

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**федеральное государственное автономное**  
**образовательное учреждение высшего образования**  
**«Национальный исследовательский**  
**Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»**

УТВЕРЖДЕНО  
решением ученого совета ННГУ  
протокол от "16" января 2024 г.  
№1

**Рабочая программа дисциплины**  
**«Акустика случайных сред»**

Уровень высшего образования  
**Подготовка научных и научно-педагогических кадров**

Научные специальности

1.1.2. Дифференциальные уравнения и математическая физика, 1.1.4. Теория вероятностей и математическая статистика, 1.1.5. Математическая логика, алгебра, теория чисел и дискретная математика, 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела, 1.2.1. Искусственный интеллект и машинное обучение, 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, 1.3.11. Физика полупроводников, 1.3.19. Лазерная физика, 1.3.4. Радиоп физика, 1.3.7. Акустика, 1.3.8. Физика конденсированного состояния, 1.4.1. Неорганическая химия, 1.4.2. Аналитическая химия, 1.4.3. Органическая химия, 1.4.4. Физическая химия, 1.4.7. Высокомолекулярные соединения, 1.4.8. Химия элементоорганических соединений, 1.5.11. Микробиология, 1.5.15. Экология, 1.5.2. Биофизика, 1.5.21. Физиология и биохимия растений, 1.5.5. Физиология человека и животных, 2.2.2. Электронная компонентная база микро и нанoeлектроники, квантовых устройств, 3.2.7. Аллергология и иммунология, 5.1.1. Теоретико-исторические правовые науки, 5.1.2. Публично-правовые (государственно-правовые) науки, 5.1.3. Частно-правовые (цивилистические) науки, 5.1.4. Уголовно-правовые науки, 5.1.5. Международно-правовые науки, 5.12.1. Междисциплинарные исследования когнитивных процессов, 5.2.3. Региональная и отраслевая экономика, 5.2.4. Финансы, 5.2.6. Менеджмент, 5.3.7. Возрастная психология, 5.4.2. Экономическая социология, 5.4.4. Социальная структура, социальные институты и процессы, 5.4.6. Социология культуры, 5.4.7. Социология управления, 5.5.2. Политические институты, процессы, технологии, 5.5.4. Международные отношения, глобальные и региональные исследования, 5.6.1. Отечественная история, 5.6.2. Всеобщая история, 5.6.7. История международных отношений и внешней политики, 5.7.1. Онтология и теория познания, 5.8.2. Теория и методика обучения и воспитания, 5.8.7. Методология и технология профессионального образования, 5.9.2. Литературы народов мира, 5.9.5. Русский язык. Языки народов России, 5.9.6. Языки народов зарубежных стран (с указанием конкретного языка или группы языков), 5.9.9. Медиакоммуникации и журналистика

Нижний Новгород  
2024 год

## **1. Место и цель дисциплины в структуре ОПОП**

Дисциплина «Акустика случайных сред» относится к числу факультативных дисциплин образовательного компонента программы аспирантуры и изучается на 2 году обучения в 4 семестре.

**Цель дисциплины** - освоение аспирантами физических основ распространения и рассеяния акустических волн на флуктуациях неоднородной среды, формирование знаний и умений в области случайных волн, освоение методов решения задач распространения и рассеяния акустических волн в средах с флуктуирующими параметрами; изучение методов и подходов статистической акустики.

Освоение курса опирается на знания, умения, навыки, приобретенные слушателями на предшествующих ступенях образования в ходе изучения курсов «Распространение и рассеяние акустических волн в случайно-неоднородных средах», «Акустика неоднородных сред» и «Методы решения статистических задач акустики».

Знания, полученные в ходе изучения дисциплины «Акустика случайных сред», могут служить основой для дальнейшего освоения аспирантами курсов по специальности 1.3.7. Акустика, а также необходимы для сдачи кандидатского экзамена по специальности 1.3.7. Акустика.

