знать:</i><br>- Требования к полноте и достоверности метеорологической информации;<br><i>Уметь:</i><br>- Обрабатывать, корректировать и систематизировать полученную метеорологическую информацию;<br><i>Владеть:</i><br>- Навыками и методиками систематизации полученной метеорологической информации. |

#### 4. Структура и содержание дисциплины

##### 4.1. Объем дисциплины

Объем дисциплины составляет 5 зачетные единицы, 180 академических часов.

Таблица 2.

Объем дисциплины по видам учебных занятий в академических часах

| Объём дисциплины  | Всего часов          |                        |
|---|----------------------|------------------------|
|   | Очная форма обучения | Заочная форма обучения |
|   | 2021 года набора     |                        |
| <b>Общая трудоёмкость дисциплины</b>  | <b>180 часов</b>     | <b>180 часов</b>       |
| <b>Контактная работа обучающихся с преподавателями (по видам аудиторных учебных занятий) – всего:</b> | <b>70</b>            | <b>20</b>              |
| в том числе:  |                      |                        |
| лекции  | <b>28</b>            | <b>8</b>               |
| лабораторные занятия  | <b>42</b>            | <b>12</b>              |
| семинарские занятия   | -                    | -                      |
| <b>Самостоятельная работа (СРС) – всего:</b>  | <b>110</b>           | <b>160</b>             |
| в том числе:  |                      |                        |
| курсовая работа   | -                    | -                      |
| контрольная работа  | -                    | +                      |
| <b>Вид промежуточной аттестации</b>   | <b>Экзамен</b>       | <b>Экзамен</b>         |

##### 4.2. Структура дисциплины

Таблица 3.

Структура дисциплины для очной формы обучения

| № | Раздел / тема дисциплины  | Семестр | Виды учебной работы, в т.ч. самостоятельная работа студентов, час. |                      |     | Формы текущего контроля успеваемости  | Формируемые компетенции | Индикаторы достижения компетенций |
|---|---|---------|--|----------------------|-----|---|-------------------------|-----------------------------------|
|   |   |         | Лекции   | Лабораторные занятия | СРС |   |                         |                                   |
| 1 | Гидродинамический подход описания и прогноза атмосферных процессов. | 8       | 8  | 6                    | 22  | Контрольное расчётное задание, опрос студентов по результатам контрольного расчетного задания | ПК-2, ПК-5              | ПК-2.2, ПК-5.1, ПК-5.2, ПК-5.3.   |
| 2 | Интегрирован  | 8       | 12   | 21                   | 49  | Контрольное   | ПК-2, ПК-5              | ПК-2.2, ПК-5.1,                   |

|          |   |   |           |           |            |   |            |                                 |
|----------|---|---|-----------|-----------|------------|---|------------|---------------------------------|
|          | ие гидродинамические уравнений атмосферных процессов.                         |   |           |           |            | расчётное задание, опрос студентов по результатам контрольного расчетного задания             |            | ПК-5.2, ПК-5.3.                 |
| <b>3</b> | Спектральные и специальные методы решения уравнений гидродинамик и атмосферы. | 8 | 8         | 15        | 39         | Контрольное расчётное задание, опрос студентов по результатам контрольного расчетного задания | ПК-2, ПК-5 | ПК-2.2, ПК-5.1, ПК-5.2, ПК-5.3. |
|          | <b>ИТОГО</b>  | - | <b>28</b> | <b>42</b> | <b>110</b> | -   | -          | -                               |

