

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»**

УТВЕРЖДЕНО
Директор физтех-школы
аэрокосмических технологий
С.С. Негодяев

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Лабораторное моделирование в геофизической гидродинамике
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Геокосмические науки и технологии Физтех-школа Аэрокосмических Технологий кафедра термогидромеханики океана
курс:	3
квалификация:	бакалавр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

5 (осенний) - Зачет

6 (весенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 0 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 60 час.

Самостоятельная работа: 120 час.

Всего часов: 180, всего зач. ед.: 4

Программу составил: А.Г. Зацепин, д-р физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры термогидромеханики океана 01.06.2020

Аннотация

Цель курса – ознакомление студентов с фундаментальными физическими процессами в геофизических средах (преимущественно в океане) путем их воспроизведения и моделирования в лабораторных бассейнах с учетом физических особенностей среды: ее плотностной (термической, соленостной) стратификации и влияния вращения Земли вокруг своей оси на ее движение. Рассматриваются условия постановки и обсуждаются результаты четырех основных групп экспериментов в: 1) однородной невращающейся жидкости (свободная и вынужденная конвекция); 2) стратифицированной невращающейся жидкости (формирование квазиоднородных пограничных слоев и термоклина, неустойчивость турбулентности в стратифицированной жидкости и образование ступенчатой тонкой структуры вод, коллапс однородных и слабо-стратифицированных пятен, интрузионные процессы, дифференциально-диффузионная конвекция, внутриводное ледообразование вследствие дифференциальной диффузии тепла и соли); 3) однородной вращающейся жидкости (инерционные колебания, влияние вращения Земли на свободную конвекцию, глубокая конвекция, экмановский пограничный слой, вихри-интрузии, сохранение потенциального вихря, топографический бета-эффект, дрейф вихрей, волны Россби, западная интенсификация течений); 4) стратифицированной и вращающейся жидкости (геострофические течения, бароклинная неустойчивость течений, бароклинные мезомасштабные вихри, внутритермоклинные линзы, субмезомасштабные вихри, крупномасштабная, мезомасштабная и субмезомасштабная динамика Черного моря).

Курс содержит в себе обсуждение базовых физических законов динамики однородной, стратифицированной и вращающейся жидкости, демонстрацию лабораторных физических экспериментов, без которых невозможно глубокое понимание динамики океана и атмосферы. Для успешного освоения онлайн-курса слушателю желательно знать механику сплошной среды (жидкости и газа) и основы физической океанографии.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

- формирование базовых знаний по геофизической гидродинамике и лабораторному моделированию физических процессов для использования в областях и дисциплинах естественнонаучного профиля;
- формирование исследовательских навыков и способности применять знания на практике.

Задачи дисциплины

- дать студентам базовые знания в области геофизической гидродинамики;
- обучить студентов азам лабораторного моделирования физических процессов.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
	ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
	ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики
	ПК-1.2 Имеет глубокое знание и понимание базовых математических дисциплин
	ПК-1.3 Владеет культурой постановки научной задачи и моделирования естественнонаучных объектов и систем
	ПК-1.4 Умеет строить математические модели для описания и исследования процессов и явлений в соответствующих научных областях

ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.5 Владеет навыками безопасной работы с современными научными приборами и другим экспериментальным оборудованием
	ПК-1.6 Знает основные правила поведения и работы в современной научной лаборатории
	ПК-1.7 Способен оценивать требуемые ресурсы (материальные и временные) для планирования и проведения научного эксперимента
	ПК-1.8 Владеет навыками работы с современными языками программирования и программными пакетами для научных расчетов
	ПК-1.9 Знает перечень ведущих периодических научных изданий и способен выделять актуальные научные публикации в профессиональной области

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- основные понятия геофизической гидродинамики;
- вывод уравнений и безразмерных параметров;
- принципы и методы лабораторного моделирования физических процессов в океане.