### **Планируемые результаты обучения по дисциплине**

Выпускник, освоивший программу, должен

#### **Знать:**

- теорию однократного рассеяния (Борновское приближение) и теорию многократного рассеяния (приближение параболического уравнения, метод плавных возмущений Рытова, метод геометрической оптики (акустики).);
- методы вычисления статистических характеристик волновых полей различной физической природы;
- современное состояние исследований в области акустики случайных сред.

#### **Уметь:**

- самостоятельно проводить оценки параметров акустических волн при различных соотношениях между характерным масштабом неоднородностей и длиной акустической волны.

#### **Владеть:**

- навыками решения задач акустики случайных сред.

### 3. Структура и содержание дисциплины.

Объем дисциплины (модуля) составляет 1 з.е., всего - 36 часов, из которых 18 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа – 18 часов), 18 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

**Таблица 1**

**Структура дисциплины**

Наименование раздела дисциплины	Всего, часов	В том числе					
		Контактная работа, часов					Самостоятельная работа обучающегося, часов
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Консультации	Всего	
Введение	4	2				2	2
Уравнения для волн, распространяющихся в случайно-неоднородных средах	6	2				2	4
Рассеяние акустических волн в приближении однократного рассеяния	8	4				4	4
Многократное рассеяние акустических волн	6	2				2	4
Методы анализа случайных волн в средах с крупномасштабными неоднородностями	12	8				8	4
Промежуточная аттестация: – <i>зачет</i>							
<b>Итого</b>	<b>36</b>	<b>18</b>				<b>18</b>	<b>18</b>

**Таблица 2**

**Содержание дисциплины**

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела	Форма проведения занятия	Форма текущего контроля*
1	Введение	Статистическое описание случайных полей и волн. Статистически однородные и изотропные случайные поля. Пространственные корреляционные функции и пространственные спектры. Локально-однородные случайные поля. Структурные функции. Функции когерентности волновых случайных полей	Лекции, сам. раб.	Устный опрос по вопросам из пункта 5
2.	Уравнения для волн, распространяющихся в	Классификация статистических волновых задач. Вывод основных	Лекции, сам. раб.	Групповые консультации,

	случайно-неоднородных средах	уравнений для волн в случайных средах. Рассеяние на мелкомасштабных и крупномасштабных неоднородностях. Квазистатистическое приближение. Стохастическое уравнение Гельмгольца		устный опрос по вопросам из пункта 5
3.	Рассеяние акустических волн в приближении однократного рассеяния	Борновское приближение. Условия применимости. Рассеянное акустическое поле в Борновском приближении. Средняя интенсивность рассеянной волны в Борновском приближении. Вектор рассеяния. Эффективных поперечник рассеяния. Селективность рассеяния	Лекции, сам. раб.	Групповые консультации, устный опрос по вопросам из пункта 5
4	Многократное рассеяние акустических волн	Интенральный вид решения стохастического уравнения Гельмгольца. Ряд Неймана (Рэлея) по кратности рассеяния. Эффекты двукратного рассеяния. Эффект затухания среднего поля	Лекции, сам. раб.	Групповые консультации, устный опрос по вопросам из пункта 5
5.	Методы анализа случайных волн в средах с крупномасштабными неоднородностями	Параболическое уравнение. Метод геометрической акустики (геомоптики). Метод плавных возмущений Рытова. Сравнение ограничений использования Борновского приближения и метода плавных возмущений. Методы II группы. Расчет основных статистических характеристик акустических волн	Лекции, сам. раб.	Групповые консультации, устный опрос по вопросам из пункта 5

#### **4. Формы организации и контроля самостоятельной работы обучающихся**

Используются виды самостоятельной работы аспиранта: 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 лекционных занятий, групповых консультаций 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.

