

**Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет  
им. Н.И. Лобачевского»**

Радиофизический

(факультет / институт / филиал)

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

**Рабочая программа дисциплины**

Распространение звука в океане: теория и  
приложения

(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования

Магистратура

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность

03.04.03 Радиофизика

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы

Акустика

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Форма обучения

Очная

(очная / очно-заочная / заочная)

Нижний Новгород

2023 год

## 1. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина Б1.В.03 " Распространение звука в океане: теория и приложения " относится к части ООП направления подготовки 03.04.03 Радиофизика, формируемой участниками образовательных отношений.

## 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	
<p><b>ПК-1:</b></p> <p><i>Способен анализировать и обрабатывать научную информацию и результаты исследований в области физики и радиофизики при решении задач своей профессиональной деятельности</i></p>	<p><b>ПК-1.1.</b> Применяет принципы сбора и анализа информации, рассматривает и оценивает современные научные достижения, а также генерирует новые идеи при решении исследовательских и практических задач.</p>	<p><i>Знать</i> основы фундаментальных разделов физики и радиофизики, необходимыми для решения научно-исследовательских задач теории распространения звуковых волн в неоднородных средах.</p> <p><i>Уметь</i> свободно ориентироваться в фундаментальных аспектах физики и радиофизики, необходимыми для решения научно-исследовательских задач в области гидроакустики.</p> <p><i>Владеть</i> базовыми навыками решения задач в области гидроакустики.</p>	<p><i>Собеседование, задача (практическое задание)</i></p>
<p><b>ПК-2:</b></p> <p><i>Способен выполнять теоретические и экспериментальные исследования и разработки по отдельным разделам тем научно-исследовательских и опытно-конструкторских</i></p>	<p><b>ПК-2.1.</b> Анализирует современное состояние исследований в области физики и радиофизики, современные подходы к описанию и моделированию различных физических явлений и оценке полученных результатов.</p>	<p><i>Знать</i> современное состояние исследований в области акустики и радиофизики.</p> <p><i>Уметь</i> использовать знания о современном состоянии исследований в области акустики и радиофизики для овладения теоретическими основами распространения звука в океане.</p> <p><i>Владеть</i> навыками расчетов практических задач на основе современных подходов к описанию и моделированию распространения звука</p>	<p><i>Собеседование, задача (практическое задание)</i></p>

<p>работ в области физики и радиофизики и оформлять их результаты</p>		в океане	
	<p>ПК-2.2. Выбирает и применяет аналитические, аналитико-численные, экспериментальные методы исследования в соответствии с типом поставленной задачи.</p>	<p>Знать приближенные методы решения задач в области распространения звуковых волн в неоднородных средах</p> <p>Уметь самостоятельно ставить задачи и выбирать методы их решения в области акустики</p> <p>Владеть аналитическими методами исследований в области акустики и радиофизики.</p>	<p>Собеседовани е, задача (практическо е задание)</p>
<p>ПК-3</p> <p>. Способен разрабатывать и подготавливать составные части документации, проектов планов и программ проведения отдельных этапов научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок</p>	<p>ПК-3.1. Использует знание нормативных документов для составления заявок, грантов, проектов НИР, применяет заданные требования и правила при оформлении рукописей к публикации в рецензируемых научных изданиях.</p>	<p>Знать: требования и правила представлений результатов теоретических исследований при оформлении рукописей к публикации в рецензируемых научных изданиях.</p> <p>Уметь: использовать полученные знания для корректного представления результатов при оформлении рукописей к публикации в рецензируемых научных изданиях..</p> <p>Владеть: навыками представления результатов акустических исследований согласно нормативным документам для составления заявок, грантов, проектов НИР.</p>	
	<p>ПК-3.2. Представляет результаты НИР академическому и бизнес-сообществу.</p>	<p>Знать способы представления результатов научных исследований.</p> <p>Уметь самостоятельно изложить полученные научные результаты на языке, понятном академическому или бизнес-сообществу.</p> <p>Владеть опытом наглядного представления результатов исследований в области акустики и радиофизики.</p>	

