

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

**УТВЕРЖДЕНО**

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

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Математическое моделирование гидрофизических процессов
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Фундаментальная и прикладная физика природных систем Физтех-школа Аэрокосмических Технологий кафедра термогидромеханики океана
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

1 (осенний) - Зачет

2 (весенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 120 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 90 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 60 час.

Всего часов: 180, всего зач. ед.: 4

Программу составили:

А.В. Григорьев, канд. физ.-мат. наук

И.М. Кабатченко, канд. геогр. наук, профессор

Программа обсуждена на заседании кафедры термогидромеханики океана 01.06.2020

## Аннотация

В курсе рассматриваются ключевые понятия и методы математического моделирования гидрофизических процессов в морях и океанах. Прежде всего вводятся основные представления о гидрофизических процессах в морях и океанах, а также необходимые для исследования этих процессов величины, понятия и постулаты. Основной упор в курсе делается на изучение ветрового волнения, течений и термохалинной структуры морских вод. Рассматриваются основные процессы генерации и распространения ветрового волнения. Ветровое волнение рассматривается как нерегулярный процесс. Отдельные лекции посвящены характерным формам направленного спектра ветрового волнения. Вводятся представления о масштабах изменчивости ветрового волнения и методах исследования процесса на этих масштабах. Вводятся основные понятия об энергии и мощности ветрового волнения. Даются основы теории волн малой амплитуды и выводы этой теории для разных глубин моря. В рамках изучения процесса взаимодействия ветра и волн обосновываются различия между механизмом неустойчивости Кельвина-Гельмгольца и линейным механизмом взаимодействия между ветром и волнами Майлза. Обсуждаются нелинейные взаимодействия в спектре ветрового волнения, кинетический интеграл К. Хассельманна, способы его упрощения для прикладных задач. Излагаются основы модели «узконаправленного» приближения спектра ветрового волнения В.Е. Захарова. Дается описание особенности генерации и распространения волнения на мелкой воде, представление о трехволновом взаимодействии в спектре ветрового волнения, причины трансформации и обрушения ветрового волнения на мелководье. Приводится полная система уравнений термогидродинамики, способы ее упрощения и возможные аналитические решения. Даются основы вычислительной гидродинамики в объеме, необходимом для решения задач оперативной океанографии. Значительное внимание уделяется рассмотрению технологий усвоения данных натурных наблюдений в численных моделях – оптимальной интерполяции и калмановской фильтрации. Основной раздел темы – оперативная океанография как интегрирующий результат моделирования гидрофизических полей. На примере системы оперативного диагноза и прогноза полей температуры, солености, уровня и течений Черного моря приводятся результаты численного моделирования с усвоением данных спутниковых наблюдений. Даются качественные и количественные оценки сравнения данных моделирования, контактных и дистанционных наблюдений.

## 1. Цели и задачи

### Цель дисциплины

- формирование базовых знаний по моделированию гидрофизических процессов в морях и океанах 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 моделирования гидрофизических процессов;
- научить студентов на примерах и задачах строить поля ветрового волнения и течений, самостоятельно анализировать полученные результаты.

## 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-2 Способен управлять проектом на всех этапах его реализации	УК-2.1 Формулирует в рамках обозначенной проблемы, цель, задачи, актуальность, значимость (научную, практическую, методическую и иную в зависимости от типа проекта), ожидаемые результаты и возможные сферы их применения
	УК-2.2 Способен прогнозировать результат деятельности и планировать последовательность шагов для достижения данного результата. Формирует план-график реализации проекта в целом и план контроля его выполнения

	УК-2.4 Представляет публично результаты проекта (или отдельных его этапов) в форме отчетов, статей, выступлений на научно-практических конференциях, семинарах и т.п.
	УК-2.3 Способен организовать и координировать работу участников проекта, обеспечивать работу команды необходимыми ресурсами
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ОПК-2.2 Способен оценивать актуальность исследований в области своей профессиональной деятельности и их практическую значимость
	ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

### 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- фундаментальные понятия, законы, теории классической и современной гидрофизики;
- порядки численных величин, характерные для различных разделов ветрового волнения и течений в морях и океанах;
- современные проблемы математического моделирования гидрофизических процессов.

