

**Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова
Географический факультет**

«Утверждено»
Декан географического факультета,
член-корр. РАН С.А. Добролюбов



Согласовано
Учебно-методической комиссией
факультета

« 07 » 11 2019 г.
протокол № 13
[Handwritten signature]

ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Теоретическая механика и гидромеханика»

по направлению подготовки 05.03.04 «Гидрометеорология»
уровня высшего образования бакалавриат
с присвоением квалификации «бакалавр»

Направленность (профиль):
Океанология

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки «Гидрометеорология» (*программы бакалавриата, магистратуры, реализуемых последовательно по схеме интегрированной подготовки*).

© Географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова

Программа не может быть использована другими подразделениями университета и другими вузами без разрешения факультета

1. Цели и задачи освоения дисциплины

Цели курса:

- Изложение основных законов механики Ньютона и законов термодинамики в применении к механике жидкости;
- Построение математических моделей поведения жидкости с учетом глобальных размеров бассейнов, контактов с движением атмосферного воздуха и вращения Земного шара.

Задачи курса:

- Построение математических моделей движения жидкости и происходящих в ней термодинамических процессов на азе дифференциальных уравнений;
- Возможность проинтегрировать эти уравнения в определенных условиях и получить качественные выводы для реальных течений
- Построение моделей океанических течений и волн в океане.

2. Место дисциплины в структуре ООП

А. Информация об образовательном стандарте и учебном плане:

- дисциплина включена в образовательный стандарт МГУ им. М.В.Ломоносова; ИБ – интегрированный магистр МГУ, учебный план бакалавриата;
- направление подготовки 05.03.04 «Гидрометеорология»;
- профиль подготовки «Океанология», квалификация бакалавр.

Б. Место дисциплины в образовательном стандарте и учебном плане:

- вариативная часть профессионального цикла ООП;
- блок дисциплин – «Профессиональный»;
- модуль «Теоретическая механика и гидромеханика»;
- тип – обязательный курс;
- курс 2,3;
- семестр 3,4,5.

В. Перечень дисциплин, которые должны быть освоены для начала освоения данной дисциплины:

- дисциплины из блока «Математический и естественнонаучный»

3. Требования к результатам освоения дисциплины

В соответствии с ОС МГУ и «Оценочными и методическими материалами формирования компетенций, оценивания уровня знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности у обучающихся и выпускников» освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций и получение следующих результатов обучения:

Компетенции выпускников образовательной программы	Планируемые результаты обучения по дисциплине
Владение теоретическими основами океанологии, знание физических, химических и биологических процессов, закономерно-	- знать основные физические законы, используемые в океанологии; классификации сил и движений в морях и океанах; уравнения движений; роль нелинейных членов в уравнениях движения; роль трения

стей круговорота веществ и энергии в морях и океанах (СПК-1.Б формируется частично)	в уравнениях движения; - уметь применять методы исследований теоретической механики и гидромеханики в океанографии; - владеть математическим аппаратом, применяемым для изучения физических процессах, протекающих в морях и океанах
---	--

4. Структура и содержание дисциплины

Объем дисциплины и виды учебной работы.

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 зачетных единиц.

Общая аудиторная нагрузка – 160 часа, в т.ч. лекции – 80 часа, семинары – 80 часов. Объем самостоятельной работы студентов – 56 академических часа.

№ п/п	Раздел (тема) дисциплины	семестр	неделя	Виды учебной работы, включая СРС и трудоемкость (в часах)			Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Контактная работа		СРС	
				Лекции	Семинары		
1	Модель сплошной среды и ее основные свойства	3	1	2	-	-	Устный опрос
2	Кинематика точки, системы точек, жидкости	3	2	2	2	1	Устный опрос
3	Движение абсолютно твердого тела	3	3	2	2	1	Устный опрос
4	Теория деформаций жидкости	3	4	2	2	2	Устный опрос
5	Закон сохранения массы Уравнение неразрывности	3	5-6	4	4	2	Устный опрос
6	Вихревые движения	3	7	2	4	2	Устный опрос Контрольная работа
7		3	8	-	2	-	Коллоквиум по темам 1-6
8	Законы Ньютона для точки, системы точек	3	9	2	2	1	Устный опрос
9	Влияние вращения Земли. Силы инерции.	3	10	2	2	1	Устный опрос
10	Уравнение количества движения сплошной среды. Уравнение момента количества движения	3	11	2	2	1	Устный опрос
11	Напряженное состояние. Тензор напряжений	3	12	2	2	1	Устный опрос
12	Идеальная и вязкая жидкость. Уравнения движения	3	13-14	4	4	1	Устный опрос
13	Основные понятия термодинамики	3	15-16	6	4	1	Устный опрос

