

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 неоднородных сред

Уровень высшего образования

Магистратура

Направление подготовки / специальность

03.04.03 - Радиофизика

Направленность образовательной программы

Акустика

Форма обучения

очная

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.06.01 Акустика неоднородных сред 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 анализировать и обрабатывать научную информацию и результаты исследований в области акустики и радиофизики при решении задач своей профессиональной деятельности	<p>ПК-1.1: 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>ПК-1.2: Работает с большим объемом данных, систематизирует и анализирует информацию, полученную из различных источников, в том числе с использованием современных информационных и коммуникационных технологий</p>	<p>ПК-1.1:</p> <p>Знать основы фундаментальных разделов физики и радиофизики, необходимыми для решения научно-исследовательских задач в области акустики неоднородных сред.</p> <p>Владеть базовыми навыками решения задач в области акустики неоднородных сред..</p> <p>ПК-1.2:</p> <p>Уметь свободно ориентироваться в фундаментальных аспектах физики и радиофизики, необходимыми для решения задач в области акустики неоднородных сред.</p>	Собеседование	Зачёт: Задачи
ПК-2: Способен выполнять теоретические и экспериментальные исследования и разработки по отдельным разделам тем научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области акустики и радиофизики и	<p>ПК-2.1: Анализирует современное состояние исследований в области акустики 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</p>	<p>ПК-2.1:</p> <p>Знать современное состояние исследований в области акустики и радиофизики.</p> <p>Уметь использовать знания о современном состоянии исследований в области акустики и радиофизики для овладения основами акустики неоднородных сред..</p> <p>Владеть навыками расчетов практических задач на основе приближенных методов расчетов многократного</p>	Собеседование	Зачёт: Задачи

оформлять их результаты	соответствии с типом поставленной задачи ПК-2.3: Участвует в планировании, подготовке и проведении НИР ПК-2.4: Анализирует полученные данные, формулирует выводы и рекомендации по отдельным разделам тем в области акустики и радиофизики	рассеяния волн. ПК-2.2: Знать приближенные методы решения задач в области акустики неоднородных сред.. ПК-2.3: Уметь самостоятельно ставить задачи и выбирать методы их решения в области акустики неоднородных сред.. ПК-2.4: Владеть аналитическими методами исследований в области акустики и радиофизики, в том числе в области акустики неоднородных сред.		
ПК-3: Способен разрабатывать и подготавливать составные части документации, проектов планов и программ проведения отдельных этапов научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок	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 ПК-3.2: Представляет результаты НИР академическому и бизнес-сообществу ПК-3.3: Участвует в составлении и подаче конкурсных заявок на выполнение научно-исследовательских и проектных работ по направленности Радиофизика	ПК-3.1: Знать: требования и правила представлений результатов теоретических исследований при оформлении рукописей к публикации в рецензируемых научных изданиях на примере знакомства с публикациями по рассеянию волн в случайно-неоднородных средах. ПК-3.2: Уметь: создавать презентации и делать доклады научному сообществу, уметь публично отвечать на вопросы по представленному докладу. ПК-3.3: Уметь: участвовать в составлении конкурсных заявок на выполнение НИР в области акустики, в том числе в области акустики неоднородных сред.	Собеседование	Зачёт: Задачи

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	3
Часов по учебному плану	108
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	32
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	0
- КСР	1
самостоятельная работа	75
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
Статистические характеристики случайных полей и волн	7	2		2	5
Параболическое уравнение для волн, распространяющихся в случайно-неоднородных средах	16	6		6	10
Метод плавных возмущений Рытова	21	6		6	15
Метод геометрической оптики (акустики)	21	6		6	15
Сравнение использования различных методов	21	6		6	15
Уравнения для статистических моментов случайных полей в марковском приближении	21	6		6	15
Аттестация	0				
КСР	1				1
Итого	108	32	0	33	75

Содержание разделов и тем дисциплины

1. Статистические характеристики случайных полей и волн

1.1. Пространственно-временные вероятностные характеристики случайных полей и волн. Функции распределения, их свойства