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 наилучшие 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 ММГП. Общие вопросы ММГП. Теория волн малой амплитуды	30	30		30
2	Спектры ветрового волнения. Нелинейное взаимодействие в спектре ветрового волнения. Взаимодействие ветра и волн		10		3
3	Ветровое волнение на мелкой воде и в зоне трансформации		10		12
4	Геофизическая гидродинамика		10		5
5	Вычислительная гидродинамика		10		3
6	Усвоение данных наблюдений в численных моделях динамики океана		10		3
7	Оперативная океанография		10		4
Итого часов		30	90		60
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		180 час., 4 зач.ед.			

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

Семестр: 1 (Осенний)

###### 1. Введение в ММГП. Общие вопросы ММГП. Теория волн малой амплитуды

Общие принципы моделирования гидрофизических полей. Теория волн малой амплитуды. Дисперсионное соотношение для глубокого и мелкого морей, зоны трансформации. Интеграл Коши – Лагранжа в теории волн малой амплитуды. Уравнение Лапласа. Потенциал скорости для волн малой амплитуды на глубокой и мелкой воде. Компоненты скорости, уравнение траектории частиц, давления на глубокой и мелкой воде. Значение теории волн малой амплитуды для задачи измерения ветрового волнения в море.

Семестр: 2 (Весенний)

###### 2. Спектры ветрового волнения. Нелинейное взаимодействие в спектре ветрового волнения. Взаимодействие ветра и волн

Преобразование Фурье. Уравнения Бернулли в задаче описания взаимодействия волн друг с другом. Условие резонанса при взаимодействии трех волн. Условие резонанса при взаимодействии четырех волн. Интеграл нелинейных взаимодействий Хассельмана в задаче генерации ветрового волнения. Форма потокового спектра ветрового волнения. Спектр JONSWAP. Способы упрощения кинетического интеграла Хассельмана в задачах моделирования ветрового волнения. Неустойчивость Кельвина-Гельгольца. Ее применимость для описания генерации ветрового волнения ветром. Компоненты функции «источника» Хассельмана. Физический смысл первых трех компонент. Механизм Майлза взаимодействия между ветром и волнами. Коэффициента взаимодействия. Масштаб скорости в турбулентном потоке воздуха. Скоростью трения. Логарифмический профиль скорости. Параметр шероховатости. Слой совпадения. Современные модели ветро-волнового взаимодействия. Характер зависимости безразмерного параметра шероховатости от обратного возраста волны ( $u^*/C_p$ , где  $C_p$  - фазовая скорость волны).

### 3. Ветровое волнение на мелкой воде и в зоне трансформации

Дисперсионное соотношение в зоне трансформации. Характер изменения волнения при подходе к берегу на уменьшающейся глубине. Взаимодействие в системе ветер – волны - течения в зоне прибрежного мелководья.

Трехволновые взаимодействия в спектре ветрового волнения. Причины их значимости в прибрежных районах моря.

Инфравгравитационные волны. Уравнение Кортвега - Де Вриза. Метод обратной задачи рассеяния. Типы решения уравнения КдВ. Формула уединенного солитона.

### 4. Геофизическая гидродинамика

Специфика геофизической гидродинамики. Законы сохранения в системе уравнений Навье-Стокса. Упрощения полной системы уравнений Навье-Стокса. Система уравнений Рейнольдса. Параметризации турбулентных напряжений. Турбулентность и уравнения для моментов высших порядков. Гидростатическое приближение. Геострофические соотношения. Аналитические решения. Экмановский слой океана. Апвеллинг и даунвеллинг. Бароклинные и батотропные задачи. Полные потоки.

### 5. Вычислительная гидродинамика

Методы конечных разностей и конечных элементов. Основные конечно-разностные формы для частных производных. Устойчивость, консервативность и транспортность конечно-разностных схем. Схема Аракавы. Сигма-координата и z-координата в моделях термогидродинамики. Метод «вложенных сеток» в моделях термогидродинамики.

### 6. Усвоение данных наблюдений в численных моделях динамики океана

Необходимость усвоения данных натурных наблюдений в моделях состояния океана. Фильтр Калмана и оптимальная интерполяция. Стохастико-динамические уравнения. Информационная вязкость. Оценки эффективности усвоения данных в численных моделях синоптической динамики океана. Граничные параметры пространственно-временной дискретности усвоения.

### 7. Оперативная океанография

Основные черты термохалинной структуры и динамики вод Черного моря и их воспроизводимость в численных моделях. Автоматизированная система диагноза и прогноза. Количественные оценки соответствия модельных и натурных данных (контактных и спутниковых). Оценки изменчивости состояния вод Черного моря на основе данных, получаемых в рамках задач оперативной океанографии.