уметь:

- пользоваться своими знаниями для решения фундаментальных и прикладных задач и технологических задач;
- делать правильные выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента;
- производить численные оценки по порядку величины;
- видеть в технических задачах физическое содержание;
- осваивать новые предметные области, теоретические подходы и экспериментальные методики;
- получать достоверные значения измеряемых величин и правильно оценить степень их достоверности;
- эффективно использовать информационные технологии и компьютерную технику для достижения необходимых теоретических и прикладных результатов.

владеть:

- навыками освоения большого объема информации;
- навыками самостоятельной работы;
- культурой постановки и моделирования физических задач;
- навыками грамотной обработки результатов опыта и сопоставления с теоретическими данными;
- практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач.

4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Введение в предмет			1	4
2	Теория подобия, Pi-теорема			1	4

3	Автомодельность, степенные законы			2	4
4	Свободная тепловая конвекция			2	4
5	Закономерности свободной конвекции			2	4
6	Термический погранслои океана и первичные масштабы конвекции			2	4
7	Вынужденная конвекция			2	4
8	Проникающая конвекция			2	4
9	Формирование ВКС			2	3
10	Стратифицированная жидкость			2	3
11	Турбулентное вовлечение в СЖ			2	3
12	Выхолаживание и углубление ВКС на Черном море			2	3
13	Процессы внутреннего перемешивания			2	4
14	Дифференциально-диффузионная (Д-Д) конвекция			2	4
15	Внутриводное ледообразование			2	4
16	Интрузионные процессы			2	4
17	Локальное перемешивание и коллапс - растекание перемешанных пятен			1	2
18	Коллапс не полностью перемешанных пятен			1	2
19	Плотностные течения (ПТ) на наклонном дне и их взаимодействие с пикноклином			2	4
20	Турбулентные ПТ на наклонном дне в однородной жидкости			2	4
21	Взаимодействие ПТ со скачком плотности			2	4
22	Примеры влияния вращения Земли на динамику вод океана			2	4
23	Инерционные колебания			2	4
24	Потенциальный вихрь			2	4
25	Вертикально однородные (баротропные) вихревые структуры в ОВЖ - аналог плотностных интрузий.			2	4
26	Эффекты трения - экмановский пограничный слой			2	4
27	Влияние параметра Кориолиса с широтой (бета-эффекта) на динамику вод океана			2	4
28	Стратифицированная вращающаяся жидкость (СВЖ)			2	4
29	Экмановская накачка циркуляции в СВЖ			2	4
30	Бароклинная неустойчивость океанских течений, формирование меандров и мезомасштабных вихрей.			2	4
31	Гидрологическая структура Черного моря			1	2
32	Определяющие безразмерные параметры для Черного моря и лабораторной модели			1	2

33	Субмезомасштабные вихри в Черном море и Мировом океане, характеристики, физические механизмы их образования по результатам наблюдений.			2	4
Итого часов				60	120
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		180 час., 4 зач.ед.			

4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 5 (Осенний)

1. Введение в предмет

Историческая справка. Различные подходы к лабораторному моделированию.

Содержание лекций курса, цель курса. 4 основных раздела курса, группы экспериментов (ОНЖ, СНЖ, ОВЖ, СВЖ).

2. Теория подобия, Рi-теорема

Моделирование с использованием критериев подобия (воспроизведение отношений действующих сил).

3. Автомодельность, степенные законы

Автомодельность, степенные законы.

4. Свободная тепловая конвекция

Свободная тепловая конвекция. Задача Релея. Вывод числа Релея.

5. Закономерности свободной конвекции

Вывод числа Нуссельта.

6. Термический погранслой океана и первичные масштабы конвекции

Тепловой баланс на поверхности океана. Решение уравнения теплопроводности.

Лабораторный эксперимент: Исследование теплого и холодного погранслоев у границы раздела вода-воздух, процессов свободной и вынужденной (ветровой) конвекции. Задачи эксперимента.

Теплый пограничный слой. Решение уравнения теплопроводности с граничными и начальными условиями.

Холодный пограничный слой. Черты свободной конвекции (теневые изображения). Результаты лабораторных экспериментов. Проверка зависимости числа Нуссельта от числа Релея, оценка толщины термического погранслоя и времени перемежаемости свободной конвекции. Вертикальная скорость термиков. Неустойчивость Релея-Тейлора и иерархия масштабов конвекции.