- 1.2. Пространственная корреляционная функция. Статистически однородные поля (в широком смысле)
- 1.3. Пространственные спектры. Свойства пространственных спектров.
- 1.4. Структурная функция. Локально-однородные поля.
- 1.5. Функции когерентности волновых полей.
2. Параболическое уравнение для волн, распространяющихся в случайно-неоднородных средах
- 2.1. Уравнение для волн в случайно-неоднородных средах в квазистатическом приближении
- 2.2. Стохастическое уравнение Гельмгольца
- 2.3. Квазиплоские волны. Качественный вывод параболического уравнения
- 2.4. Вывод параболического уравнения методом функций Грина
- 2.5. Условия использования параболического уравнения.
3. Метод плавных возмущений Рытова
- 3.1. Вывод уравнения для комплексной фазы в первом приближении метода последовательных приближений
- 3.2. Условия использования МПВ для амплитуды и фазы
- 3.3. Решение методом функций Грина в приближении Френеля
- 3.4. Ограничения на длину трассы
- 3.5. Уравнения, Фурье-трансформированные по поперечным координатам
- 3.6. Решение уравнений для амплитуды и фазы
- 3.7. Условия применения МПВ
- 3.8. Спектр флуктуаций уровня и фазы
- 3.9. Средний квадрат флуктуаций уровня и фазы
4. Метод геометрической оптики (акустики)
- 4.1. Уравнение для эйконала
- 4.2. Уравнение для уровня
- 4.3. Уравнение для интенсивности
- 4.4. Условия применимости метода ГО
5. Сравнение использования различных методов
- 5.1. Приближения, используемые при разных значениях волнового параметра
- 5.2. Ограничения на длину трассы
- 5.3. Ограничения на пространственный спектр неоднородностей
- 5.4. Сравнение с теорией однократного рассеяния
6. Уравнения для статистических моментов случайных полей в марковском приближении
- 6.1. Аппарат марковских случайных процессов
- 6.2. Вывод уравнений для средних значений
- 6.3. Уравнение для поперечной корреляционной функции поля
- 6.4. Уравнение для четвертого момента поля. Связь с интенсивностью волны
- 6.5. Анализ решения для функции когерентности в случайной неоднородной среде

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.

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

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. Выразить пространственную спектральную плотность для изотропного случайного поля через однократный интеграл.
2. Выразить пространственную корреляционную функцию для изотропного случайного поля через однократный интеграл.
3. Рассчитать пространственный спектр для однородного изотропного поля с гауссовой функцией пространственной корреляции.
4. Рассчитать пространственный спектр для однородного изотропного поля с экспоненциальной функцией пространственной корреляции.
5. Найти зависимость вектора рассеяния от угла рассеяния.
6. Каким пространственным периодом неоднородностей обусловлено обратное рассеяния?
7. Каким пространственным периодом неоднородностей обусловлено рассеяние вперед?
8. На какой угол будет рассеиваться волна относительно первоначального направления распространения, если характерный пространственный масштаб неоднородностей среды порядка длины волны?

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

1. Используя эффективный поперечник рассеяния, показать, при каких условиях можно пренебречь волнами, рассеянными назад.
2. Используя эффективный поперечник рассеяния, показать, при каких условиях можно применять Борновское приближение.
3. Для гауссовой корреляционной функции флуктуаций среды получить условие использования приближения параболического уравнения.
4. Для гауссовой корреляционной функции флуктуаций среды получить условие использования приближения однократного рассеяния.

5.1.3 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-3:

1. Найти дисперсию флуктуаций УРОВНЯ методом плавных возмущений Рытова в случае гауссовой корреляционной функции неоднородностей среды.
2. Найти дисперсию флуктуаций ФАЗЫ методом плавных возмущений Рытова в случае гауссовой корреляционной функции неоднородностей среды.
3. Получить выражения для дисперсии флуктуаций уровня в зоне геометрической оптики.
4. Получить выражения для дисперсии флуктуаций уровня в зоне дифракции Фраунгофера.

Критерии оценивания (оценочное средство - Собеседование)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Уровень знаний, умений и опыта в объеме, соответствующем программе подготовки. Возможны негрубые ошибки.
не зачтено	Уровень знаний, умений и опыта ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.