Таблица 4

Структура дисциплины для заочной формы обучения

| №        | Раздел / тема дисциплины  | Курс | Виды учебной работы, в т.ч. самостоятельная работа студентов, час. |                      |     | Формы текущего контроля успеваемости  | Формируемые компетенции | Индикаторы достижения компетенций |
|----------|---|------|--|----------------------|-----|---|-------------------------|-----------------------------------|
|          |   |      | Лекции   | Лабораторные занятия | СРС |   |                         |                                   |
| <b>1</b> | Гидродинамический подход описания и прогноза атмосферных процессов. | 5    | 2  | 4                    | 40  | Контрольное расчётное задание, опрос студентов по результатам контрольного расчетного задания | ПК-2, ПК-5              | ПК-2.2, ПК-5.1, ПК-5.2, ПК-5.3.   |
| <b>2</b> | Интегрированное гидродинамическое уравнение атмосферных процессов.  | 5    | 4  | 4                    | 60  | Контрольное расчётное задание, опрос студентов по результатам контрольного расчетного задания | ПК-2, ПК-5              | ПК-2.2, ПК-5.1, ПК-5.2, ПК-5.3.   |
| <b>3</b> | Спектральные и специальные методы решения уравнений гидродинамик    | 5    | 2  | 4                    | 60  | Контрольное расчётное задание, опрос студентов по результатам контрольного расчетного задания | ПК-2, ПК-5              | ПК-2.2, ПК-5.1, ПК-5.2, ПК-5.3.   |

|  |              |   |          |           |  |   |   |   |
|--|--------------|---|----------|-----------|--|---|---|---|
|  | и атмосферы. |   |          |           |  |   |   |   |
|  | <b>ИТОГО</b> | - | <b>8</b> | <b>12</b> |  | - | - | - |

### 4.3. Содержание разделов/тем дисциплины

#### 4.3.1. Гидродинамический подход описания и прогноза атмосферных процессов.

*Тема 4.3.1.1. Система уравнений гидротермодинамики атмосферы. Постановка задачи гидродинамического 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 системе координат. Методы преодоления недостатков. Повернутая сферическая система координат.

*Тема 4.3.1.2 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 системе координат. Принципиальная схема прогноза по уравнениям модели «мелкой воды». Начальные и граничные условия.

#### 4.3.2. Интегрирование гидродинамических уравнений атмосферных процессов.

*Тема 4.3.2.1. 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 бароклиных 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 полунеявные схемы интегрирования уравнений гидродинамических моделей атмосферы: принципиальная схема прогноза, достоинства, недостатки.

*Тема 4.3.2.2. Метод сеток. Конечно-разностные аналоги производных Расшатанные сетки.*

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.

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.

*Тема 4.3.2.3. Метод шагов по времени.*

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

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

*Тема 4.3.2.4. 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.

### **4.3.3. Спектральные и специальные методы решения уравнений гидродинамики атмосферы.**

*Тема 3.1. 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.

*Тема 3.2. 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.

*Тема 3.3. Описание физических процессов в гидродинамических моделях атмосферы.*

Проблема описания 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.

#### 4.4. Содержание занятий семинарского типа

Таблица 5

Содержание лабораторных занятий для очной формы обучения

| № темы дисциплины | Тематика лабораторных занятий  | Всего часов | В том числе часов практической подготовки |
|-------------------|--|-------------|---|
| 1                 | Система уравнений гидротермодинамики атмосферы. Постановка задачи гидродинамического прогноза погоды | 3           | -   |
| 1                 | Фильтрация модели атмосферы. Модель мелкой воды  | 3           | -   |
| 2                 | Методы интегрирования уравнений гидротермодинамики атмосферы   | 3           | -   |
| 2                 | Расшатанные сетки.   | 3           | -   |
| 2                 | Постановка задачи регионального гидродинамического прогноза  | 3           | -   |
| 2                 | Метод сеток. Конечно-разностные аналоги производных.   | 3           | -   |
| 2                 | Метод шагов по времени. Схемы интегрирования по времени.   | 3           | -   |
| 2                 | Анализ ошибок, возникающих при аппроксимации   | 3           | -   |
| 2                 | Нелинейная вычислительная неустойчивость. Методы борьбы с нелинейной вычислительной неустойчивостью  | 3           | -   |
| 3                 | Спектральные методы решения уравнений гидродинамики атмосферы  | 3           | -   |
| 3                 | Специальные схемы интегрирования уравнений гидротермодинамики атмосферы                              | 3           | -   |
| 3                 | Повышение точности интегрирования уравнений по вертикали.  | 3           | -   |
| 3                 | Описание физических процессов в гидродинамических моделях атмосферы                                  | 3           | -   |

|   |                             |   |   |
|---|-----------------------------|---|---|
| 3 | Подготовка начальных данных | 3 | - |
|---|-----------------------------|---|---|

Таблица 6.