14	Поверхности разрыва	3	17-18	4	4	1	Устный опрос Контрольная работа
	Промежуточная аттестация					3	Зачет
	Итого			36	36	18	
1	Гидростатика. Устойчивость равновесия	4	2	2	2	1	Устный опрос
2	Конвекция. Градиентные течения	4	2	2	2	1	Устный опрос
3	Идеальная жидкость. Уравнения Громеки-Лэмба. Интеграл Бернулли.	4	3-4	4	4	1	Устный опрос
4	Потенциальные течения. Интеграл Коши-Лагранжа	4	5	2	2	1	Устный опрос
5	Вихревые течения. Течения в океане и атмосфере. Приближение β -плоскости.	4	6-7	4	4	1	Устный опрос
6	Вязкая жидкость. Пограничный слой	4	8	2	2	1	Устный опрос
7	Турбулентные движения. Турбулентные напряжения.	4	9	2	2	1	Устный опрос
8	Модели турбулентного океана и атмосферы.	4	10-11	4	4	1	Устный опрос
9	Основы теории размерности и подобия	4	12-13	4	4	1	Устный опрос Контрольная работа
	Промежуточная аттестация					11	Экзамен
	Итого	4		26	26	20	
1	Волны в океане. Постановка задачи о поверхностных волнах.	5	1	1	1	1	Устный опрос
2	Волны малой амплитуды. Задача Коши-Пуассона.	5	2	1	1	2	Устный опрос
3	Плоские гармонические волны. Стоячие волны.	5	3	1	2	2	Устный опрос
4	Прогрессивные волны. Дисперсия. Энергия волн.	5	4-5	2	2	2	Устный опрос
5	Общее решение задачи Коши-Пуассона.	5	6	1	0	0	Устный опрос
6	Теория мелкой воды. Длинные волны.	5	7	2	2	2	Устный опрос
7	Волны малой амплитуды. Волновое уравнение. Вынужденные волны.	5	8-9	2	2	1	Устный опрос
8	Внутренние волны. Волны в двухслойном океане. Волны в непрерывно стратифицированном океане.	5	10-11	2	2	1	Устный опрос
9	Звуковые волны в океане	5	12	1	1	1	Устный опрос
10	Отражение волн и их про-	5	13-	2	2	1	Устный опрос

	хождение на другую глубину. Волны на шельфе.		14				
11	Учет вращения Земли. Волны Кельвина. Волны Рос-сби.	5	15-16	1	1	1	Устный опрос
12	Нелинейные волны. Опро-кидывание волны. Гидрав-лический прыжок.	5	17-18	2	2	1	Устный опрос Контрольная работа
	Промежуточная аттестация					3	Зачет
	Итого			18	18	18	

5. Содержание дисциплины

Семестр 3

Тема 1. Модель сплошной среды и ее основные свойства

Понятие континуума. Плотность среды. Деформируемость. Несжимаемость. Вязкость

Тема 2. Кинематика точки, системы точек, жидкости

Система отсчета, система координат. Вектор скорости. Лагранжево и эйлерово описание движения сплошной среды.

Тема 3. Движение абсолютно твердого тела

Модель абсолютно твердого тела. Поступательное движение. Вращение около оси.

Тема 4. Теория деформаций жидкости

Тензор скоростей деформации. Механический смысл его компонент.

Тема 5. Закон сохранения массы. Уравнение неразрывности

Поток массы. Формула Остроградского-Гаусса. Частные виды уравнения неразрывности. Многокомпонентная среда. Вектор диффузии.