## 5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

## 6. Перечень рекомендуемой литературы

### Основная литература

1. Физическая океанография [Текст]/А. Лакомб, -М., Мир, 1974
2. Вычислительные методы в физике [Текст]/Д. Поттер, -М., Мир, 1975
1. Захаров В. Е., Манаков С. В., Новиков С. П., Питаевский Л. П. Теория солитонов: Метод обратной задачи. — М., Наука, 1980. — 320 с.
2. Кабатченко И.М. Ветровое волнение. Курс Лекций. Альтаир - МГАВТ Москва, 2015
3. Филлипс О.М. Динамика верхнего слоя океана. – Л. Гидрометеиздат. 1980. 320 с.
4. Крылов Ю.М. Спектральные методы исследования ветровых волн. - Л. Гидрометеиздат. 1966. 254 с.
5. Кочин Н.Е., Кибель И.А., Розе Н.В. Теоретическая гидромеханика. Часть первая. ГИ Физико-математической литературы. Москва. 1963. 584 с.
6. Абузьяров З.К., Нестеров Е.С., Лукин А.А., Давидан И.Н., Кабатченко и.м., Дымов В.И., Вражкин А.Н. Режим, диагноз и прогноз ветрового волнения в океанах и морях. М, Информполиграф, 2013
7. Chalikov D.V. Numerical Modeling of Sea Waves. Springer. Library of Congress Control Number: 2016942526, P. 330.
8. Joseph Pedlosky - Geophysical fluid dynamics-Springer-Verlag (1987)
9. Роуч П. Вычислительная гидродинамика// М.: Мир, 1980. – 616 с.
10. Коротаев Г.К. Теоретическое моделирование синоптической изменчивости океана // Киев, Наук. думка, 1988. – 160 с.
11. Грузинов В.М., Борисов Е.В., Григорьев А.В. Прикладная океанография. Обнинск, «Артифекс», 2012, 384 с.
12. Коротаев Г.К., Еремеев В.Н. Введение в оперативную океанографию Черного моря.– Севастополь, – НППЦ "ЭКОСИ-Гидрофизика", 2006.– 382 стр., 134 рис., 28 табл.

### Дополнительная литература

1. The WAM Model - a third generation ocean wave prediction model. The WAMDI Group. - J.Phys.Ocean., 1988, vol. 18.
2. Zakharov V. E., L'vov V. S., Falkovich G. Kolmogorov spectra of turbulence I. Wave turbulence. — Springer-Verlag, 1992. — xii+364 p. — ISBN 978-3-642-50054-1.
3. Zakharov V. E. (ed.) What is integrability? — Springer-Verlag, 1992. — xiv+321 p. — ISBN 978-3-642-88705-5.
4. Кубряков А.И. Применение технологии вложенных сеток при создании системы мониторинга гидрофизических полей в прибрежных районах Черного моря. Сб. научн. тр.: Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Вып. 11, Севастополь, 2004, 31–50.

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

1. <http://lib.mipt.ru/> – электронная библиотека Физтех
2. <http://www.edu.ru> – федеральный портал «Российское образование».
3. <http://benran.ru> –библиотека по естественным наукам Российской академии наук.

## 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, программные комплексы (учебные версии) Flow Vision, Solid Works.

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

Для успешного освоения дисциплины, помимо посещения занятий от студентов требуется выполнение самостоятельной работы. Объем самостоятельной работы должен быть не менее указанного для каждого раздела программы. В основном, это время отводится на проработку материала лекций, а также на подготовку к текущему контролю.

Студенты, успешно прошедшие все формы промежуточного контроля, допускаются к сдаче зачета и дифференцированного зачёта по дисциплине.

Самостоятельная работа включает в себя:

- ознакомление с актуальной научной литературой;
- решение задач при выполнении домашних заданий;
- чтение рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала (по конспектам лекций, учебной и научной литературе).