Лабораторный эксперимент: Конвекция Релея-Тейлора в переворачивающемся бассейне.

7. Вынужденная конвекция

Определение, причины возникновения. Лабораторный эксперимент. Экспериментальные исследования вынужденной конвекции.

8. Проникающая конвекция

Проникающая вынужденная конвекция и ее роль в формировании верхнего квазиоднородного слоя (ВКС).

Лабораторный эксперимент: Закономерности формирования ВКС при возбуждении турбулентности колеблющимися решетками в линейно-стратифицированной жидкости.

9. Формирование ВКС

Формирование ВКС при развитии проникающей термической конвекции в линейно-стратифицированном по температуре слое. Экспериментальная оценка коэффициента вовлечения.

10. Стратифицированная жидкость

Методы создания стратификации.

11. Турбулентное вовлечение в СЖ

Турбулентное вовлечение в СЖ. Моделирование процесса формирования ВКС в океане вследствие волно-ветрового турбулентного перемешивания. Методы турбулентного перемешивания в лабораторных условиях. Перемешивание с помощью колеблющихся решеток: результаты эксперимента. Перемешивание с помощью тангенциального сдвига скорости, приложенного к поверхности жидкости: результаты эксперимента. Синтез результатов исследования закономерностей турбулентного вовлечения в СЖ.

12. Выхлаживание и углубление ВКС на Черном море

Выхлаживание и углубление ВКС на Черном море при «норд-осте» вследствие турбулентного вовлечения: описание феномена и выполненных наблюдений. Выхлаживание и углубление ВКС за счет турбулентного вовлечения. Временной ход скорости ветра: формулировка модели. Проверка модели турбулентного вовлечения Като-Филлипса. Сезонный цикл в океане.

Лабораторный эксперимент: Лабораторное моделирование процесса формирования сезонного термоклина.

13. Процессы внутреннего перемешивания

Процессы внутреннего перемешивания. Изучение внутреннего перемешивания на примере Черного моря. Причины внутреннего перемешивания. Механическое перемешивание в линейно-стратифицированной жидкости (ЛСЖ), неустойчивость («слоистость») турбулентности: результаты эксперимента. Расслоение сдвигового стратифицированного течения. Теоретическое обоснование расслоения.

14. Дифференциально-диффузионная (Д-Д) конвекция

Дифференциально-диффузионная (Д-Д) конвекция: причины возникновения. Два режима Д-Д конвекции: «Солевые пальцы» и «Диффузия». Режим солевых пальцев - натурные наблюдения. Режим солевых пальцев в лаборатории.

Потоки тепла и соли в режиме «солевых пальцев». Режим «диффузия» - натурные наблюдения. Чем определяется масштаб ступеньки при Д-Д конвекции в режиме «диффузия»? Потоки через диффузионную границу раздела.

Лабораторный эксперимент: Плавающая (теплая) струя в однородной и стратифицированной по солености жидкости.

15. Внутриводное ледообразование

Внутриводное ледообразование за счет двойной диффузии. Внутриводный лед (ВЛ) в натуральных условиях.

Лабораторный эксперимент: ВЛ в лабораторных условиях.

Лабораторный эксперимент: ВЛ в лабораторных условиях в ламинарной водной среде.

Лабораторный эксперимент: Исследование тепло-массообмена через плотностную границу раздела между двумя турбулентными слоями.

Три режима тепло-массообмена через плотностную границу раздела между турбулентными слоями: молекулярный, молекулярно-турбулентный, турбулентный. Закономерности тепло-массообмена между слоями. Внутриводный лед в турбулентной двуслойной среде. Модель внутриводного ледообразования при турбулентно-молекулярном режиме обмена между перемешиваемыми слоями. Оценки скорости ВЛ согласно расчетам по модели.

16. Интрузионные процессы

Интрузионные процессы в стратифицированной жидкости. Механизмы формирования интрузий. Тонкая термохалинная структура вод океана и ее интрузионное происхождение.