Тема 6. Вихревые движения

Циркуляция вектора скорости. Ее связь с вектором вихря. Кинематические теоремы о вихрях.

Тема 7. Законы Ньютона для точки, системы точек. Уравнения движения

Уравнение количества движения. Примеры его интегрирования. Начальные условия.

Тема 8. Влияние вращения Земли. Силы инерции

Силы инерции переносного движения. Оценка их величины. Сила Кориолиса.

Тема 9. Уравнение количества движения и момента количества движения сплошной среды

Интегральные законы сохранения для сплошной среды. Классификация сил

Тема 10. Напряженное состояние. Тензор напряжений

Механический смысл компонент тензора. Нормальные и касательные напряжения.

Тема 11. Идеальная и вязкая жидкость. Уравнения движения

Давление. Уравнения Эйлера. Линейная (ньютоновская) вязкая жидкость. Уравнения Навье-Стокса. Граничные условия.

Тема 12. Основные понятия термодинамики

Уравнение состояния. Первый закон термодинамики. Полная, кинетическая и внутренняя энергия. Работа. Поток тепла. Уравнение притока тепла. Адиабатический и изотермический процессы. Закон теплопроводности Фурье. Диссипация механической энергии в вязкой жидкости. Второй закон термодинамики Энтропия.

Тема 13. Поверхности разрыва

Законы сохранения на поверхностях сильного разрыва. Тангенциальные разрывы и ударные волны.

Семестр 4

Тема 1. Гидростатика. Устойчивость равновесия

Распределение давления и температуры в океане и атмосфере в поле силы тяжести. Закон Архимеда. Понятие устойчивости решения.

Тема 2. Конвекция. Градиентные течения

Модель Буссинеска для течения в неоднородном поле температур в поле силы тяжести. Течение с постоянной скоростью на поверхности вращающейся Земли.

Тема 3. Идеальная жидкость. Уравнения Громеки-Лэмба. Интеграл Бернулли.

Интеграл Бернулли для несжимаемой тяжелой жидкости. Примеры.

Тема 4. Потенциальные течения. Интеграл Коши-Лагранжа

Метод наложения потоков. Примеры. Течение от вихрестока.

Тема 5. Вихревые течения. Течения в океане и атмосфере. Приближение β -плоскости

Динамические теоремы о вихрях. Теорема об абсолютном вихре на вращающейся Земле. Примеры образования течений в океане и атмосфере земного шара.

Тема 6. Вязкая жидкость. Пограничный слой

Оценка вязкого члена в уравнениях движения. Модель пограничного слоя и его толщина.

Тема 7. Турбулентные движения. Турбулентные напряжения

Уравнения Рейнольдса. Турбулентные напряжения и. Турбулентная теплопроводность. Гипотезы Буссинеска.

Тема 8. Модели турбулентного океана и атмосферы

Уравнения свободного океана. Турбулентный пограничный слой Логарифмический профиль скорости и температуры

Тема 9. Основы теории размерности и подобия

Безразмерные параметры. Основная теорема теории размерности (π - теорема) и следствия нее. Система уравнений в безразмерных переменных.

Семестр 5

Тема 1. Волны в океане. Постановка задачи о поверхностных волнах

Система уравнений для идеальной несжимаемой тяжелой жидкости в бассейне со свободной поверхностью. Граничные и начальные условия.

Тема 2. Волны малой амплитуды. Задача Коши-Пуассона

Линеаризация уравнений и граничных условий.

Тема 3. Плоские гармонические волны. Стоячие волны

Амплитуда, длина волны, период. Волны в ограниченном бассейне. Собственные колебания бассейна.

Тема 4. Прогрессивные волны. Дисперсия. Энергия волн

Фазовая и групповая скорости волн. Зависимость скоростей от глубины канала.. Дисперсионное уравнение.

Тема 5. Общее решение задачи Коши-Пуассона

Интеграл Фурье и его разные формы.

Тема 6. Теория мелкой воды. Длинные волны

Интегрирование системы уравнений вдоль вертикальной оси с использованием граничных условий.

Тема 7. Волны малой амплитуды. Волновое уравнение. Вынужденные волны.