### **3. Структура и содержание дисциплины «Распространение звука в океане: теория и приложения»**

#### **3.1 Трудоемкость дисциплины**

	<b>очная форма обучения</b>
<b>Общая трудоемкость</b>	<b>3 ЗЕТ</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>108</b>
<b>в том числе</b>	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b> <b>- занятия лекционного типа</b>	<b>32</b>
<b>самостоятельная работа</b>	<b>29</b>
<b>КСР</b>	<b>2</b>
<b>Промежуточная аттестация – экзамен</b>	<b>45</b>

### 3.2. Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины,  форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего (часы)	В том числе				Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них				
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего	
Введение. Современные состояния в области задач акустики океана. Прямые и обратные задачи. Акустическая томография океана.	14	4			4	24
Раздел 1. Распространение звука в условиях мелкого моря.	18	18			18	25
Раздел 2. Распространение звука в подводном звуковом канале.	18	10			10	25
В т.ч. текущий контроль	2	2			2	-
Промежуточная аттестация – экзамен						

Текущий контроль успеваемости реализуется в рамках групповых или индивидуальных консультаций.

#### Содержание разделов дисциплины

Введение. Современные состояния в области задач акустики океана. Прямые и обратные задачи. Акустическая томография океана.

Раздел 1. Распространение звука в условиях мелкого моря.

- 1.1. Особенности отражения волн от дна и поверхности. Формулы Френеля. Прохождение звука через границу вода-воздух.
- 1.2. Прохождение и отражение звуковых волн при наличии слоистых структур.
- 1.3. Особенности формирования поля при работе излучателя вблизи отражающей границы.
- 1.4. Лучевой метод расчета
- 1.5. Модовое представление поля в однородном изоскоростном волноводе
- 1.6. Интегральное представление поля в слое.
- 1.7. Распространение звуковых волн в двуслойной жидкости (волновод Пекериса).

Раздел 2. Распространение звука в подводном звуковом канале.

- 2.1. Модель глубокого моря. Канонический подводный звуковой канал.
- 2.2. Простейшая лучевая теория ПЗК. Коэффициент захвата энергии в ПЗК.
- 2.3. Выражение для поля точечного источника в ПЗК в виде суммы нормальных волн.
- 2.4. Интегральное представление поля в ПЗК.

#### 4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает следующие виды:

- разбор материала лекционных занятий,
- изучение дополнительных разделов дисциплины с использованием учебной литературы.

### Примеры контрольных заданий:

1. Уравнение Гельмгольца. Плоские и сферические волны.
2. Коэффициенты отражения и прозрачности на границе двух жидких сред.
3. Отражение плоской звуковой волны от жидкого слоистого дна.
4. Звуковое поле точечного источника, расположенного вблизи свободной поверхности.
5. Поле точечного источника, расположенного вблизи дна.
6. Лучевое представление поля точечного источника в однородном изоскоростном слое.
7. Представление поля в слое в виде нормальных мод. Коэффициенты возбуждения. Затухающие и распространяющиеся моды. Концепция Бриллюэна.
8. Модель глубокого моря. Канонический подводный звуковой канал.
9. Простейшая лучевая теория ПЗК. Коэффициент захвата энергии в ПЗК.
10. Выражение для поля точечного источника в ПЗК в виде суммы нормальных волн.

## **5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)**

включающий:

### **5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине**

Уровень сформированности и компетенций (индикатора достижения компетенций)	Шкала оценивания сформированности 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, без ошибок.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки .
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений . Невозможность оценить наличие	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения.  Имели место	Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи .	Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными	Продемонстрированы все основные умения, . Решены все основные задачи.

