

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет  
им. Н.И. Лобачевского»

Радиофизический факультет

УТВЕРЖДАЮ:

Декан радиофизического факультета  
д.ф.-м.н., профессор  
Матросов В.В.  
" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**Рабочая программа дисциплины**

Акустика океана – численные методы

---

Уровень высшего образования

**бакалавриат**

---

Направление подготовки / специальность

**02.03.02 «Фундаментальная информатика и информационные технологии»**

---

Направленность образовательной программы

Информационные системы и технологии

---

Квалификация (степень)

**бакалавр**

---

Форма обучения

**очная**

---

Нижегород  
2017 год

### 1. Место и цели дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Акустика океана – численные методы» относится к дисциплинам вариативной части основной образовательной программы по направлению **02.03.02 «Фундаментальная информатика и информационные технологии»** на 4 курсе в 8 семестре.

Целью освоения дисциплины является изучение физических основ современной акустики океана. Основное внимание уделяется наглядной интерпретации основных принципов анализа явлений в океанической среде. На примере океанической среды приводятся наиболее востребованные в настоящее время методы расчета полей в неоднородных и ограниченных средах.

### 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

Формируемые компетенции (Код компетенции, этап формирования)	Планируемые результаты обучения по дисциплине, характеризующие этапы формирования компетенций
ОПК-4 – способность решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности.  Этап формирования базовый	31 (ОПК-4) Знать основы фундаментальных разделов физики и радиофизики, необходимыми для решения научно-исследовательских задач теории распространения звуковых волн в неоднородных средах  У1 (ОПК-4) Уметь ориентироваться в фундаментальных аспектах физики и радиофизики, необходимыми для решения научно-исследовательских задач в области гидроакустики  В1 (ОПК-4) Владеть простейшими базовыми навыками решения задач в области гидроакустики
ПК-1 – способность собирать, обрабатывать и интерпретировать данные современных научных исследований, необходимые для формирования выводов по соответствующим научным исследованиям.  Этап формирования юазовый	31 (ПК-1) Знать основные способы обработки данных научных экспериментов  У1 (ПК-1) Уметь применять навыки, приобретенные в ходе обучения, для решения частных задач в области акустики природных сред  В1 (ПК-1) Владеть способностью интерпретации данных современных научных исследований в области акустики океана решения задач в области гидроакустики

### 3. Структура и содержание дисциплины «Акустика океана – численные методы»

Объем дисциплины составляет 2 зачетных единицы, всего 72 часа, из которых 23 часа составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (22 часа занятия лекционного типа, 1 час - мероприятия текущего контроля успеваемости), 49 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

## Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	В том числе																
	Всего (часы)			Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы										Самостоятельная работа обучающегося, часы			
				Занятия лекционного типа			Занятия семинарского типа			Занятия лабораторного типа			Всего				
	Очное	Очно-заочное	Заочное	Очное	Очно-заочное	Заочное	Очное	Очно-заочное	Заочное	Очное	Очно-заочное	Заочное	Очное	Очно-заочное	Заочное		
1. Физические характеристики океана, влияющие на акустические поля.	10						4						4			6	
2. Лучевая теория распространения звука в океане – численная реализация	32	4					10						10			22	
3. Методы расчета характеристик звуковых волн при отражении звука от поверхности и дна океана	29	8					8						8			21	
В т.ч. текущий контроль	1						1						1				
<b>Промежуточная аттестация – зачёт</b>																	

### Содержание разделов дисциплины

1. ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОКЕАНА, ВЛИЯЮЩИЕ НА АКУСТИЧЕСКИЕ ПОЛЯ
  - 1.1. Введение. Акустика океана как отрасль океанологии: прямые и обратные задачи.
  - 1.2. Неоднородность океанической среды. Физические свойства морской воды.
  - 1.3. Стратификация океана. Типичные вертикальные профили скорости звука и солёности. Формула Медвина. Различные способы измерения скорости звука в морской среде.
  - 1.4. Затухание и рассеяние звука в море. Коэффициент затухания. Формулы Шулкина-Марша, Торпа, Киблуайта, Шихи-Холи.
  - 1.5. Физические характеристики поверхности и дна океана, влияющие на распространение звука в морской среде.
  - 1.6. Крупномасштабные неоднородности океана.
  
2. ЛУЧЕВАЯ ТЕОРИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗВУКА В ОКЕАНЕ – ЧИСЛЕННАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ
  - 2.1. Уравнение Гельмгольца. Плоские и сферические волны.
  - 2.2. Рефракция лучей в слоистой среде: закон Снеля, радиус кривизны и кривизна луча. Трёхмерная рефракция.
  - 2.3. Траектория луча в плоскостойкой среде. Кусочно-линейная аппроксимация скорости звука.
  - 2.4. Интенсивность звука, фактор фокусировки, каустики.
  - 2.5. Геометроакустическое приближение: уравнение переноса и уравнение эйконала. Приближение ВКБ для плоскостойкой среды.