Решение Даламбера. Вынужденные волны. Использование в канальной теории приливов. Придонные землетрясения.

Тема 8. Внутренние волны. Волны в двухслойном океане. Волны в непрерывно стратифицированном океане

Система уравнений для двухслойной мелкой воды. Баротропная и бароклинная моды волн. Явление «мертвой» воды.

Тема 9. Звуковые волны в океане

Проявление свойства сжимаемости воды. Волны малых возмущений. Скорость звука. Явление волновода.

Тема 10. Отражение волн и их прохождение на другую глубину. Волны на шельфе

Коэффициенты отражения и прохождения на границе каналов разной глубины. Усиление волн при выходе на меньшую глубину Косое падение. Волновой вектор. Захваченные волны. Возникновение волноводов.

Тема 11. Учет вращения Земли. Волны Кельвина. Волны Россби

Влияние вращения Земли на амплитуды поверхностных волн. Волновые движения в толще океана, вызванные вращением Земли.

Тема 12. Нелинейные волны. Опрокидывание волны. Гидравлический прыжок
Волны Римана. Образование скачка высоты гребня. Условия на разрыве.

План проведения семинаров:

Семинары проводятся в соответствии с темами разделов дисциплины. В рамках семинаров даются индивидуальные задания для аттестации по каждому разделу.

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов по дисциплине

Самостоятельная работа студентов проводится с целью закрепления и углубления знаний по изучаемой дисциплине. Она предусматривает:

- изучение разделов дисциплины с использованием предлагаемой преподавателем учебной и научной литературы;
- подготовку к семинарам, тематическим дискуссиям; ответы на вопросы для самопроверки; повторение учебного материала и т.д.;
- поиск литературы и других информационных источников; составление библиографии по заданной теме, подготовку аналитических обзоров;
- участие в олимпиадах, конкурсах.

7. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости

Примерный перечень вопросов для устного опроса

Семестр 3

Тема 1. Модель сплошной среды и ее основные свойства

Понятие плотности. Выражение массы через плотность

Тема 2. Кинематика точки, системы точек, жидкости

Поле скорости и ускорения. Стационарное течение. Полная производная скалярного и векторного поля.

Тема 3. Движение абсолютно твердого тела

Вектор угловой скорости. Дифференцирование по времени вектора постоянной длины.

Тема 4. Теория деформаций жидкости

Скорость изменения объема жидкости.

Тема 5. Закон сохранения массы. Уравнение неразрывности

Уравнение неразрывности для несжимаемой жидкости, для потенциального течения.

Тема 6. Вихревые движения

Течение от прямолинейной вихревой нити.

Тема 7. Законы Ньютона для точки, системы точек

Уравнение количества движения.

Тема 8. Влияние вращения Земли. Силы инерции

Сила инерции Кориолиса.

Тема 9. Уравнение количества движения сплошной среды. Уравнение момента количества движения

Понятие количества движения для конечного жидкого объема.

Тема 10. Напряженное состояние. Тензор напряжений

Вектор напряжений и его компоненты.

Тема 11. Идеальная и вязкая жидкость. Уравнения движения

Давление в идеальной и вязкой жидкости. Уравнения движения. Граничные условия.

Тема 12. Основные понятия термодинамики

Кинетическая и внутренняя энергия. Уравнение состояния для внутренней энергии. Работа. Работа вязких напряжений. Закон теплопроводности Фурье.

Тема 13. Поверхности разрыва

Условия на тангенциальном разрыве

Примерный перечень вопросов для контрольной работы:

1.

Основные математические операторы теории поля (дивергенция, градиент и т.д.)

Полная производная от скалярного и векторного поля и его компонент

Выражения для компонент тензор скоростей деформации

Теорема Остроградского-Гаусса

Теорема Стокса

Уравнение неразрывности

2.

Напряженное состояние в точке. Механический смысл компонент тензора напряжений.

Идеальная жидкость (определение). Уравнения движения. Граничные условия

Изотропная линейная вязкая жидкость. Закон Навье для вязких напряжений. Граничные условия.

Адиабатический и изотермический процессы в жидкости и совершенном газе

Полная система уравнений для несжимаемой жидкости и баротропного газа.