Содержание лабораторных занятий для заочной формы обучения

| № темы дисциплины | Тематика лабораторных занятий                                 | Всего часов | В том числе часов практической подготовки |
|-------------------|---|-------------|---|
| 2                 | Методы интегрирования уравнений гидротермодинамики атмосферы  | 3           | -   |
| 2                 | Метод сеток. Конечно-разностные аналоги производных.          | 3           | -   |
| 3                 | Спектральные методы решения уравнений гидродинамики атмосферы | 3           | -   |
| 3                 | Повышение точности интегрирования уравнений по вертикали      | 3           | -   |

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

В течение семестра студент обязан самостоятельно проработать материал, изложенный на лекциях, для чего рекомендуется использовать сделанные на лекциях конспекты, изучить основную и дополнительную литературу, в частности, указанную в пункте 8 настоящей программы, использовать материалы сети Интернет.

Дополнительно к лекционным и практическим занятиям студент может приходить на консультации с преподавателем, для чего студент может использовать возможности удаленного доступа (Интернет).

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

#### 6.1. Текущий контроль

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

#### а) Примеры заданий текущего контроля

Письменный контроль (тестирование, выполнение заданий).

Беседа со студентами (опрос студентов) с анализом и обсуждением результатов.

#### Тестирование

1. 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

#### Вопросы, задаваемые на занятиях:

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?

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

Выполнение рефератов, эссе и докладов по данной дисциплине не предусмотрено.

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

Выполнение курсовых работ по данной дисциплине не предусмотрено учебным планом.

### **6.2. Промежуточная аттестация**

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

Форма промежуточной аттестации по дисциплине – экзамен. Экзамен проходит в устной или письменной форме. Обучающемуся предлагается ответить на вопросы по билетам.

#### **Перечень вопросов для подготовки к экзамену (ПК-2, ПК-5).**

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. Расштанная 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.

### 6.3. Балльно-рейтинговая система оценивания

Таблица 7.

Распределение баллов по видам учебной работы

| <b>Вид учебной работы, за которую ставятся баллы</b>  | <b>Баллы</b> |
|---|--------------|
| Посещение лекционных занятий  | 10           |
| Опрос студентов и отчет по контрольному заданию по разделу «Гидродинамический подход описания и прогноза атмосферных процессов».          | 20           |
| Опрос студентов и отчет по контрольному заданию по разделу «Интегрирование гидродинамических уравнений атмосферных процессов».            | 20           |
| Опрос студентов и отчет по контрольному заданию по разделу «Спектральные и специальные методы решения уравнений гидродинамики атмосферы». | 20           |
| Промежуточная аттестация  | 30           |
| <b>ИТОГО</b>  | <b>100</b>   |

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

Таблица 8.

Балльная шкала итоговой оценки на экзамене

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

### 7. Методические рекомендации для обучающихся по освоению дисциплины

Методические рекомендации ко всем видам аудиторных занятий, а также методические рекомендации по организации самостоятельной работы, в том числе по подготовке к текущему контролю и промежуточной аттестации представлены в Методических рекомендациях для обучающихся по освоению дисциплины «Гидродинамическое моделирование атмосферных процессов».

### 8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

#### 8.1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

##### Основная литература

1. Динамическая метеорология для океанологов : учебное пособие / В.М. Радикевич – Л., изд. ЛПИ, 1985. – 157 с. - [Электронный ресурс; Режим доступа [http://elib.rshu.ru/files\\_books/pdf/img-213174722.pdf](http://elib.rshu.ru/files_books/pdf/img-213174722.pdf)].

