

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

Радиофизический факультет

УТВЕРЖДЕНО  
решением ученого совета ННГУ  
протокол от  
«31» мая 2023 № 6

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**

---

Нижний Новгород  
2023 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)

<b>Формируемые компетенции</b> (Код компетенции, этап формирования)	<b>Планируемые результаты обучения по дисциплине, характеризующие этапы формирования компетенций</b>
<p><i>ПК-1</i> – способность собирать, обрабатывать и интерпретировать данные современных научных исследований, необходимые для формирования выводов по соответствующим научным исследованиям.</p> <p>Этап формирования юазовый</p>	<p>31 (ПК-1) Знать основы фундаментальных разделов физики и радиофизики, необходимыми для решения научно-исследовательских задач теории распространения звуковых волн в неоднородных средах</p> <p>32 (ПК-1) Знать основные способы обработки данных научных экспериментов</p> <p>У1 (ПК-1) Уметь применять навыки, приобретенные в ходе обучения, для решения частных задач в области акустики природных сред</p> <p>В1 (ПК-1) Владеть простейшими базовыми навыками решения задач в области гидроакустики</p> <p>В2 (ПК-1) Владеть способностью интерпретации данных современных научных исследований в области акустики океана решения задач в области гидроакустики</p>

### 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				
				Тьюторского Занятия			Тьюторского Занятия			Лабораторного Занятия			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 Снелля, 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 плоскослоистой 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.

## 6. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине,

### 6.1. 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
ПК-1	Способность собирать, обрабатывать и интерпретировать данные современных научных исследований, необходимые для формирования выводов по соответствующим научным исследованиям	Знать основы фундаментальных разделов физики и радиофизики, необходимыми для решения научно-исследовательских задач теории распространения звуковых волн в неоднородных средах	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
		Знать основные способы 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

### 6.2. 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 (ПК-1)

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
7. 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.
8. Записать уравнение Гельмгольца - основное уравнение акустики океана. Показать что сферическая и плоская волны являются точными решениями.
9. Получить закон Снеллиуса для двух жидких полупространств и непрерывно слоистой среды.
10. Определить кривизну луча и радиус кривизны. Получить связь между кривизной луча и градиентом скорости звука.
11. Построить траекторию луча в среде с постоянным градиентом скорости звука  $c(z) = c(1+z/H)$ .
12. Вывести формулу для траектории луча и для времени пробега вдоль луча в плоскостростистой среде.

13. Определить фактора фокусировки в среде с линейной зависимостью скорости звука от глубины  $c(z) = c(1+z/H)$
14. Преимущества кусочно-линейной аппроксимации скорости звука. Вывод выражения для горизонтального расстояния, проходимого лучом в слое.
15. 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 ОС ННГУ 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 от 25 мая 2023, протокол № 04/23.