Закон теплопроводности Фурье. Уравнение притока тепла для вязкой жидкости.

Коллоквиум

Вопросы 1-21 программы 3-го семестра

Семестр 4

Тема 1. Гидростатика. Устойчивость равновесия

Равновесное распределение плотности в поле силы тяжести.

Тема 2. Конвекция. Градиентные течения

Уравнения движения идеальной жидкости с учетом вращения Земли.

Тема 3. Идеальная жидкость. Уравнения Громеки-Лэмба. Интеграл Бернулли

Интеграл Бернулли для несжимаемой тяжелой жидкости.

Тема 4. Потенциальные течения. Интеграл Коши-Лагранжа

Потенциал скорости. Запись уравнений и граничных условий через потенциал...

Тема 5. Вихревые течения. Течения в океане и атмосфере. Приближение β -плоскости

Теорема Томсона. Теорема Лагранжа.

Тема 6. Вязкая жидкость. Пограничный слой.

Понятие пограничного слоя. Число Рейнольдса. Толщина слоя.

Тема 7. Турбулентные движения. Турбулентные напряжения. Турбулентная теплопроводность.

Осредненные величины и пульсации. Правила осреднения.

Тема 8. Модели турбулентного океана и атмосферы.

Коэффициенты турбулентной вязкости и гипотезы для них для океана и атмосферы.

Тема 9 Основы теории размерности и подобия.

Основные безразмерные параметры – число Рейнольдса, число Фруда.

Примерный перечень вопросов для контрольной работы:

1.

Основное уравнение гидростатики. Условия на границе раздела двух сред.

Интеграл Бернулли и требования для его выполнения

Интеграл Коши-Лагранжа и требования для его выполнения

Постановка задачи о потенциальном течении идеальной несжимаемой жидкости.

Теорема Томсона и условия ее выполнения.

Турбулентные напряжения. Гипотезы Буссинеска.

Уравнения турбулентного океана.

Уравнения несжимаемой жидкости в безразмерных переменных.

Семестр 5

Тема 1. Волны в океане. Постановка задачи о поверхностных волнах

Начальные и граничные условия.

Тема 2. Волны малой амплитуды. Задача Коши-Пуассона

Представление уравнений и граничных условий через потенциал скорости.

Тема 3. Плоские гармонические волны. Стоячие волны.

Вид потенциала скорости для стоячих волн.

Тема 4. Прогрессивные волны. Дисперсия. Энергия волн.

Потенциал скорости для прогрессивных волн. Фазовая скорость.

Тема 6. Теория мелкой воды. Длинные волны.

Основные предположения. Выражение для давления.

Тема 7. Волны малой амплитуды. Волновое уравнение. Вынужденные волны.

Общее решение волнового уравнения. Бегущие волны.

Тема 8. Внутренние волны. Волны в двухслойном океане. Волны в непрерывно стратифицированной жидкости.

Граничные условия на границе слоев. Выражения для давления.

Тема 9. Звуковые волны в океане

Скорость звука в воде. Волновое уравнение. Затухание с расстоянием пространственных волн.

Тема 10. Отражение волн и их прохождение на другую глубину. Волны на шельфе

Граничные условия на уступе глубины и на вертикальной границе канала.

Тема 11. Учет вращения Земли. Волны Кельвина. Волны Россби.

Уравнения движения с учетом силы Кориолиса.

Тема 12. Нелинейные волны. опрокидывание волны. Гидравлический прыжок.

Зависимость скорости поверхности от глубины. Изменение формы волны при движении. Образование скачка глубины.

Примерный перечень вопросов для контрольной работы:

1.

Потенциал стоячих гармонических волн. Собственные колебания бассейна.

Потенциал прогрессивных гармонических волн. Фазовая скорость, зависимость от глубины

Фазовая и групповая скорость. Дисперсионное уравнение.

Система уравнений для одномерных плоских длинных волн. Скорость длинных волн.

Волновое уравнение. Общее решение. Решение Даламбера.

Вынужденные длинные волн при периодической массовой силе. Явление резонанса.

Коэффициенты отражения и прохождения волн на уступе при прямом падении.