	умений вследствие отказа обучающегося от ответа	грубые ошибки.	ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме.	ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	несущественным недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие владения материалом. 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 некоторыми 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 оценки при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
	<b>превосходно</b>	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
<b>зачтено</b>	<b>отлично</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично»
	<b>очень хорошо</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо»
	<b>хорошо</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо»
	<b>удовлетворительно</b>	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»
<b>не зачтено</b>	<b>неудовлетворительно</b>	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
	<b>плохо</b>	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

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

### 5.2.1 Контрольные вопросы

Вопрос	Код компетенции (согласно РПД)
1. Уравнение Гельмгольца. Плоские и сферические волны.	ПК-1
2. Интенсивность звука, фактор фокусировки, каустики.	ПК-1
3. Геометроакустическое приближение: уравнение переноса и уравнение эйконала.	ПК-1
4. Коэффициенты отражения и прозрачности на границе двух жидких сред.	ПК-1
5. Звуковое поле точечного источника, расположенного вблизи свободной поверхности.	ПК-1
6. Поле точечного источника, расположенного вблизи дна.	ПК-2
7. Лучевое представление поля точечного источника в однородном изоскоростном слое.	ПК-2
8. Интегральное представление поля в слое.	ПК-2
9. Представление поля в слое в виде нормальных мод. Коэффициенты возбуждения. Затухающие и распространяющиеся моды. Концепция Бриллюэна.	ПК-2
10. Распространение звуковых волн в двуслойной жидкости (волновод Пекериса).	ПК-2
11. Модель глубокого моря. Канонический подводный звуковой канал.	ПК-3
12. Простейшая лучевая теория ПЗК. Коэффициент захвата энергии в ПЗК.	ПК-3
13. Выражение для поля точечного источника в ПЗК в виде суммы нормальных волн	ПК-3

### 5.2.2. Типовые задания/задачи для оценки сформированности компетенции ПК-1

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 ( $n = \frac{c_1}{c_2} = 1.5$ ;  $m = \frac{\rho_2}{\rho_1} = 2$ ).  $\rho_1$  и  $\rho_2$  - плотности сред,  $c_1$  и  $c_2$  - скорости звука в средах

### 5.2.3. Типовые задания/задачи для оценки сформированности компетенции ПК-2

Точечный источник сферической монохроматической волны (длина волны  $\lambda$ ) находится в однородном полупространстве на расстоянии  $z$  от абсолютно отражающей акустически жесткой поверхности с коэффициентом отражения  $V = 1$ . Получить выражение для диаграммы направленности  $F=F(\Theta)$  такого излучателя (система излучатель + поверхность) во Фраунгоферовой зоне, считая  $R, R_0, R_I \gg z_I, R_0 \gg \frac{z_I^2}{\lambda}$ . Построить  $F=F(\Theta)$  при  $z_I = \lambda/2$ .



#### 5.2.4. Типовые задания/задачи для оценки сформированности компетенции ПК-3

В плоском изоскоростном слое с абсолютно отражающими границами находится источник монохроматической волны с длиной волны  $\lambda$ . Решив краевую задачу, получить выражения для собственных чисел и собственных функций волновода и записать решение для нормальных волн волновода. Качественно изобразить вертикальное распределение амплитуды давления  $P=P(z)$  для мод первых номеров. Определить число распространяющихся мод, если  $\lambda = 2,5$  м,  $H = 10$  м

### 6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

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.

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)

### 7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Для обучения дисциплине имеются специальные помещения для проведения занятий лекционного типа, текущего контроля и промежуточной аттестации. Специальные помещения укомплектованы специализированной мебелью, техническими средствами обучения, служащими для представления информации большой аудитории, компьютерным оборудованием.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО - магистратура по направлению подготовки 03.04.03 Радиофизика (утвержден приказом Министерства науки и высшего образования РФ 07.08.2020 № 918).

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

Рецензент: д.ф.-м.н., профессор Матросов В.В.

Заведующий кафедрой: д.ф.-м.н., проф. Гурбатов С.Н.

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