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

Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатора 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	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели	Имеется минимальный набор навыков для решения	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартны	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартны	Продemonстрированы навыки при решении нестандарт	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартны

	вследствие отказа обучающегося от ответа	место грубые ошибки	стандартны х задач с некоторым и недочетами	х задач с некоторым и недочетами	х задач без ошибок и недочетов	ных задач без ошибок и недочетов	х 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 - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-1

1. Выразить пространственную спектральную плотность для изотропного случайного поля через однократный интеграл.
2. Выразить пространственную корреляционную функцию для изотропного случайного поля через однократный интеграл.
3. Рассчитать пространственный спектр для однородного изотропного поля с гауссовой функцией пространственной корреляции.
4. Рассчитать пространственный спектр для однородного изотропного поля с экспоненциальной функцией пространственной корреляции.
5. Найти зависимость вектора рассеяния от угла рассеяния.
6. Каким пространственным периодом неоднородностей обусловлено обратное рассеяния?
7. Каким пространственным периодом неоднородностей обусловлено рассеяние вперед?

8. На какой угол будет рассеиваться волна относительно первоначального направления распространения, если характерный пространственный масштаб неоднородностей среды порядка длины волны?

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

1. Используя эффективный поперечник рассеяния, показать, при каких условиях можно пренебречь волнами, рассеянными назад.
2. Используя эффективный поперечник рассеяния, показать, при каких условиях можно применять Борновское приближение.
3. Для гауссовой корреляционной функции флуктуаций среды получить условие использования приближения параболического уравнения.
4. Для гауссовой корреляционной функции флуктуаций среды получить условие использования приближения однократного рассеяния.

5.3.3 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-3

1. Найти дисперсию флуктуаций УРОВНЯ методом плавных возмущений Рытова в случае гауссовой корреляционной функции неоднородностей среды.
2. Найти дисперсию флуктуаций ФАЗЫ методом плавных возмущений Рытова в случае гауссовой корреляционной функции неоднородностей среды.
3. Получить выражения для дисперсии флуктуаций уровня в зоне геометрической оптики.
4. Получить выражения для дисперсии флуктуаций уровня в зоне дифракции Фраунгофера.

Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Удовлетворительный уровень знаний и умений решения задач в области акустики неоднородных сред
не зачтено	Неудовлетворительный уровень знаний и умений решения задач в области акустики неоднородных сред

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

Основная литература:

1. Рытов Сергей Михайлович. Введение в статистическую радиофизику : [учеб. пособие для физ. специальностей вузов]. Ч. 2. Случайные поля / под общ. ред. С. М. Рытова. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Наука, 1978. - 463 с. : ил. - 1.30., 137 экз.
2. Грязнова Ирина Юрьевна. Теория однократного рассеяния волн и ее приложение к задачам акустики природных сред : учебное пособие / И. Ю. Грязнова М. С. Лабутина Н. В. Прончатов-Рубцов ; ННГУ им. Н. И. Лобачевского. - Нижний Новгород : Изд-во ННГУ, 2016. - 80 с. - Текст : электронный., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=823760&idb=0>.
3. 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. Ахманов Сергей Александрович. Статистическая радиофизика и оптика : Случайные колебания и волны в линейных системах. - Изд. 2-е, перераб. и доп. - М. : Физматлит, 2010. - 428 с. - ISBN 978-5-9221-1204-8 : 350.00., 1 экз.
2. Гурбатов Сергей Николаевич. Лекции по механике сплошных сред : учеб. пособие / С. Н. Гурбатов ; ННГУ им. Н. И. Лобачевского, Радиофиз. фак. - Нижний Новгород : Изд-во ННГУ, 2023. - 137 с. : рис. - ISBN 978-5-91326-797-9., 51 экз.
3. 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.

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

http://www.unn.ru/books/met_files/Scattering.pdf

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, специализированным оборудованием: Проектор, компьютер для показа презентаций

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 03.04.03 - Радиофизика.

Автор(ы): Грязнова Ирина Юрьевна, 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 18.12.2023, протокол № 09/23.