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Фундаментальная и прикладная физика природных систем Физтех-школа Аэрокосмических Технологий кафедра термогидромеханики океана
<b>курс:</b>	<u>1</u>
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

1 (осенний) - Зачет

2 (весенний) - Дифференцированный зачет

**Разработчики:**

А.В. Григорьев, канд. физ.-мат. наук

И.М. Кабатченко, канд. геогр. наук, профессор



## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-2 Способен управлять проектом на всех этапах его реализации	УК-2.1 Формулирует в рамках обозначенной проблемы, цель, задачи, актуальность, значимость (научную, практическую, методическую и иную в зависимости от типа проекта), ожидаемые результаты и возможные сферы их применения
	УК-2.2 Способен прогнозировать результат деятельности и планировать последовательность шагов для достижения данного результата. Формирует план-график реализации проекта в целом и план контроля его выполнения
	УК-2.4 Представляет публично результаты проекта (или отдельных его этапов) в форме отчетов, статей, выступлений на научно-практических конференциях, семинарах и т.п.
	УК-2.3 Способен организовать и координировать работу участников проекта, обеспечивать работу команды необходимыми ресурсами
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ОПК-2.2 Способен оценивать актуальность исследований в области своей профессиональной деятельности и их практическую значимость
	ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Математическое моделирование гидрофизических процессов» обучающийся должен:

### знать:

- фундаментальные понятия, законы, теории классической и современной гидрофизики;
- порядки численных величин, характерные для различных разделов ветрового волнения и течений в морях и океанах;
- современные проблемы математического моделирования гидрофизических процессов.

### 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 наилучшие 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**

### 3. Перечень типовых контрольных заданий, используемых для оценки знаний, умений, навыков

Промежуточная аттестация по дисциплине «Математическое моделирование гидрофизических процессов» осуществляется в форме зачета (устного) в осеннем семестре и в форме дифференцированного зачёта (устного) в весеннем семестре.

Текущий контроль осуществляется в форме контрольных и самостоятельных работ в письменной форме по каждой теме. Каждое задание в контрольных и самостоятельных и работах оценивается определенным количеством баллов в конце условия каждого задания. По итогам набранных баллов выставляется оценка.

Контрольная работа №1 по теме «Теория волн малой амплитуды. Нелинейные взаимодействия в спектре ветрового волнения»

#### Вариант 1

1. В чем состоит смысл дисперсионного соотношения. Записать дисперсионное соотношение для глубокого и мелкого морей, зоны трансформации. (3)
2. Как записывается интеграл Коши – Лагранжа в теории волн малой амплитуды? (4)
3. Записать уравнение Лапласа. (4)
4. Какой малый параметр используется для упрощения исходных уравнений в теории волн малой амплитуды? (2).
5. Записать потенциал скорости для волн малой амплитуды на глубокой воде (2)
6. Записать компоненты скорости, уравнение траектории частиц, давления на глубокой воде. (3)
7. Записать потенциал скорости для волн малой амплитуды в зоне трансформации волн (2)
8. Записать компоненты скорости, уравнение траектории частиц, давления в зоне трансформации волн. (3)
9. Значение теории волн малой амплитуды для задачи измерения ветрового волнения в море. (2)

#### Вариант 2

1. Как записывается уравнения Бернулли с учетом нелинейных членов в задаче описания взаимодействия волн друг с другом? (3)
2. Какой малый параметр используется для упрощения уравнения Бернулли в задаче учета взаимодействия волн друг с другом? (2).
3. Каково условие резонанса при взаимодействии трех волн. Где оно применимо? (3)
4. Каково условие резонанса при взаимодействии четырех волн. Смысл экспериментальных исследований по подтверждению существования четырехволновых взаимодействий. (3)
5. Член нелинейных взаимодействий Хассельмана в задаче генерации ветрового волнения. (2)

6. Характерные изменения реальных спектров ветрового волнения из-за нелинейного четырехволнового взаимодействия. Форма потокового спектра ветрового волнения. Спектр JONSWAP. (3)

7. Способы упрощения кинетического интеграла Хассельмана в задачах моделирования ветрового волнения. Их физический смысл (5).

8. Объяснить различия в спектрах ветрового волнения для бассейнов с разными линейными размерами. Почему в относительно небольших акваториях волны не могут достичь размеров океанских волн? (3)

9. Физический смысл появления волн «убийц». (2)

### Контрольная работа №2 по теме «Оперативная океанография»

#### **Вариант 1**

1. Система уравнений гидротермодинамики (Навье-Стокса). Система осредненных уравнений (Рейнольдса) (3).

2. Упрощение системы уравнений гидродинамики. Аналитические решения (4).

3. Параметризации турбулентных напряжений (3).

4. Турбулентность и уравнения для моментов высших порядков. Стохастико-динамические уравнения (4).