#### **5. Фонд оценочных средств для аттестации по дисциплине**

##### ***5.1. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине.***

При выполнении всех работ учитываются следующие **основные критерии**:

- уровень теоретических знаний (подразумевается не только формальное воспроизведение информации, но и понимание предмета, которое подтверждается правильными ответами на дополнительные, уточняющие вопросы, заданные членами комиссии);
- умение использовать теоретические знания при анализе конкретных проблем, ситуаций;
- качество изложения материала, то есть обоснованность, четкость, логичность ответа, а также его полнота (то есть содержательность, не исключающая сжатости);
- способность устанавливать внутри- и межпредметные связи,

- оригинальность мышления, знакомство с дополнительной литературой и другие факторы.

***Описание шкалы оценивания на промежуточной аттестации в форме зачета***

<b>Оценка</b>	<b>Уровень подготовленности, характеризующий оценкой</b>
<i>Зачтено</i>	владение программным материалом, понимание сущности рассматриваемых процессов и явлений, умение самостоятельно обозначить проблемные ситуации в организации научных исследований, способность критически анализировать и сравнивать существующие подходы и методы к оценке результативности научной деятельности, свободное владение источниками, умение четко и ясно излагать результаты собственной работы, следовать нормам, принятым в научных дискуссиях.
<i>Не зачтено</i>	непонимание смысла ключевых проблем, недостаточное владение науковедческой терминологией, неумение самостоятельно обозначить проблемные ситуации, неспособность анализировать и сравнивать существующие концепции, подходы и методы, неумение ясно излагать результаты собственной работы, следовать нормам, принятым в научных дискуссиях.

***5.2. Примеры типовых контрольных заданий или иных материалов, используемых для оценивания результатов обучения по дисциплине***

Теоретические вопросы:

1. Статистические характеристики случайных полей и волн
2. Основные характеристики случайных акустических волн
3. Вывод уравнений для волн в случайно-неоднородных средах
4. Общие подходы к решению задач радиофизики и акустики
5. Квазистатическое приближение
6. Стохастическое уравнения Гельмгольца
7. Расчет рассеянного поля в приближении однократного рассеяния
8. Условия применимости Борновского приближения
9. Средняя плотность потока энергии в Борновском приближении
10. Эффективный поперечник рассеяния
11. Селективный характер рассеяния
12. Многократное рассеяние волн. Ряд по кратности рассеяния
13. Эффекты двукратного рассеяния

14. Параболическое уравнение. Два способа вывода
15. Условия применимости параболического уравнение
16. Метод плавных возмущений Рытова. Вывод основных уравнений. Условия применимости метода плавных возмущений Рытова (МПВ)
17. Спектр флуктуаций уровня в МПВ
18. Спектр флуктуаций фазы в МПВ
19. Приближение геометрической оптики (акустики). Вывод основных уравнений. Условия применимости приближения.
20. Современные проблемы акустики случайных сред

Задание 1.

Для изотропного однородного случайного поля получить одномерный пространственный спектр.

Задание 2.

Найти пространственную спектральную плотность для случайного поля, имеющего гауссову корреляционную функцию.

Задание 3.

Найти пространственную спектральную плотность для случайного поля, имеющего гауссову корреляционную функцию.

Задание 4.

Оценить индикатрису рассеяния в среде со случайными неоднородностями, характерный размер которых составляет половину длины волны.

Задание 5.

Оценить индикатрису рассеяния в среде со случайными неоднородностями, характерный размер которых по порядку величины равен длине волны.

Задание 6.

Доказать, что при распространении волны в среде с крупномасштабными случайными неоднородностями обратным рассеянием можно пренебречь.

Задание 7

Получить ограничение на длину трассы для приближения параболического уравнения, используя выражение для эффективного поперечника рассеяния.

Задание 8

Получить ограничение на длину трассы для использования борновского приближения, используя выражение для эффективного поперечника рассеяния.

Задание 9.

Сравнить условия использования приближений параболического уравнения и однократного рассеяния для гауссова спектра флуктуаций параметров среды.

Задание 10.

Расчет среднего акустического поля, рассеянного в обратном направлении совокупностью дискретных донных неоднородностей, расположенных на плоском океаническом дне, в приближении однократного рассеяния.