Семестр: 6 (Весенний)

17. Локальное перемешивание и коллапс - растекание перемешанных пятен

Локальное перемешивание (обрушение внутренних волн, сдвиговая неустойчивость течения) и коллапс - растекание перемешанных пятен. Условия перемешивания. Исследование тонкой структуры и турбулентности в черноморском антициклоническом вихре. Вертикальное распределение температуры и температурных флуктуаций - «тонкой структуры» на станциях разреза в Черном море через антициклонический вихрь.

Лабораторный эксперимент: Воспроизведение механизма локального перемешивания СЖ за счет сдвиговой неустойчивости течения и обрушения коротких внутренних волн (ВВ).

18. Коллапс не полностью перемешанных пятен

Коллапс перемешанных пятен: ускоренная инерционная стадия растекания. Схема коллапса локально перемешанных пятен. Коллапс перемешанных пятен: модель Баренблатта для вязкой стадии растекания симметричного пятна.

Лабораторный эксперимент: Исследование процесса коллапса осесимметричного перемешанного пятна.

Растекание перемешанного пятна в ЛС (результаты эксперимента на теневых фотографиях). Закон растекания перемешанного пятна в ЛСЖ - «0.1». Осесимметричная вязкая интрузия с постоянным притоком в ЛСЖ: автомодельное решение.

Лабораторный эксперимент: Исследование осесимметричной интрузии с постоянным притоком в ЛСЖ.

Осесимметричная интрузия в ЛСЖ: результаты эксперимента. Экспериментальные закономерности растекания осесимметричных интрузий. Экспериментальная зависимость радиуса интрузии от времени в безразмерном (автомодельном) виде. Д-Д симметричная интрузия в ЛСЖ.

Лабораторный эксперимент: Д-Д интрузионное расслоение на термохалинных фронтах.

Коллапс стратифицированных пятен в ЛСЖ (концептуальная схема). Коллапс стратифицированных и однородных пятен в ЛСЖ. Закономерности коллапса стратифицированных пятен.

19. Плотностные течения (ПТ) на наклонном дне и их взаимодействие с пикноклином

Плотностные течения на наклонном дне и их взаимодействие с пикноклином.

Описание ПТ. Типы и причины образования ПТ, примеры. Безразмерные параметры.

Лабораторный эксперимент: Исследование скорости и толщины ПТ на наклонном дне от определяющих масштабов задачи.

Динамика ПТ с постоянным притоком в невращающейся жидкости. Режимы ПТ. Результаты эксперимента.

20. Турбулентные ПТ на наклонном дне в однородной жидкости

Лабораторный эксперимент: Опыты с турбулентными ПТ.

Экспериментальное подтверждение автомодельности процесса распространения ПТ. Результаты обработки данных оптического датчика.

21. Взаимодействие ПТ со скачком плотности

Взаимодействие ПТ со скачком плотности (резким пикноклином).

Результаты опытов. Приложение результатов опытов к черноморским условиям. Численные эксперименты с ПТ в двуслойной жидкости на ХZ-модели. Примеры расчетов.

22. Примеры влияния вращения Земли на динамику вод океана

Примеры влияния вращения Земли на динамику вод океана. Параметр Кориолиса. Однородная вращающаяся жидкость - ОВЖ. Основные уравнения для ОВЖ. Уравнения динамики в безразмерном виде: основные параметры подобия.

23. Инерционные колебания

Инерционные колебания. Аналогия со свободными колебаниями в стратифицированной жидкости. Лагранжевые дрейфтеры со спутниковой связью как средство исследования динамики ВКС. Дрейфтерные данные: спектр компонент лагранжевой скорости течений в Черном море. Проявление инерционных колебаний на траектории движения дрейфтера верхнего слоя в Черном море. Вертикально однородные (баротропные) вихревые структуры в ОВЖ - аналог плотностных интрузий.

24. Потенциальный вихрь

Определение потенциального вихря и условие его сохранения.

Вихревые колонки Тейлора-Праудмена как пример стремления к вертикальной однородности (двумерности) течения в ОВЖ.

25. Вертикально однородные (баротропные) вихревые структуры в ОВЖ - аналог плотностных интрузий.

