

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 президиума Ученого совета ННГУ

протокол № 1 от 16.01.2024 г.

Рабочая программа дисциплины

Акустика океана

Уровень высшего образования

Бакалавриат

Направление подготовки / специальность

03.03.03 - Радиофизика

Направленность образовательной программы

Радиофизика и электроника

Форма обучения

очная

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.03.07 Акустика океана относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ПК-1: Способен осваивать принципы работы и методы эксплуатации современной и перспективной радиоэлектронной, оптической и акустической аппаратуры	ПК-1.1: Применяет теоретические основы создания и принципы функционирования радиоэлектронной, оптической и акустической аппаратуры ПК-1.2: Осваивает новые технологии радиоэлектронной, оптической и акустической аппаратуры, используя специальную, научную и учебную литературу	ПК-1.1: Знать основы фундаментальных разделов физики и радиофизики, необходимыми для решения научно-исследовательских задач теории распространения звуковых волн в неоднородных средах ПК-1.2: Уметь ориентироваться в фундаментальных аспектах физики и радиофизики, необходимыми для решения научно-исследовательских задач в области гидроакустики Владеть простейшими базовыми навыками решения задач в области гидроакустики	Собеседование	Зачёт: Контрольные вопросы
ПК-2: Способен осваивать и применять современные и перспективные методы проведения теоретических и экспериментальных исследований в области радиофизики	ПК-2.1: Анализирует современное состояние исследований в области физики и радиофизики, современные подходы к описанию и моделированию различных физических явлений и оценке полученных результатов ПК-2.2: Выбирает и применяет аналитические, аналитико-численные, экспериментальные методы	ПК-2.1: Знать современное состояние исследований в области теории распространения звуковых волн в неоднородных средах ПК-2.2: Уметь понимать и анализировать современные проблемы и новейшие достижения в области	Собеседование	Зачёт: Контрольные вопросы

	исследования в соответствии с типом поставленной задачи ПК-2.3: Анализирует полученные данные, формулирует выводы и рекомендации. в ходе планирования, подготовки, проведения НИР в области радиофизики	современной гидроакустики ПК-2.3: Владеть навыками использования современных образовательных и информационных технологий для приобретения новых знаний в области акустики океана		
--	--	--	--	--

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	2
Часов по учебному плану	72
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	0
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	22
- КСР	1
самостоятельная работа	49
Промежуточная аттестация	0 Зачёт

3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/лабораторные работы), часы	Всего	
	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0
Физические характеристики океана, влияющие на акустические поля.	9		4	4	5
Лучевая теория распространения звука в океане.	31		9	9	22
Отражение звука от поверхности и дна океана.	31		9	9	22
Аттестация	0				

КСР	1			1	
Итого	72	0	22	23	49

Содержание разделов и тем 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

- 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 плоскостойкой среды.

3. ОТРАЖЕНИЕ 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.

Практические занятия /лабораторные работы организуются, в том числе, в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

На проведение практических занятий / лабораторных работ в форме практической подготовки отводится: очная форма обучения - 4 ч.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

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.

Подготовка по контрольным вопросам текущего контроля.

5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:

5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-1:

1. Неоднородность океанической среды: регулярные и нерегулярные неоднородности (типичные профили распределения солёности, температуры и давления).
2. Влияние объёмных 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.

5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-2:

1. Уравнение Гельмгольца - основное уравнение акустики океана. Сферическая и плоская волны.
2. Рефракция лучей в слоистой среде. Закон Снеллиуса для двух жидких полупространств и непрерывно слоистой среды. Кривизна луча и радиус кривизны.
3. Уравнения лучевой акустики: уравнение эйконала и уравнение переноса. Уравнение луча. Решение уравнения эйконала и уравнения переноса вдоль траектории луча. Алгоритм расчета поля в плавно-неоднородной среде методом геометрической акустики.
4. Отражение и преломление плоских волн на границах раздела двух жидких сред. 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. Закон сохранения энергии и асимметрия границы по давлению.