Задание 11.

Исходя из выражения для среднего квадрата флуктуаций фазы волны, найти его зависимость от длины трассы в приближении геометрической оптики (акустики).

Задание 12.

Исходя из выражения для среднего квадрата флуктуаций уровня волны, найти его зависимость от длины трассы в приближении геометрической оптики (акустики).

Задание 13.

Исходя из выражения для среднего квадрата флуктуаций фазы волны, найти его зависимость от длины трассы в зоне Фраунгофера.

Задание 14.

Исходя из выражения для среднего квадрата флуктуаций уровня волны, найти его зависимость от длины трассы в зоне Фраунгофера.

Задание 15.

Используя выражение для спектральной плотности по поперечным координатам флуктуаций фазы волны, найти его зависимость от длины трассы в приближении геометрической оптики (акустики).

Задание 16.

Используя выражение для спектральной плотности по поперечным координатам флуктуаций уровня волны, найти его зависимость от длины трассы в приближении геометрической оптики (акустики).

Задание 17.

Получить интегральный инвариант для корреляционной функции флуктуационной части интенсивности волны в приближении параболического уравнения.

Задание 18.

Для первого приближения метода плавных возмущений оценить возможную величину флуктуаций интенсивности волны.

Задание 19.

Сравнить границы применимости для методов плавных возмущений и метода геометрической оптики (акустики).

Задание 20.

Для гауссова спектра флуктуаций среды найти дисперсию флуктуаций уровня в первом приближении метода плавных возмущений.

## **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 2. Случайные поля. М: Наука, 1979.
2. Бреховских Л.М., Лысанов Ю.П. Теоретические основы акустики океана. Л: Гидрометеиздат, 2007.
3. Акустика неоднородных сред : в 2 т. / Науч. совет Программы фундам. исслед. Президиума РАН "Изд. тр. выдающихся ученых", РАН, Ин-т океанологии им. П. П. Ширшова . М. : Наука, 2009
4. Кляцкин В.И. Стохастические уравнения : теория и ее приложения к акустике, гидродинамике и радиофизике : в 2 т.. - М. : Физматлит, 2008.
5. Зайцев В.Ю., Гурбатов С.Н., Прончатов-Рубцов Н.В. Нелинейные акустические явления в структурно-неоднородных средах: эксперименты и модели. Н.Новгород, Изд-во ИПФ РАН, 2009.

### **б) Дополнительная литература**

1. Вировлянский А.Л. Лучевая теория дальнего распространения звука в океане Нижний Новгород: ИПФ РАН, 2006.
2. Иванов В. А. Основы океанологии / Иванов В. А., Показеев К. В., Шрейдер А. А. - Санкт-Петербург : Лань, 2021. <https://e.lanbook.com/book/167683>

### **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)



2. Акустический журнал <http://www.akzh.ru/index.html>

### **7. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

- помещения для проведения занятий: лекционного типа, семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для хранения и профилактического обслуживания оборудования и помещения для самостоятельной работы обучающихся, оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду ННГУ;
  - материально-техническое обеспечение, необходимое для реализации дисциплины, включая лабораторное оборудование;
  - лицензионное программное обеспечение: *Windows, Microsoft Office*;
  - обучающиеся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья обеспечиваются электронными и (или) печатными образовательными ресурсами в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья.
- ресурсам.

Рабочая программа учебной дисциплины составлена в соответствии с учебным планом, Положением о подготовке научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре) (Постановление Правительства РФ от 30.11.2021 № 2122), Федеральными государственными требованиями к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре) (Приказ Минобрнауки РФ от 20.10.2021 № 951).

Авторы:

Автор \_\_\_\_\_ доцент, к.ф.-м.н. Грязнова И.Ю.

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

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

**Программа одобрена** на заседании Методической комиссии радиофизического факультета от \_\_\_\_\_ 2022 года, протокол № \_\_\_\_.