Лабораторный эксперимент: вихрь-интрузия с постоянным притоком в однородно вращающейся жидкости. Образование придонного экмановского слоя, ограничивающего рост диаметра невязкого ядра вихря.

Сравнение результатов эксперимента и теории.

26. Эффекты трения - экмановский пограничный слой

Эффекты трения - экмановский пограничный слой. Интегральный экмановский перенос. Вывод формул.

Лабораторный эксперимент: Спин-ап в круглом бассейне на вращающейся платформе.

Влияние придонного трения на динамику баротропного вихря-интрузии над горизонтальным дном. Свободная конвекция во вращающейся жидкости. Зависимость критического числа Релея от числа Тейлора.

27. Влияние параметра Кориолиса с широтой (бета-эффекта) на динамику вод океана

Влияние изменения параметра Кориолиса с широтой (планетарного бета-эффекта) на динамику вод океана: свободные колебания - волны Россби-Блиновой. Вихри-интрузии в ОВЖ при наличии бета-эффекта.

Лабораторный эксперимент: Исследование механизма формирования автоколебаний на примере с баротропным вихрем-интрузией на наклонном дне в ОВЖ.

Бета-эффект как основной механизм формирования асимметрии общей циркуляции вод океана (интенсивных западных пограничных течений). Асимметрия общей циркуляции ОВЖ над наклонным дном в лабораторном бассейне.

Влияние планетарного бета-эффекта на динамику вод океана: свердруповский баланс. Экмановская накачка циркуляции в ОВЖ.

28. Стратифицированная вращающаяся жидкость (СВЖ)

Стратифицированная вращающаяся жидкость (СВЖ). Геострофический баланс: уравнения.

29. Экмановская накачка циркуляции в СВЖ

Экмановская накачка циркуляции в СВЖ. Бароклинная неустойчивость океанских течений, формирование меандров и мезомасштабных вихрей.

30. Бароклинная неустойчивость океанских течений, формирование меандров и мезомасштабных вихрей.

Лабораторный эксперимент: развитие бароклинной неустойчивости осесимметричного геострофического течения в двуслойно-стратифицированной вращающейся жидкости при прекращении ветровой экмановской накачки циркуляции.

Мезомасштабные бароклинные вихри и вихревые линзы.

Лабораторный эксперимент: создание бароклиновых вихрей и вихревых линз методом интрузии в стратифицированную вращающуюся жидкость.

31. Гидрологическая структура Черного моря

Гидрологическая структура Черного моря. Крупномасштабная циркуляция и мезомасштабная динамика вод Черного моря.

32. Определяющие безразмерные параметры для Черного моря и лабораторной модели

Определяющие безразмерные параметры для Черного моря и лабораторной модели. Развитие неустойчивости прибрежного течения, возбуждаемого экмановской накачкой на стадии его релаксации.

Влияние изменчивости экмановской накачки на Основное черноморское течение и мезомасштабную вихревую динамику.

Экмановская накачка: сильная и слабая.

33. Субмезомасштабные вихри в Черном море и Мировом океане, характеристики, физические механизмы их образования по результатам наблюдений.

Лабораторный эксперимент: образование субмезомасштабных вихрей за счет сдвиговой неустойчивости течения. Асимметрия процесса образования циклонических и антициклонических вихрей.

Лабораторный эксперимент: образование субмезомасштабных вихрей при обтекании мысов и полуостровов вдольбереговым течением. Асимметрия вихреобразования при циклоническом и антициклоническом вдольбереговом течении.

Лабораторный эксперимент: образование субмезомасштабных вихрей за счет пространственно-неоднородного ветрового воздействия. Асимметрия в образовании циклонических и антициклонических вихрей.

Необходимое оборудование для лабораторных работ: компьютеры и мультимедийное оборудование (проектор, интерактивная доска), а также лабораторное оборудование в виде нескольких лабораторных установок, включая вращающуюся платформу.