5. Вычислительная гидродинамика. Конечные разности и конечные элементы (4).

6. Численные модели динамики океана (3).

7. Примеры использования численных моделей на основе Princeton Ocean Model (POM) (4).

#### **Вариант 2**

Системы наблюдений над параметрами состояния океана (3).

2. Оптимальная интерполяция данных наблюдений (3).

3. Фильтр Калмана и его приложения для задач океанологии (2).

4. Усвоение данных наблюдений в численных моделях. Четырехмерный анализ (3).

5. Динамико-стохастические модели динамики океана (3).

6. Оценки эффективности усвоения данных в численных моделях синоптической динамики океана (3).

7. Оперативная океанография (3).

8. Автоматизированная система диагноза и прогноза динамики и термохалинной структуры вод Черного моря (3).

9. Оценки изменчивости состояния вод Черного моря на основе данных, получаемых в рамках задач оперативной океанографии (3).

### Самостоятельная работа № 1 по теме «Взаимодействие волнения и ветра. Волны на мелкой воде».

#### **Вариант 1**

1. Смысл неустойчивости Кельвина-Гельгольца. Ее применимость для описания генерации ветрового волнения ветром. (4)

2. Общий вид компонентов функции «источника» Хассельмана. Физический смысл первых трех компонент. (4)

3. Механизм Майлза взаимодействия между ветром и волнами. В чем физический смысл коэффициент взаимодействия  $\beta$ ? (4)

4. Масштаб скорости в турбулентном потоке воздуха. Что такое скорость трения? Логарифмический профиль скорости. Параметр шероховатости. (2)

5. Физический смысл слоя совпадения. Различие в линиях тока над волнами при взаимодействии между ветром и волнами по Майлзу и при неустойчивости Кельвина-Гельгольца (2).:
6. Основные компоненты тангенциального напряжения трения по Майлзу.(1)
7. Выражение для коэффициента взаимодействия  $\beta$ . В чем сложность его применения на практике.(3)
8. Современные модели ветро-волнового взаимодействия. Характер зависимости безразмерного параметра шероховатости от обратного возраста волны ( $u^*/C_p$ , где  $C_p$  - фазовая скорость волны)(2).

### Вариант 2

1. Дисперсионное соотношение в зоне трансформации. Как изменяются волны при подходе к берегу на уменьшающейся глубине. (4)
2. Какие особенности взаимодействия ветра с волнами в прибрежной зоне?(2)
3. Взаимодействие между волнами и течениями в прибрежной зоне моря.(2)
4. Трехволновые взаимодействия в спектре ветрового волнения. Причины их значимости в прибрежных районах моря.(2)
5. Характер изменения реального спектра ветрового волнения под воздействием трех волновых взаимодействий. Что такое инфрагравитационные волны?(4)
6. Уравнение Кортвега - Де Вриза. Физический смысл членов.(4)
7. Два основных типа решение уравнения КдВ. В чем разница между периодически решением и в виде уединенные волны. (2)
8. Формула уединенного солитона.(2)

### Самостоятельная работа № 2 по теме «Оперативная океанография».

#### Вариант 1

1. Оценки размерностей в системе уравнений гидротермодинамики (3).
2. Геострофическое приближение. Динамический метод расчета скоростей течений (4).
2. Уравнения мелкой воды. Уравнения баланса вихря. Радиус деформации Россби (3).
3. Уравнение диссипации кинетической энергии (3).
4. Способы замыкания системы уравнений для моментов высших порядков (2).
5. Численные схемы различных порядков. Центральные разности и разности «против потока». Транспортность и консервативность разностных схем. (3)
6. Метод расщепления (3).
7. Адаптация численных моделей для диагноза и прогноза в регионе.

#### Вариант 2

1. Спутниковая система наблюдений над параметрами состояния океана (3).
2. Решение системы уравнений оптимальной интерполяции (3).
3. Приложения фильтра Калмана для задач усвоения данных в задачах океанологии (3).
4. Технологии усвоения данных наблюдений в численных моделях океана (2).
5. «Замыкания» систем уравнений динамики океана на уровне высших моментов (3).
6. Сравнение эффективности усвоения данных методами оптимальной интерполяции и оптимальной фильтрации (2).
7. Оперативная океанография Черного моря (3).
8. Изменчивость состояния вод Черного моря на основе данных оперативной океанографии (3).