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

Критерии оценивания (оценочное средство - Собеседование)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Минимально допустимый уровень знаний и выше. Допущенные ошибки не являлись грубыми. Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи, возможны негрубые ошибки. Выполнены все задания. Имеется минимальный и выше набор навыков для решения стандартных задач, допускаются некоторые недочеты
не зачтено	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения и базовые навыки

5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатор достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено			зачтено			
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнен	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов

				недочетами		ы все задания в полном объеме	
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой
	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции 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 (или от угла скольжения θ). Изобразить коэффициент отражения V на комплексной плоскости ($n = 0,5$; $m = 1,5$). ρ_1 и ρ_2 - плотности сред, c_1 и c_2 - скорости звука в средах

5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-2

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. В чем заключается рефракция лучей в слоистой среде?
4. Получить закон Снеллиуса для двух жидких полупространств и непрерывно слоистой среды.
5. Определить кривизну луча и радиус кривизны. Получить связь между кривизной луча и градиентом скорости звука.
6. Построить траекторию луча в среде с постоянным градиентом скорости звука $c(z) = c(1+z/H)$.
7. Вывести формулу для траектории луча и для времени пробега вдоль луча в плоскостлой среде.
8. Определить фактора фокусировки в среде с линейной зависимостью скорости звука от глубины $c(z) = c(1+z/H)$
9. Преимущества кусочно-линейной аппроксимации скорости звука. Вывод выражения для горизонтального расстояния, проходимого лучом в слое.
10. Процедура построения траектории луча в непрерывно слоистой среде.

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Минимально допустимый уровень знаний и выше. Допущенные ошибки не являлись грубыми. Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи, возможны негрубые ошибки. Выполнены все задания. Имеется минимальный и выше набор навыков для решения стандартных задач, допускаются некоторые недочеты
не зачтено	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения и базовые навыки

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Гурбатов Сергей Николаевич. Волны и структуры в нелинейных средах без дисперсии : приложения к нелинейной акустике : [монография]. - М. : Физматлит, 2008. - 496 с. - ISBN 978-5-9221-1042-6 : 150.00., 4 экз.
2. Акустика в задачах : учеб. рук. для вузов / под ред. С. Н. Гурбатова, О. В. Руденко. - М. : Наука, 1996. - 336 с. - 12000.00., 43 экз.

Дополнительная литература:

1. Ландау Лев Давидович. Теоретическая физика : учеб. пособие для студентов физ. специальностей ун-тов : в 10 т. Т. 6. Гидродинамика. - Изд. 4-е, стер. - М. : Наука, 1988. - 733, [3] с. : ил. - ISBN 5-02-013850-9 (в пер.) : 2.00., 205 экз.
2. Грязнова И. Ю. Теория однократного рассеяния волн и ее приложение к задачам акустики природных сред : учебное пособие / Грязнова И. Ю., Лабутина М. С., Прончатов-Рубцов Н. Р. - Нижний Новгород : ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2016. - 80 с. - Рекомендовано Ученым Советом радиофизического факультета для студентов ННГУ, обучающихся по направлениям подготовки 03.03.03 «Радиофизика» и 02.03.02 «Фундаментальная информатика и информационные технологии». - Библиогр.: доступна в карточке книги, на сайте ЭБС Лань. - Книга из коллекции ННГУ им. Н. И. Лобачевского - Физика., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=730270&idb=0>.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

-

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки/специальности 03.03.03 - Радиофизика.

Автор(ы): Прончатов-Рубцов Николай Васильевич, кандидат физико-математических наук, доцент.

Рецензент(ы): Болховская Олеся Викторовна, кандидат физико-математических наук.

Заведующий кафедрой: Гурбатов Сергей Николаевич, доктор физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 18 декабря 2023 г., протокол № 09/23.