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Введение в физическую океанографию [Текст] : учеб. пособие для вузов / М. Н. Кошляков, Р. Ю. Тараканов ; М-во образования и науки РФ, Моск. физ.-техн. ин-т (гос. ун-т) .— М. : МФТИ, 2014 .— 142 с.
1. Stewart, R. Introduction to physical oceanography. – Texas A&M University, 2005. 346 p.
2. Гилл А. Динамика атмосферы и океана. Т.1./пер. с англ. М. : Мир. 1986. 397 с.
3. Тернер Дж. Эффекты плавучести в жидкости. – М.: "Мир", 1977. – 431 с.
4. Simpson, E J. Gravity currents in the laboratory, atmosphere, and ocean. Annual Review of Fluid Mechanics, 1982, 14, 213–234.
5. Boubnov B.M., Golitsyn G.S. Convection in rotating fluids. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers 1995. 224 p.

Дополнительная литература

1. Федоров К.Н. Тонкая термохалинная структура вод океана. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 184 с.
2. Pacanowski R.C., Philander S.G.H. Parameterization of vertical mixing in numerical models of tropical oceans // J. Phys. Oceanogr. 1981. V.11. №11. P.1443-1451.

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

1. <http://lib.mipt.ru/> – электронная библиотека Физтеха
2. Сайт сети публикации геоданных и данных по окружающей среде: <http://www.Pangaea.de> ;
3. Сайт ЕСИМО; <http://www.data.oceaninfo.ru> .
4. Коллекции исходных данных для Ocean Data View: атлас Мирового океана изд. Левитуса 2004г, коллекция исторических данных Rayd-Mantyla, доступны на сайте Полярного университета им. А.Вегенера <http://odv.awi.de>
5. Сайт научной океанографической литературы <http://www.sci-hub.org>
6. Сайт научной океанографической литературы <http://www.oceanographers.ru>

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

Пакеты офисного программного обеспечения Microsoft Office (Word, Excel, PowerPoint), OpenOffice.

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Успешное освоение курса «Лабораторное моделирование в геофизической гидродинамике» требует некоторой самостоятельной работы студента. В программе курса приведено минимально необходимое время для работы студента над темой.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение и конспектирование рекомендованной литературы,
- проработку учебного материала (по конспектам, учебной и научной литературе).

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в результате анализа устных ответов студентов в течение учебного года.

Показателем владения материалом служит умение объяснить физические процессы в океане и принципы лабораторного моделирования этих процессов.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Геокосмические науки и технологии Физтех-школа Аэрокосмических Технологий кафедра термогидромеханики океана
курс:	3
квалификация:	бакалавр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

5 (осенний) - Зачет

6 (весенний) - Дифференцированный зачет

Разработчик: А.Г. Зацепин, д-р физ.-мат. наук

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
	ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики
	ПК-1.2 Имеет глубокое знание и понимание базовых математических дисциплин
	ПК-1.3 Владеет культурой постановки научной задачи и моделирования естественнонаучных объектов и систем
	ПК-1.4 Умеет строить математические модели для описания и исследования процессов и явлений в соответствующих научных областях
	ПК-1.5 Владеет навыками безопасной работы с современными научными приборами и другим экспериментальным оборудованием
	ПК-1.6 Знает основные правила поведения и работы в современной научной лаборатории
	ПК-1.7 Способен оценивать требуемые ресурсы (материальные и временные) для планирования и проведения научного эксперимента
	ПК-1.8 Владеет навыками работы с современными языками программирования и программными пакетами для научных расчетов
	ПК-1.9 Знает перечень ведущих периодических научных изданий и способен выделять актуальные научные публикации в профессиональной области

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Лабораторное моделирование в геофизической гидродинамике» обучающийся должен:

знать:

- основные понятия геофизической гидродинамики;
- вывод уравнений и безразмерных параметров;
- принципы и методы лабораторного моделирования физических процессов в океане.

уметь:

- пользоваться своими знаниями для решения фундаментальных и прикладных задач и технологических задач;
- делать правильные выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента;
- производить численные оценки по порядку величины;
- видеть в технических задачах физическое содержание;
- осваивать новые предметные области, теоретические подходы и экспериментальные методики;
- получать достоверные значения измеряемых величин и правильно оценить степень их достоверности;
- эффективно использовать информационные технологии и компьютерную технику для достижения необходимых теоретических и прикладных результатов.