### Критерии оценивания

Оценка	Набранные баллы
--------	-----------------

отлично (10)	более 26 баллов
отлично (9)	25
отлично (8)	24
хорошо (7)	23
хорошо (6)	от 21 до 22 включительно
хорошо (5)	от 19 до 20 включительно
удовлетворительно (4)	от 17 до 18 включительно
удовлетворительно (3)	от 13 до 15 включительно
неудовлетворительно (2)	от 12 до 6 включительно
неудовлетворительно (1)	не более 5

Примеры экзаменационных билетов:

#### ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1

1. **Ветровое волнение:** Теория волн малой амплитуды. Дисперсионное соотношение ветровых волн на разных глубинах.
2. **Оперативная океанография:** Оценки вклада членов в системе уравнений гидротермодинамики. Геострофическое приближение. Динамический метод расчета скоростей течений.

#### ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 2

1. **Ветровое волнение:** Применение теории волн малой амплитуды при практических исследованиях ветрового волнения. Способы измерения характеристик ветрового волнения в открытом море.
2. **Оперативная океанография:** Аналитические решения упрощенной системы уравнений гидротермодинамики океана.

#### ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 3

1. **Ветровое волнение:** Нерегулярность ветрового волнения. Способы описания. Спектр ветрового волнения.
2. **Оперативная океанография:** Замыкание системы уравнений гидротермодинамики на уровне вторых моментов.

#### ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 4

1. **Ветровое волнение:** Трехволновое и четырехволновое нелинейное взаимодействие. Условие резонанса.
2. **Оперативная океанография:** Транспортность численных схем центральных разностей. Разности «против потока».

#### ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 5

1. **Ветровое волнение:** Нелинейные взаимодействия в спектре ветровых волн Хассельмана. Характер эволюции спектра ветрового волнения под воздействием нелинейных взаимодействий.
2. **Оперативная океанография:** Применение метода расщепления в задачах динамики океана.

#### ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 6

**1. Ветровое волнение:** Способы упрощения кинетического интеграла Хассельмана при практическом моделировании ветрового волнения. Современные модели ветрового волнения.

**2. Оперативная океанография:** Численные модели динамики вод Черного моря.

#### ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 7

**1. Ветровое волнение:** Теоретические основы «узконаправленной» модели ветрового волнения. Преимущества и слабости по сравнению с существующими моделями ветрового волнения.

**2. Оперативная океанография:** Системы наблюдений над параметрами состояния вод морей и океана.

#### ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 8

**1. Ветровое волнение:** Неустойчивость Кельвина-Гельмгольца. Ее вклад во взаимодействие ветра и волн. Альтернативные теории возбуждения волн ветром.

**2. Оперативная океанография:** Оптимальная интерполяция и оптимальная фильтрация. Сравнение областей применимости и эффективности использования.

#### ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 9

**1. Ветровое волнение:** Взаимодействие между ветром и волнами по Майлзу. Коэффициент взаимодействия  $\beta$ .

**2. Оперативная океанография:** Автоматизированные системы диагноза и прогноза динамики вод европейских морей.

#### ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 10

**1. Ветровое волнение:** Ветроволновые процессы в мелководных акваториях. Характер взаимодействия между волнами, течениями и ветром в мелководных акваториях.

**2. Оперативная океанография:** Результаты численного моделирования как способ изучения физических особенностей морей.

#### ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 11

**1. Ветровое волнение:** Трехволновые взаимодействия в спектре ветрового волнения. Характер эволюции спектра ветрового волнения под воздействием трехволновых взаимодействий.

- 2. Оперативная океанография:** Характерные особенности Черного моря, основанные на данных дистанционных, контактных измерений и данных моделирования.

## ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 12

- 1. Ветровое волнение:** Уравнение Кортвега – Де Вриза. Физический смысл членов. Типы решений
- 2. Оперативная океанография:** Оперативная океанография как метод исследования гидрофизических процессов.

### 4. 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**

Порядок проведения контрольных работ:

Во время проведения контрольных работ обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, калькуляторами.

Порядок проведения зачета:

Дифференцированный зачет проводится по итогам текущей успеваемости: по результатам контрольных, самостоятельных работ по каждой теме. Также зачет проводится путем организации специального опроса в устной форме, если результатом выполнения контрольной работы является оценка неудовлетворительно или оценка отсутствует по уважительной причине.

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 лекций, семинаров 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 лекций и семинаров и любой другой литературой.