2. Динамическая метеорология : учебное пособие / И.И. Мельникова, В.М. Радикевич. – Л.: изд. ЛПИ, 1974. – 168 с. - [Электронный ресурс; Режим доступа [http://elib.rshu.ru/files\\_books/pdf/img-218124340.pdf](http://elib.rshu.ru/files_books/pdf/img-218124340.pdf)].

3. Практикум по курсу «Динамическая метеорология» :учебное пособие / И.Ю. Мелкая. – Л.: изд. ЛПИ, 1980. – 89 с. - [Электронный ресурс; Режим доступа [http://elib.rshu.ru/files\\_books/pdf/img-218134645.pdf](http://elib.rshu.ru/files_books/pdf/img-218134645.pdf)].

4. Бахвалов, Н. С. Численные методы / Н. С. Бахвалов, Н. П.Жидков,Г. М. Кобельков. - 7-е изд. (эл.). - М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. - 636 с. - [Электронный ресурс; Режим доступа <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=365807>]

##### Дополнительная литература

1. Динамическая метеорология: практикум: учеб. пособие / Н.А. Калинин, Е.М. Связов; Пермский государственный национальный исследовательский университет (Пермь), 2017. – 80 с. [Электронный ресурс; Режим доступа [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_30706554\\_70266549.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_30706554_70266549.pdf)].

2. Задачник по динамической метеорологии : учебное пособие / А.С. Гаврилов и др. – Л., Гидрометеиздат, 1984. – 166 с. - [Электронный ресурс; Режим доступа [http://elib.rshu.ru/files\\_books/pdf/img-213163549.pdf](http://elib.rshu.ru/files_books/pdf/img-213163549.pdf)]

3. Теоретические основы геофизической гидродинамики / А.С. Монин. - Л., Гидрометеиздат, 1988. – 425 с. - [Электронный ресурс; Режим доступа [http://elib.rshu.ru/files\\_books/pdf/img-0905110.pdf](http://elib.rshu.ru/files_books/pdf/img-0905110.pdf)]

4. Репинская Р. П. , Анискина О. Г. Конечно-разностные методы в гидродинамическом моделировании атмосферных процессов. - СПб.:РГГМИ, 2001/[Электронный ресурс; Режим доступа [http://elib.rshu.ru/files\\_books/pdf/img-213172857.pdf](http://elib.rshu.ru/files_books/pdf/img-213172857.pdf)]

5. Белов Н. П., Борисенков Е. П., Панин Б. Д.. Численные методы прогноза погоды. - Л.: Гидрометеиздат, 1989.- [Электронный ресурс; Режим доступа [http://elib.rshu.ru/files\\_books/pdf/img-090589.pdf](http://elib.rshu.ru/files_books/pdf/img-090589.pdf)]

## 8.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет"

1. <http://www.meteorf.ru/> - Сайт Росгидромета
2. <https://meteoinfo.ru/> - Погода и подробный прогноз от Росгидромета.

## 8.3. Перечень программного обеспечения

1. Операционная система Windows XP, Microsoft Office 2007
2. Программы электронных таблиц Excel
3. Текстовый редактор Word
4. Программа для создания презентаций Power Point

## 8.4. Перечень информационных справочных систем

1. СПС Консультант Плюс;

## 8.5. Перечень профессиональных баз данных

1. Электронно-библиотечная система elibrary <http://elibrary.ru>;
2. База данных издательства SpringerNature;
3. Электронно-библиотечная система РГТМУ ГидроМетеоОнлайн-  
<http://elib.rshu.ru/>

## **9. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Лекционные аудитории оборудованы видеопроекционным оборудованием для презентаций, средствами звуковоспроизведения, экраном, персональным компьютером с выходом в сеть Интернет; помещения для проведения семинарских и практических занятий оборудованы учебной мебелью; библиотека имеет рабочие места для студентов; компьютерные классы оснащены видеопроекционным оборудованием, средствами звуковоспроизведения, экраном, персональными компьютерами с выходом в сеть Интернет.

## **10. Особенности освоения дисциплины для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья**

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

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

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

## **11. Возможность применения электронного обучения и дистанционных образовательных технологий**

Дисциплина может реализовываться с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий.