

**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

Акустика неоднородных сред

(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.ДВ.06.01 "Акустика неоднородных сред" 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>ПК-1:</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>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><i>Знать</i> основы фундаментальных разделов физики и радиофизики, необходимыми для решения научно-исследовательских задач в области акустики неоднородных сред.</p> <p><i>Уметь</i> свободно ориентироваться в фундаментальных аспектах физики и радиофизики, необходимыми для решения задач в области акустики неоднородных сред.</p> <p><i>Владеть</i> базовыми навыками решения задач в области акустики неоднородных сред..</p>	<p><i>Собеседование, задача (практическое задание)</i></p>
<p>ПК-2:</p> <p><i>Способен выполнять теоретические и экспериментальные исследования и разработки по отдельным разделам тем научно-исследовательских и опытно-конструкторских</i></p>	<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><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 основами акустики неоднородных сред..</p> <p><i>Владеть</i> навыками расчетов практических задач на основе приближенных методов расчетов многократного рассеяния волн.</p>	<p><i>Собеседование, задача (практическое задание)</i></p>

<i>работ в области физики и радиофизики и оформлять их результаты</i>	ПК-2.2. Выбирает и применяет аналитические, аналитико-численные, экспериментальные методы исследования в соответствии с типом поставленной задачи.	<p><i>Знать</i> приближенные методы решения задач в области акустики неоднородных сред..</p> <p><i>Уметь</i> самостоятельно ставить задачи и выбирать методы их решения в области акустики неоднородных сред..</p> <p><i>Владеть</i> аналитическими методами исследований в области акустики и радиофизики, в том числе в области акустики неоднородных сред..</p>	<i>Собеседовани е, задача (практическо е задание)</i>
<p>ПК-3</p> <p><i>. Способен разрабатывать и подготавливать составные части документации, проектов планов и программ проведения отдельных этапов научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок</i></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><i>Знать:</i> 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.</p>	<i>Собеседовани е</i>
	ПК-3.2. Представляет результаты НИР академическому и бизнес-сообществу.	<p><i>Знать</i> способы представления результатов научных исследований, в том числе в области акустики неоднородных сред.</p> <p><i>Уметь</i> самостоятельно изложить полученные научные результаты в области акустики неоднородных сред на языке, понятном академическому или бизнес-сообществу.</p> <p><i>Владеть</i> опытом наглядного представления результатов исследований в области акустики неоднородных сред.</p>	<i>Собеседовани е, задача (практическо е задание)</i>

3. Структура и содержание дисциплины «Акустика неоднородных сред»

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная форма обучения
Общая трудоемкость	3 ЗЕТ
Часов по учебному плану	108
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа): - занятия лекционного типа	32
самостоятельная работа	75
КСР	1
Промежуточная аттестация – зачет	

3.2. Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	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	Всего	
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	21	6			6	15
Сравнение условий использования различных методов	21	6			6	15
Уравнения для статистических моментов случайных полей в марковском приближении	21	6			6	15
В т.ч. текущий контроль	1	1			1	-
Промежуточная аттестация – зачет						

Текущий контроль успеваемости реализуется в рамках групповых или индивидуальных консультаций.

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. Основные типы статистических волновых задач.
2. Уравнения для волн в случайно-неоднородных средах.
3. Квазистатистическое приближение.
4. Теория однократного рассеяния.
5. Эффективный поперечник рассеяния.
6. Особенности рассеяния на крупномасштабных неоднородностях.
7. Многократное рассеяние волн – ряд по кратности рассеяния.
8. Стохастическое уравнение Гельмгольца.
9. Параболическое уравнение.
10. Основные уравнения метода плавных возмущений Рытова.
11. Первое приближение метода плавных возмущений.
12. Анализ статистики уровня волны в приближении метода плавных возмущений.
13. Анализ статистики фазы волны в приближении метода плавных возмущений.
14. Волновой параметр для волн, распространяющихся в случайно-неоднородных средах.
15. Приближение геометрической оптики.
16. Приближение зоны Фраунгофера.
17. Спектр флуктуаций уровня в приближении метода плавных возмущений.
18. Спектр флуктуаций фазы в приближении метода плавных возмущений.