владеть:

- навыками освоения большого объема информации;
- навыками самостоятельной работы;
- культурой постановки и моделирования физических задач;
- навыками грамотной обработки результатов опыта и сопоставления с теоретическими данными;
- практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач.

3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

Текущий контроль проводится в форме устного опроса.

Примерный список вопросов для устного опроса:

1. Теория подобия
2. Pi -теорема
3. Степенные законы
4. Свободная тепловая конвекция
5. Закономерности свободной конвекции
6. Термический погранслой океана
7. Вынужденная конвекция
8. Проникающая конвекция
9. Формирование ВКС
10. Методы создания стратификации
11. Процессы внутреннего перемешивания
12. Дифференциально-диффузионная (Д-Д) конвекция
13. Внутриводное ледообразование
14. Интрузионные процессы
15. Локальное перемешивание и коллапс - растекание перемешанных пятен
16. Коллапс не полностью перемешанных пятен
17. Плотностные течения (ПТ) на наклонном дне и их взаимодействие с пикноклином
18. Турбулентные ПТ на наклонном дне в однородной жидкости
19. Взаимодействие ПТ со скачком плотности
20. Примеры влияния вращения Земли на динамику вод океана
21. Инерционные колебания
22. Потенциальный вихрь
23. Вертикально однородные (баротропные) вихревые структуры в ОВЖ
24. Экмановский пограничный слой
25. Влияние параметра Кориолиса с широтой (бета-эффекта) на динамику вод океана
26. Стратифицированная вращающаяся жидкость (СВЖ)
27. Экмановская накачка циркуляции в СВЖ
28. Бароклинная неустойчивость океанских течений, формирование меандров и мезомасштабных вихрей.
29. Гидрологическая структура Черного моря
30. Определяющие безразмерные параметры для Черного моря и лабораторной модели
31. Субмезомасштабные вихри в Черном море и Мировом океане, характеристики, физические механизмы их образования по результатам наблюдений.

4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

Промежуточная аттестация по дисциплине «Лабораторное моделирование в геофизической гидродинамике» проводится в форме зачета в осеннем семестре и в виде дифференцированного зачета (устного) в весеннем семестре.

Примеры экзаменационных билетов:

Билет №1.

1. Теория Подобия. Pi -теорема.
2. Влияние планетарного бета-эффекта на динамику вод океана: свердруповский баланс.

Билет №2.

1. Автомодельность, степенные законы.
2. Экмановская накачка циркуляции в однородной вращающейся жидкости.

Билет №3.

1. Свободная и вынужденная конвекция.
2. Стратифицированная вращающаяся жидкость.

Билет №4.

1. Турбулентное вовлечение в стратифицированной жидкости.
2. Геострофический баланс: уравнения.

Билет №5.

1. Процессы внутреннего перемешивания. Дифференциально-диффузионная конвекция.
2. Экмановская накачка циркуляции во вращающейся жидкости.

Билет №6.

1. Интрузионные процессы в стратифицированной жидкости.
2. Бароклинная неустойчивость океанских течений, формирование меандров и мезомасштабных вихрей.

Билет №7.

1. Плотностные течения на наклонном дне и их взаимодействие с пикноклином.
2. Гидрологическая структура Черного моря. Крупномасштабная циркуляция и мезомасштабная динамика вод Черного моря.

Билет №8.

1. Турбулентные плотностные течения на наклонном дне в однородной жидкости.
2. Геострофические течения, возбуждаемые экмановской накачкой в двуслойной жидкости.

Билет №9.

1. Однородная вращающаяся жидкость, основные уравнения.
2. Тепловой баланс на поверхности океана. Решение уравнения теплопроводности.

Билет №10.

1. Примеры влияния вращения Земли на динамику вод океана. Частота плавучести, параметр Кориолиса.
2. Свободная конвекция. Теплый и холодный пограничный слой.

Билет №11.

1. Инерционные колебания.
2. Неустойчивость Релея-Тейлора и иерархия масштабов конвекции.

Билет №12.