### 3. МЕТОДЫ РАСЧЕТА ХАРАКТЕРИСТИК ЗВУКОВЫХ ВОЛН ПРИ ОТРАЖЕНИИ ЗВУКА ОТ ПОВЕРХНОСТИ И ДНА ОКЕАНА

3.1. Коэффициенты отражения и прозрачности на границе двух жидких сред.

3.2. Отражение плоской звуковой волны от жидкого слоистого дна.

## 4. Образовательные технологии

Основными видами образовательных технологий курса «Акустика океана – численные методы» являются лекции с применением технологий интерактивного обучения (презентаций) и самостоятельная работа студента.

## 5. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа студентов направлена на самостоятельное изучение отдельных тем рабочей программы и решение домашних заданий по практике. *Цель самостоятельной работы* - подготовка современного компетентного специалиста и формирование способностей и навыков к непрерывному самообразованию и профессиональному совершенствованию.

Используются виды самостоятельной работы студента: в читальном зале библиотеки, в учебных кабинетах (лабораториях), компьютерных классах, с доступом к ресурсам Интернет и в домашних условиях. Порядок выполнения самостоятельной работы соответствует программе курса и контролируется в ходе проведения аудиторных занятий и в конце курса при проведении зачета по данной дисциплине. Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим рекомендованные учебники и учебно-методические пособия, а также конспекты лекций.

### Список контрольных вопросов:

1. Неоднородность океанической среды: регулярные и нерегулярные неоднородности (типичные профили распределения солености, температуры и давления).
2. Влияние объемных неоднородностей на распространение звука в океане.
3. Стратификация океана. Зависимость скорости звука от глубины. Плоско-слоистая модель океанической среды. Формула Медвина.
4. Типичные виды профилей скорости звука: подводный звуковой канал, приповерхностный звуковой канал, двухосевой канал, антиволноводное распространение, однородный волновод. "Зональная структура" поля в ПЗК.
5. Затухание звука в морской среде.
6. Влияние поверхности океана на распространение звука. Рассеяние волны на взволнованной поверхности. Когерентная и некогерентная компоненты рассеянной волны.
7. Влияние морского дна на распространение звука. Поглощение звуковой энергии в дне. Донная реверберация и засветка зоны тени.
8. Особенности обработки данных модельных и натуральных экспериментов в гидроакустике
9. Уравнение Гельмгольца - основное уравнение акустики океана. Сферическая и плоская волны – точное решение уравнения Гельмгольца в однородной среде.
10. Причины рефракции лучей в слоистой среде. Вывод закона Снеллиуса для двух жидких полупространств и непрерывно слоистой среды. Расчет кривизны луча и радиуса кривизны.
11. Решение уравнения эйконала и уравнения переноса вдоль траектории луча.
12. Алгоритм расчета поля в плавно-неоднородной среде методом геометрической акустики.
13. Отражение и преломление плоских волн на границах раздела двух жидких сред. Закон Снеллиуса.
14. Формулы Френеля для коэффициентов отражения и прохождения.
15. Анализ различных предельных случаев (прозрачность границы, полное внутреннее отражение и т.д.).
16. Прохождение звуковой волны через границу раздела вода-воздух. Закон сохранения энергии и асимметрия границы по давлению.

17. Отражение звуковой волны и прохождение через плоский однородный слой. Формулы Френеля для коэффициентов отражения и прохождения. Полуволновой и четвертьволновой слой.

**б. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине,**

**б.1. Перечень компетенций выпускников образовательной программы с указанием результатов обучения (знаний, умений, владений), характеризующих этапы их формирования, описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования**

Код компетенции по ОПОП	Характеристика компетенции	Составляющие компетенции		
		знания	умения и навыки	владение опытом и личностная готовность к профессиональному совершенствованию
ОПК-4	Способность решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности	Знание методов решения стандартных задач профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности	Умение и навык решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности	Опыт решения стандартных задач на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности
ПК-1	Способность собирать, обрабатывать и интерпретировать данные современных научных исследований, необходимые для формирования выводов по соответствующим научным исследованиям	Знать основные методы обработки данных научных экспериментов	Уметь применять навыки, приобретенные в ходе обучения, для решения частных задач в области акустики природных сред	Владеть способностью интерпретации данных современных научных исследований в области акустики океана решения задач в области гидроакустики

**б.2. Описание шкал оценивания**

Итоговый контроль качества усвоения студентами содержания дисциплины проводится в виде зачета, на котором определяется:

- уровень усвоения студентами основного учебного материала по дисциплине;
- уровень понимания студентами изученного материала.

Зачет проводится в устной форме. Устная часть зачета заключается в ответе студентом на теоретические вопросы курса (с предварительной подготовкой, вопросы для промежуточного контроля указаны в пункте 5 настоящей РПД) и последующем собеседовании в рамках тематики курса. Шкала оценивания «зачет - незачет»:

Оценка	Уровень подготовки
Зачтено	Удовлетворительное знание содержания курса: В целом хорошая подготовка с заметными ошибками или недочетами или хотя бы минимальный уровень теоретических знаний. Студент может делать ошибки при ответе, но при ответах на наводящие вопросы, может правильно сориентироваться и в общих чертах дать правильный ответ.
Не зачтено	Неудовлетворительное знание содержания курса: Подготовка недостаточная и требует дополнительного изучения материала. Студент дает ошибочные ответы, как на теоретические вопросы билета, так и на наводящие и дополнительные вопросы экзаменатора.