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. Невозможн	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки.	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки,	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки

	ость оценить полноту знаний вследствие отказа обучающег оса от ответа	ошибки.	негрубых ошибки.	Допущено несколько негрубых ошибок	. Допущено несколько несуществе нных ошибок	без ошибок.	.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальн ых умений . Невозможн ость оценить наличие умений вследствие отказа обучающег оса от ответа	При решении стандартных задач не продемонстр ированы основные умения. Имели место грубые ошибки.	Продемонс трированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания но не в полном объеме.	Продемонстр ированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продемонс трированы все основные умения. Решены все основные задачи . Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами .	Продемонстр ированы все основные умения, реше ны все основные задачи с отдельными несуществен ным недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	Продемонс трированы все основные умения,. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие владения материалом . Невозможн ость оценить наличие навыков вследствие отказа обучающег оса от ответа	При решении стандартных задач не продемонстр ированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.	Имеется минимальн ый набор навыков для решения стандартны х задач с некоторым и недочетами	Продемонстр ированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продемонс трированы базовые навыки при решении стандартны х задач без ошибок и недочетов.	Продемонстр ированы навыки при решении нестандартн ых задач без ошибок и недочетов.	Продемонс трирован творческий подход к решению нестандарт ных задач

Шкала оценки при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
	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
зачтено	отлично	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»
	очень хорошо	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»
	хорошо	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»
	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», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
	плохо	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. Вывод уравнений для волн, распространяющихся в случайно-неоднородных средах	ПК-1
2. Квазистатика. Приближение и следствия.	ПК-1
3. Стохастическое уравнение Гельмгольца.	ПК-1
4. Теория однократного рассеяния. Условия применимости.	ПК-1
5. Теория многократного рассеяния. Борновское (Рэлеевское) разложение.	ПК-1
6. Вывод параболического уравнения. Условия применимости.	ПК-1
7. Закон сохранения энергии и его следствия в приближении параболического уравнения.	ПК-2
8. Основные методы расчета акустических полей в средах с крупномасштабными неоднородностями.	ПК-2
9. Метод плавных возмущений Рытова (МПВ). Условия применимости.	ПК-2
10. Спектр флуктуаций уровня в приближении метода плавных возмущений.	ПК-2
11. Спектр флуктуаций фазы в приближении метода плавных возмущений.	ПК-2
12. Закон сохранения энергии и его статистические следствия в приближении параболического уравнения.	ПК-2
13. Выразить дисперсию флуктуаций уровня, рассчитанную методом плавных возмущений, как функцию волнового параметра.	ПК-3
14. Расчет статистических характеристик волн для двухмасштабных турбулентных пульсаций среды.	ПК-3
15. Метод геометрической оптики (МГО). Разложение Дебая.	ПК-3
16. Сравнение особенностей МПВ и МГО.	ПК-3

17. Уравнения для эйконала и уровня в методе ГО.	ПК-3
18. Уравнения для углов отклонения волны и интенсивности в методе ГО.	ПК-3
19. Методы II группы. Приближение марковского процесса.	ПК-3

5.2.2. Типовые задания/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 рассеяние?
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?

5.2.3. Типовые задания/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.

5.2.4. Типовые задания/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.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. Рытов С.М., Кравцов Ю.А., Татарский В.И. Введение в статистическую радиофизику. Часть II. М. Наука, 1978, 463 стр.
2. Акустика в задачах. Учеб. рук-во. / Под ред. С.Н.Гурбатова и О.В.Руденко. М.: Наука, 2009. - 336 с.
3. Гурбатов С.Н. , Руденко О.В., Саичев А.И. Волны и структуры в нелинейных средах без

дисперсии. М.: Физматлит, 2008. - 495 с.

б) дополнительная литература:

1. Ахманов С.А. Статистическая радиофизика и оптика. М.: Физматлит, 2010. — 423 с. — <http://e.lanbook.com/book/48263>
2. Гурбатов С.Н., Грязнова И.Ю., Иващенко Е.Н. Исследование обратного рассеяния акустических волн дискретными неоднородностями разных размеров // Акустический журнал, 2016. Т.62. Вып.2. С. 203-207.
3. Вьюгин П.Н., Грязнова И.Ю., Курин В.В., Кустов Л.М. Экспериментальное исследование прямого и обратного рассеяния акустических волн на тонком пузырьковом слое // Акустический журнал, 2006. Т.52. Вып.5. С. 636-640.

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

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 Грязнова И.Ю.

Рецензент: к.ф.-м.н., доцент Болховская О.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.