1. Плотностные течения на наклонном дне и их взаимодействие с пикноклином.
2. Потенциальный вихрь, условие сохранения потенциального вихря.

Билет №13.

1. Вихревые колонки Тейлора-Праудмена.

2. Основные уравнения для однородной вращающейся жидкости. Уравнения динамики в безразмерном виде: основные параметры подобия.

Билет №14.

1. Экмановский пограничный слой.
2. Вынужденная конвекция. Определение, причины возникновения.

Билет №15.

1. Проникающая конвекция и ее роль в формировании верхнего квазиоднородного слоя.
2. Взаимодействие плотностного течения с резким пикноклином.

Билет №16.

1. Влияние придонного трения на динамику баротропного вихря-интрузии над горизонтальным дном.
2. Коллапс перемешанных пятен.

Билет №17.

1. Свободная конвекция во вращающейся жидкости.
2. Потенциальный вихрь, условие сохранения потенциального вихря.

Билет №18.

1. Изучение внутреннего перемешивания на примере Черного моря. Причины внутреннего перемешивания.
2. Влияние параметра Кориолиса с широтой (планетарного бета-эффекта) на динамику вод океана: свободные колебания - волны Россби-Блиновой.

Билет №19.

1. Вихри-интрузии в однородной вращающейся жидкости при наличии бета-эффекта.
2. Неустойчивость Релея-Тейлора и иерархия масштабов конвекции.

Билет №20.

1. Вынужденная конвекция. Определение, причины возникновения.
2. Бета-эффект как основной механизм формирования асимметрии общей циркуляции вод океана (интенсивных западных пограничных течений).

Критерии оценивания

оценка «отлично (10)» выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины при ответе экзаменационного билета и ответе на вопросы по программе дисциплины, а также по результатам контрольных, самостоятельных работ и тестов;

оценка «отлично (9)» выставляется студенту, показавшему систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины при ответе экзаменационного билета и ответе на вопросы по программе дисциплины, а также по результатам контрольных, самостоятельных работ и тестов;

оценка «отлично (8)» выставляется студенту, показавшему систематизированные, знания учебной программы дисциплины при ответе экзаменационного билета и ответе на вопросы по программе дисциплины, а также по результатам контрольных, самостоятельных работ и тестов;

оценка «хорошо (7)» выставляется студенту по результатам контрольных, самостоятельных работ и тестов, если он твердо знает материал экзаменационного билета, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности;

оценка «хорошо (6)» выставляется студенту по результатам контрольных, самостоятельных работ и тестов, если он знает материал экзаменационного билета, по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе много неточностей;

оценка «хорошо (5)» выставляется студенту по результатам контрольных, самостоятельных работ и тестов, если он знает материал экзаменационного билета, излагает его, умеет применять полученные знания на практике, не допускает в ответе грубых ошибок;

оценка «удовлетворительно (4)» выставляется студенту по результатам контрольных, самостоятельных работ и тестов, а также, если во время ответа экзаменационного билета он показал фрагментарный, характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, но при этом он владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения;

оценка «удовлетворительно (3)» выставляется студенту по результатам контрольных, самостоятельных работ и тестов, а также, если во время ответа экзаменационного билета он показал разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушение логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации;

оценка «неудовлетворительно (2-1)» выставляется студенту по результатам контрольных, самостоятельных работ и тестов, а также, если во время ответа экзаменационного билета, он показал, что не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных понятий дисциплины и не умеет использовать полученные знания при решении типовых практических задач.

5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Зачет проводится по итогам текущей успеваемости: по результатам устных ответов на вопросы в течение семестра и в виде специального опроса в устной форме.

Порядок проведения дифференцированного зачета:

При проведении дифференцированного зачета обучающемуся предоставляется 60 минут на подготовку. Опрос обучающегося по билету не должен превышать двух астрономических часов.

Во время проведения дифференцированного зачета при подготовке ответов на билеты, обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, конспектами и любой другой литературой.

Во время проведения дифференцированного зачета, при ответе обучающегося на вопросы по билету или по программе дисциплины, он не может пользоваться конспектами и любой другой литературой.