

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 г. № 6

Рабочая программа дисциплины

Акустика океана

Уровень высшего образования

бакалавриат

Направление подготовки / специальность

03.03.03 «Радиофизика»

Направленность образовательной программы

Радиофизика и электроника

Квалификация (степень)

бакалавр

Форма обучения

очная

Нижний Новгород
2023 год

1. Место и цели дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Акустика океана» относится к дисциплинам по выбору вариативной части основной образовательной программы по направлению 03.03.03 – Радиофизика, преподается 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 при использовании максимально простых методов решения рассматриваемых конкретных задач.

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

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**	
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	Знать основы фундаментальных разделов физики и радиофизики, необходимыми для решения научно-исследовательских задач теории распространения звуковых волн в неоднородных средах У1 (ПК-1) Уметь ориентироваться в фундаментальных аспектах физики и радиофизики, необходимыми для решения научно-исследовательских задач в области гидроакустики В1 (ПК-1) Владеть простейшими базовыми навыками решения задач в области	<i>Задача, собеседование</i>

		гидроакустики	
ПК-2. Способен осваивать и применять современные и перспективные методы проведения теоретических и экспериментальных исследований в области радиофизики	<p>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.</p> <p>ПК-2.2. Выбирает и применяет аналитические, аналитико-численные, экспериментальные методы исследования в соответствии с типом поставленной задачи.</p> <p>ПК-2.3. Анализирует полученные данные, формулирует выводы и рекомендации в ходе планирования, подготовки, проведения НИР в области радиофизики.</p>	<p>Знать современное состояние исследований в области теории распространения звуковых волн в неоднородных средах</p> <p>Уметь понимать и анализировать современные проблемы и новейшие достижения в области современной гидроакустики</p> <p>Владеть навыками использования современных образовательных и информационных технологий для приобретения новых знаний в области акустики океана</p>	Задача, собеседование

3. Структура и содержание дисциплины «Акустика океана»

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

Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	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	Занятия лабораторного типа	Консультации	Всего													
Очная	Очно-заочная	Заочная	Очная	Очно-заочная	Заочная	Очная	Очно-заочная	Заочная	Очная	Очно-заочная	Заочная	Очная	Очно-заочная	Заочная	Очная	Очно-заочная	Заочная	Очная	Очно-заочная	Заочная	
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.	30						8								8			22			
В т.ч.текущий контроль	1						1								1						
Промежуточная аттестация - зачет																					

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

- 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. 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.

4. Образовательные технологии

Основными видами образовательных технологий курса «Акустика океана» являются семинары 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 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.
8. Уравнение Гельмгольца - основное уравнение акустики океана. Сферическая и плоская волны.
9. Рефракция лучей в слоистой среде. Закон Снеллиуса для двух жидких полупространств и непрерывно слоистой среды. Кривизна луча и радиус кривизны.
10. 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.
11. 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.).
12. Прохождение звуковой волны через границу раздела вода-воздух. Закон сохранения энергии и асимметрия границы по давлению.

13. 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	Составляющие компетенции		
	знания	умения и навыки	владение опытом и личностная готовность к профессиональному совершенствованию
ПК-2	Знать современное состояние исследований в области теории распространения звуковых волн в неоднородных средах	Уметь воспринимать и анализировать современные проблемы и новейшие достижения в области современной гидроакустики Владеть навыками использования современных образовательных и информационных технологий для приобретения новых знаний в области акустики океана	Приобретение опыта решения задач современной науки на примере акустики океана.
ПК-1	Знание принципов работы и методы эксплуатации современной радиоэлектронной и оптической аппаратуры и оборудования	Умение и навык решать стандартные задачи профессиональной деятельности, относящиеся к принципам работы и методам эксплуатации современной радиоэлектронной и оптической аппаратуры и оборудования	Опыт решения стандартных задач профессиональной деятельности, относящихся к принципам работы и методам эксплуатации современной радиоэлектронной и оптической аппаратуры и оборудования

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»:

Индикаторы компетенции	ОЦЕНКИ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ	
	не зачтено	зачтено
Полнота знаний	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущены некоторые погрешности
Наличие умений	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с некоторыми погрешностями. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.
Наличие навыков (владение опытом)	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами
Мотивация (личностное отношение)	Учебная активность и мотивация слабо выражены, готовность решать поставленные задачи качественно отсутствуют	Учебная активность и мотивация проявляются на среднем или высоком уровне, демонстрируется готовность выполнять поставленные задачи на среднем уровне качества и выше
Характеристика сформированности компетенции	Компетенция в полной мере не сформирована. Имеющихся знаний, умений, навыков недостаточно для решения практических (профессиональных) задач. Требуется повторное обучение	Сформированность компетенции в целом соответствует требованиям. Имеющихся знаний, умений, навыков и мотивации в целом достаточно для решения стандартных профессиональных задач.
Уровень сформированности компетенций	Низкий	Минимально допустимый и выше

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-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 плоскостной 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.

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 Θ (или от угла скольжения X). Изобразить коэффициент отражения V на комплексной плоскости ($n = \frac{c_1}{c_2} = 0,5$; $m = \frac{\rho_2}{\rho_1} = 1,5$). ρ_1 и ρ_2 - плотности сред, c_1 и c_2 - скорости звука в средах

6.5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания.

- Положение «О проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся в ННГУ», утвержденное 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»

а) основная 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. *Акустика в задачах*. Под ред. Гурбатов С.Н., Руденко О.В. М: Физматлит, 2009, 336 с.

б) дополнительная литература:

2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. *Теоретическая физика. Учебное пособие. Т. 6. Гидродинамика*. Физматлит, 2015. – 746 с.

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*. –

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 **03.03.03 «Радиофизика»**, профиль подготовки **«Радиофизика и электроника»**.

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

Рецензент _____ к.ф.-м.н., доцент Болховская О.В.

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

Программа одобрена на заседании методической комиссии радиофизического факультета от «25» мая 2023 года, протокол № 04/23.