### 6.3. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю), характеризующих этапы формирования компетенций

Для оценивания результатов обучения в виде знаний используется индивидуальное собеседование,

Для оценивания результатов обучения в виде умений и владений используются практические контрольные задания.

### 6.4. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих этапы формирования компетенций и (или) для итогового контроля сформированности компетенции.

#### Теоретические вопросы и контрольные задания (ОПК-4)

1. Привести уравнения лучевой акустики: уравнение эйконала и уравнение переноса. Уравнение луча.
2. Решение уравнения эйконала и уравнения переноса вдоль траектории луча.
3. Алгоритм расчета поля в плавно-неоднородной среде методом геометрической акустики.
4. Закон Снеллиуса. Формулы Френеля для коэффициентов отражения и прохождения. Анализ различных предельных случаев (прозрачность границы, полное внутреннее отражение и т.д.).
5. Прохождение звуковой волны через границу раздела вода-воздух.
6. Плоская звуковая волна падает на границу раздела двух жидких сред. Рассчитать и построить графики функции коэффициента отражения (по давлению)  $V$  в зависимости от угла падения  $\Theta$  (или от угла скольжения  $X$ ). Изобразить коэффициент отражения  $V$  на комплексной плоскости ( $n = \frac{c_1}{c_2} = 0,5$ ;  $m = \frac{\rho_2}{\rho_1} = 1,5$ ).  $\rho_1$  и  $\rho_2$  - плотности сред,  $c_1$  и  $c_2$  - скорости звука в средах

#### Теоретические вопросы и контрольные задания (ПК-1)

1. Привести типичные виды профилей скорости звука: подводный звуковой канал, приповерхностный звуковой канал, двухосевой канал, антиволноводное распространение, однородный волновод. Причина образования подводного звукового канала и "зональной структуры" поля в ПЗК.
2. Записать уравнение Гельмгольца - основное уравнение акустики океана. Показать что сферическая и плоская волны являются точными решениями.
3. Получить закон Снеллиуса для двух жидких полупространств и непрерывно слоистой среды.
4. Определить кривизну луча и радиус кривизны. Получить связь между кривизной луча и градиентом скорости звука.
5. Построить траекторию луча в среде с постоянным градиентом скорости звука  $c(z) = c(1+z/H)$ .
6. Вывести формулу для траектории луча и для времени пробега вдоль луча в плоскостлой среде.

7. Определить фактора фокусировки в среде с линейной зависимостью скорости звука от глубины  $c(z) = c(1+z/H)$
8. Преимущества кусочно-линейной аппроксимации скорости звука. Вывод выражения для горизонтального расстояния, проходимого лучом в слое.
9. Процедура построения траектории луча в непрерывно слоистой среде.

#### **6.5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания.**

- Положение «О проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся в ННГУ», утверждённое приказом ректора ННГУ от 13.02.2014 г. №55-ОД,
- Положение о фонде оценочных средств, утвержденное приказом ректора ННГУ от 10.06.2015 №247-ОД.

#### **7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины «Акустика океана – численные методы»**

##### **а) основная литература:**

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Учебное пособие. Т. 6. Гидродинамика. Физматлит, 2015. – 746 с
2. Акустика в задачах. Под ред. Гурбатов С.Н., Руденко О.В. М: Физматлит, 2009, 336 с.

##### **б) дополнительная литература:**

1. Гурбатов С.Н., Руденко О.В., Саичев А.И. Волны и структуры в нелинейных средах без дисперсии. Приложение к нелинейной акустике. М: Физматлит, 2011, 496 с.
2. Щевьев Ю.П. Основы физической акустики. М.: Лань, 2017, 367
3. Бахвалов Н.С., Корнев А.А., Чижонков Е.В. М.: Лаборатория знаний, 2016, 355с.

##### **в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы**

1. Грязнова И.Ю., Лабутина М.С., Прончатов-Рубцов Н.Р. Теория однократного рассеяния волн и ее приложение к задачам акустики природных сред: Учебное пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2016. – 80 с.  
[http://www.unn.ru/books/met\\_files/Scattering.pdf](http://www.unn.ru/books/met_files/Scattering.pdf)

#### **8. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)**

- аудиторный фонд ННГУ,
- аудитория для работы с мультимедийным проектором.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО/ВО с учетом рекомендаций и ОПОП ВПО по направлению **02.03.02 «Фундаментальная информатика и информационные технологии»**

Автор \_\_\_\_\_ к.ф.-м.н., доцент Прончатов-Рубцов Н.В..

Рецензент \_\_\_\_\_ д.т.н., профессор Орлов И.Я.

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ д.ф.-м.н., профессор Гурбатов С.Н.

Программа одобрена на заседании методической комиссии Радиофизического факультета. Протокол № 04/17 от «30» августа 2017 года.