Косые волны. Волновой вектор.

Условия на скачке глубины (гидравлическом прыжке).

8. Формы и содержание промежуточной аттестации

Устный зачёт (семестр 3,5)

Устный экзамен (семестр 4)

Примерный перечень вопросов к зачету (семестр 3):

1. Гипотеза сплошности. Понятие плотности.

2. Определение положения точки в пространстве. Закон движения. Скорость. Ускорение.

3. Метод Лагранжа. Закон движения. Траектории.

4. Метод Эйлера. Поля скорости и ускорения. Линии тока. Установившееся движение.

5. Полная, местная и конвективная производные по времени.

6. Производная по направлению. Вектор градиента и его свойства.

7. Потенциальное движение. Необходимые условия потенциальности векторного поля. Свойства потенциальных движений. Примеры.
8. Поступательное движение абсолютно твердого тела. Вращение его около неподвижной оси. Вектор угловой скорости. Распределение скоростей и ускорений.
9. Дифференцирование по времени вектора постоянной длины.
10. Распределение скоростей в произвольно движущемся твердом теле.
11. Деформация бесконечно малой жидкой частицы. Теорема Гельмгольца.
12. Механический смысл вектора вихря скорости и компонент тензора скоростей деформации.
13. Закон сохранения массы в интегральном виде. Поток массы. Поток векторного поля.
14. Уравнение неразрывности. Дивергенция скорости и ее механический смысл.
15. Теорема Остроградского-Гаусса. Приложения.
16. Уравнение неразрывности для смеси. Концентрация. Вектор потока диффузии.
17. Циркуляция скорости. Теорема Стокса. Приложения.
18. Течение от источника и стока.
19. Течение от точечного вихря.
20. Течение Куэтта (с полем скоростей $v_x = Ay$, $v_y = v_z = 0$).
21. Кинематика относительного движения. Теорема скоростей. Теорема ускорений.
22. Основные аксиомы механики Ньютона. Неподвижные и движущиеся системы координат. Силы инерции. Инерциальные и неинерциальные системы координат.
23. Влияние вращения Земли на направление и величину силы тяжести.
24. Уравнения относительного движения в системе координат, связанной с поверхностью вращающейся Земли. Влияние вращения Земли на движение в горизонтальной плоскости.
25. Уравнение количества движения для материальной точки. Две основные задачи механики.
26. Движение точки в поле силы тяжести. Начальные условия.
27. Теорема о количестве движения для системы материальных точек. Центр масс.
28. Силы, действующие в объеме сплошной среды. Классификация сил. Вектор напряжения.
29. Закон количества движения для жидкого объема (в интегральном виде).
30. Напряженное состояние в точке. Тензор напряжений. Нормальное и касательное напряжения.
31. Дифференциальные уравнения движения жидкости в напряжениях.
32. Уравнение момента количества движения для точки, системы точек и жидкого объема. Симметрия тензора напряжений.
33. Идеальная жидкость. Давление. Уравнения Эйлера.
34. Вязкая жидкость. Обобщенный закон Ньютона (закон Навье) для вязких напряжений. Уравнения Навье-Стокса.
35. Уравнение состояния. Примеры.
36. Замкнутая система уравнений для несжимаемой и баротропной жидкостей. Начальные и граничные условия. Граничные условия в идеальной и вязкой жидкости.
37. Первый закон термодинамики. Полная, кинетическая и внутренняя энергия жидкого объема. Кинетическая энергия материальной точки, системы точек, жидкого объема.
38. Работа. Потенциальные силы. Потенциал силы тяжести. Работа внешних сил и внешний приток тепла. Дифференциальное уравнение первого закона термодинамики.
39. Теорема о кинетической энергии для точки, системы точек и жидкого объема. Работа внешних и внутренних сил.
40. Теорема о кинетической энергии для жидкого объема. Работа внутренних сил.

41. Работа внутренних сил в идеальной и вязкой жидкости. Диссипация энергии в вязкой жидкости. Положительность коэффициентов вязкости.
42. Первый закон термодинамики. Уравнение притока тепла. Дифференциальное уравнение притока тепла.
43. Внутренняя энергия. Внутренняя энергия несжимаемой жидкости и совершенного газа.
44. Изотермические, адиабатические и политропные процессы в несжимаемой жидкости и совершенном газе.
45. Передача тепла путем теплопроводности. Закон Фурье. Уравнение притока тепла для вязкой теплопроводной среды.
46. Полная система уравнений для идеального сжимаемого совершенного газа. Начальные и граничные условия.
47. Полная система уравнений для вязкого сжимаемого теплопроводного совершенного газа. Начальные и граничные условия.
48. Формула дифференцирования интеграла по подвижному индивидуальному объему. Запись интегральных законов сохранения массы, импульса и энергии через потоки
49. Поверхности разрыва. Условия на разрыве. Тангенциальный разрыв и ударная волна.

Примерный перечень вопросов к экзамену (семестр 4):

Экзамен проводится по итогам текущего контроля успеваемости.

1. Основное уравнение гидростатики. Гидростатическое распределение давления. Барометрическая формула. Политропная атмосфера.
2. Закон Архимеда. Устойчивость равновесия океана и атмосферы.
3. Уравнения свободной конвекции. Модель Буссинеска.
4. Градиентные (геострофические) течения в океане и атмосфере.
5. Уравнения движения в форме Громеки-Лэмба. Интеграл Бернулли. Интеграл Бернулли в системе, связанной с вращающейся Землей.
6. Интеграл Бернулли для несжимаемой и сжимаемой жидкости. Примеры приложений. Оценка влияния сжимаемости.
7. Интеграл Коши-Лагранжа.
8. Постановка задачи о потенциальном движении идеальной несжимаемой жидкости. Метод наложения потоков. Вихресток.
9. Волны малых возмущений в идеальной сжимаемой среде. Волновое уравнение. Скорость звука. Скорость звука в воде и воздухе.
10. Вихревые движения. Динамические теоремы о вихрях: теорема об изменении циркуляции скорости, теоремы Томсона, Лагранжа и Гельмгольца.
11. Причины образования вихрей в океане и атмосфере. Отсутствие баротропии, теорема Бьеркнеса. Примеры образования циркуляционных течений в океане и атмосфере.
12. Течения идеальной жидкости на поверхности вращающейся Земли. Теорема об абсолютном вихре. Циркуляционные течения в океане, вызванные вращением Земли.
13. Планетарные волны (волны Россби).
14. Вязкая жидкость. Течения Куэтта и Пуазейля. Уравнения вязкой жидкости в безразмерных переменных. Число Рейнольдса.
15. Пограничный слой в вязкой жидкости. Уравнения Прандтля. Граничные условия.
16. Ламинарный и турбулентный режимы течения. Уравнения Рейнольдса для турбулентных движений несжимаемой однородной жидкости. Турбулентная теплопроводность.
17. Турбулентные напряжения и турбулентный поток тепла. Гипотеза Буссинеска. Уравнения турбулентных движений для свободного океана.

18. Полуэмпирическая теория турбулентности Прандтля. Уравнения плоского турбулентного потока.

19. Уравнения турбулентного пограничного слоя. Пограничный слой в атмосфере. Течение вдоль плоской границы в приземном слое. Логарифмический профиль скорости и температуры.

20. Основы теории размерности. П-теорема.

21. Механическое подобие явлений. Критерии подобия. Уравнения для вязкого несжимаемого теплопроводного газа в безразмерной форме.

Примерный перечень вопросов к зачету (семестр 5):

1. Постановка задачи о гравитационных волнах на поверхности тяжелой жидкости.
2. Волны бесконечно малой амплитуды. Задача Коши-Пуассона. [1]
3. Плоские гармонические волны. Длина волны, волновое число, частота, период. [1]
4. Стоячие волны в бассейнах конечной и бесконечной глубины. [1]
5. Стоячие волны в ограниченном бассейне. Собственные колебания. Сейши. [1]
6. Прогрессивные волны. Фазовая скорость. Дисперсия. Дисперсионное уравнение. [1]
7. Дисперсия волн. Групповая скорость. [1]
8. Общее решение задачи Коши-Пуассона для волн малой амплитуды. [1]
9. Длинные волны. Приближение "мелкой воды". [1]
10. Линейные длинные волны. Волновое уравнение. [1]
11. Одномерные плоские волны. Решение задачи по начальным данным (решение Даламбера). [1]
12. Вынужденные волны. Явление резонанса. [1]
13. Внутренние волны в двухслойной жидкости. Два типа волн - баротропная и бароклинная моды. Явление "мертвой воды". [2]
14. Внутренние волны в среде с непрерывной стратификацией. [2]
15. Отражение и преломление волн при прямом падении. Косые волны. Волновой вектор. [4]
16. Волны при наличии берега или ступеньки дна. Отражение и прохождение волн. Захваченные и краевые волны. Волны на шельфе. [4]
17. Влияние вращения Земли на распространение поверхностных волн. Волны Кельвина. [2, 3]
18. Планетарные волны (волны Россби). [3]
19. Нелинейные длинные волны. Волны Римана. Опрокидывание волн. Гидравлический прыжок.
20. Постановка задачи о движении идеальной сжимаемой среды. Малые возмущения. Линеаризация уравнений. Звуковые волны. Скорость звука. Волновое уравнение и его решение для плоских и сферических волн.

Шкалы и критерии оценивания результатов обучения (РО)

Экзамен

Оценка РО и соответствующие виды оценочных средств	Неудовлетворительно	Удовлетворительно	Хорошо	Отлично
Знания (виды оценочных средств: устный опрос)	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Сформированные систематические знания

Умения (виды оценочных средств: устный опрос)	Отсутствие умений	В целом успешное, но не систематическое умение	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности принципиального характера)	Успешное и систематическое умение
Навыки (владения, опыт деятельности) (виды оценочных средств: устный опрос)	Отсутствие навыков	Наличие отдельных навыков	В целом, сформированные навыки (владения), но используемые не в активной форме	Сформированные навыки (владения), применяемые при решении задач

Зачет

Оценка РО и соответствующие виды оценочных средств	Незачет	Зачет
Знания (виды оценочных средств: устный опрос)	Фрагментарные знания или отсутствие знаний	Сформированные систематические знания или общие, но не структурированные знания
Умения (виды оценочных средств: устный опрос)	В целом успешное, но не систематическое умение или отсутствие умений	Успешное и систематическое умение или в целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности принципиального характера)
Навыки (владения, опыт деятельности) (виды оценочных средств: устный опрос)	Наличие отдельных навыков или отсутствие навыков	Сформированные навыки (владения), применяемые при решении задач или в целом, сформированные навыки (владения), но используемые не в активной форме

9. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. Кузнецов Д.С. Гидродинамика. Л.: Гидрометиздат. 1951
2. Кочин Н.Е., Кибель И.А., Розе Н.В. Теоретическая гидромеханика. Т.1. М.: Физматгиз, 1963
3. Седов Л.И. Механика сплошной среды. Т.1,2. М.: Наука, 1970
4. Гилл А. Динамика атмосферы и океана. Т.1,2. М.: Мир, 1986

б) дополнительная литература:

1. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. М.-Л.: Гостехиздат, 1950

2. Блон П.Ле, Майсек Л. Волны в океане. Т.1,2. М.: Мир, 1981

3. Рабинович А.Б. Длинные гравитационные волны в океане: захват, резонанс, излучение. СПб.: Гидрометеоздат, 1993

в) программное обеспечение, Интернет-ресурсы, профессиональные базы данных и информационные справочные системы

10. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Учебная аудитория для проведения занятий с доской и мелом, мультимедийным проектором и доступом в Интернет.

Программа одобрена на заседании кафедры океанологии.
Протокол №533 от 27 ноября 2018 г.

Зав. кафедрой океанологии,
член-корр. РАН, д.г.н., профессор –

С.А. Добролюбов

Разработчик:

Свешникова Е.И. профессор, д.ф.-м.н.

МГУ им. М.В. Ломоносова,
механико-математический
факультет

Эксперт:

Кондрин А.Т. к.г.н., с.н.с.

МГУ им. М.В. Ломоносова, географический факультет