

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

радиофизический
(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДЕНО
президиумом Ученого совета ННГУ
протокол от
«31» мая 2023 г. № 6

**Рабочая программа дисциплины
Методы решения статистических задач акустики**

Уровень высшего образования
магистратура

Направление подготовки / специальность
02.04.02 «Фундаментальная информатика и информационные технологии»

Направленность образовательной программы
Автоматизация научных исследований

Квалификация (степень)
магистр

Форма обучения
очная

1. Место и цели дисциплины (модуля) в структуре ОПОП

Дисциплина «Методы решения статистических задач акустики» относится к дисциплинам по выбору вариативной части основной образовательной программы по направлению **02.04.02 «ФИИТ»**, магистерская программа «Автоматизация научных исследований», является дисциплиной по выбору на 2 курсе (в 3 семестре) магистратуры.

Целями освоения дисциплины являются:

- ознакомление студентов с основными свойствами случайных полей и волн,
- изучение основных методов анализа случайных волн, учитывающих их многократное рассеяние в неоднородных средах, таких как приближение параболического уравнение, метод плавных возмущений Рытова, метод геометрической оптики (акустики),
- формирование профессионального подхода к решению практических задач акустики неоднородных сред при использовании максимально эффективных численных подходов к их решению.

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

Формируемые компетенции (код компетенции, уровень освоения – при наличии в карте компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций
<i>ПК-1</i> Способен руководить научными исследованиями и опытно-конструкторскими разработками, в области информатики и информационных технологий (ФИИТ), и формировать их новые направления в области профессиональной деятельности	<i>З1 (ПК-1) Знать современное состояние исследований в области решения статистических задач акустики</i> <i>У1 (ПК-1) Уметь понимать и анализировать современные проблемы и новейшие достижения в области акустики неоднородных сред с использованием информационных технологий</i>

3. Структура и содержание дисциплины «Методы решения статистических задач акустики»

Объем дисциплины составляет 4 зачетных единицы, всего 144 часа, из которых 34 часа составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (32 часа занятия лекционного типа, 2 час - мероприятия текущего контроля успеваемости), 65 часов составляет самостоятельная работа обучающегося 45 часов – контроль самостоятельной работы.

Содержание дисциплины (модуля)

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												Самостоятельная работа обучающегося, часы			
																			из них
	Очная	Очно-заочная	Заочная	Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Консультации	Всего	Очная	Очно-заочная	Заочная	Очная	Очно-заочная	Заочная	Очная	Очно-заочная	Заочная		
Статистические характеристики случайных полей и волн	10			4										4			6		
Параболическое уравнение для волн, распространяющихся в случайно-неоднородных средах	10			4										4			6		
Метод плавных возмущений Рытова	16			8										8			8		
Метод геометрической оптики	10			4										4			6		
Сравнение условий использования различных методов	10			4										4			6		
Уравнения для статистических моментов случайных полей в марковском приближении	16			8										8			7		
В т.ч.текущий контроль	2											2							
Промежуточная аттестация - экзамен																			

4. Образовательные технологии

Основными видами образовательных технологий курса **«Методы решения статистических задач акустики»** являются лекции с применением технологий интерактивного обучения (презентаций) и самостоятельная работа студента.

Учебный процесс в аудитории осуществляется в форме лекционных занятий с применением технологий интерактивного обучения (презентаций).

Образовательные технологии, способствующие формированию компетенций используемые на занятиях лекционного типа:

- лекции-беседы с использованием мультимедийных средств поддержки образовательного процесса;
- лекции с проблемным изложением учебного материала.

Формой итогового контроля знаний студентов по дисциплине является экзамен, в ходе которого оценивается уровень теоретических знаний по дисциплине. Для активизации познавательного процесса слушателям даются задания по самостоятельной подготовке отдельных фрагментов лекций. Основной акцент воспитательной работы делается на добросовестном, профессиональном выполнении всех учебных заданий.

5. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

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 лекционных занятий и в конце курса при проведении экзамена 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 для промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины:

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.
19. Вывод уравнения для среднего поля в марковском приближении.

20. Уравнения для статистических моментов волны в марковском приближении.
21. Анализ решения для функции когерентности в случайно-неоднородной среде.
22. Влияние ограниченности распространяющегося пучка на его когерентные свойства.

6. **Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю), включающий:**

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

ПК-1: Способен руководить научными исследованиями и опытно-конструкторскими разработками, в области информатики и информационных технологий (ФИИТ), и формировать их новые направления в области профессиональной деятельности

ПУНКТ ШКАЛЫ	ОЦЕНКА	НАИМЕНОВАНИЕ ОЦЕНКИ	КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ СОСТАВЛЯЮЩИХ КОМПЕТЕНЦИИ			
			оценка полноты знаний	оценка сформированности умений и навыков	оценка развития способностей	оценка мотивационной готовности к деятельности
1	1	плохо	Полное отсутствие знаний по предмету	Не демонстрирует умений, требуется обучение с начального уровня	Уровень развития способности недостаточный для решения поставленных задач и выполнения соответствующих заданий, специальная работа по развитию способностей	Учебная активность и мотивация отсутствуют
2	2	неудовлетворительно	Уровень знаний ниже минимальных требований	Имеющихся умений не достаточно для решения поставленных задач и выполнения соответствующих заданий, требуется дополнительное обучение	Уровень развития способности значительно ниже среднего по группе (значительно ниже ожидаемого), требуется повторное специальное обучение	Учебная активность и мотивация слабо выражены, готовность решать поставленные задачи качественно отсутствует
3	3	удовлетворительно	Минимально допустимый уровень знаний	Сформированные умения позволяют решать минимальный набор задач и выполнять большинство, но не все, важные задания, требуется дополнительная практика	Уровень развития способности незначительно ниже среднего по группе (незначительно ниже ожидаемого), требуется, достаточный для решения поставленных задач и выполнения соответствующих заданий, однако есть недочеты и требуется дополнительная работа по развитию способностей	Учебная активность и мотивация низкие, демонстрируется готовность выполнять большинство поставленных задач на минимальном уровне качества
4	4	хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, при изложении допущено несколько существенных ошибок	Имеющиеся умения в целом позволяют решать поставленные задачи и выполнять требуемые задания, однако имеют место существенные недочеты, требуется дополнительная практика	Средний уровень развития способности относительно группы (развитие способности соответствует ожидаемому), достаточный для решения поставленных задач и выполнения соответствующих заданий	Учебная активность и мотивация проявляются на среднем уровне, демонстрируется готовность выполнять большинство поставленных задач на среднем уровне качества
5	4,5	очень хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, при изложении допущены 1-2 существенные ошибки	Имеющиеся умения в целом позволяют решать поставленные задачи и выполнять требуемые задания, навыки сформировались, однако имеют место небольшие недочеты, требуется дополнительная практика	Уровень развития способности немного выше среднего по группе (немного выше ожидаемого), что позволяет решать поставленные задачи и выполнять соответствующие задания немного продуктивнее и эффективнее, чем это делают большинство обучающихся	Учебная активность и мотивация проявляются на уровне выше среднего, демонстрируется готовность выполнять большинство поставленных задач на высоком уровне качества
6	5	отлично	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, при изложении допущены несущественные ошибки	Сформированные умения и навыки в полной мере позволяют решать поставленные задачи и выполнять требуемые задания, опыт достаточный, дополнительная практика не требуется	Уровень развития способности значительно выше среднего по группе (значительно выше ожидаемого), что позволяет решать поставленные задачи и выполнять соответствующие задания значительно продуктивнее и эффективнее, чем это делают большинство обучающихся	Учебная активность и мотивация проявляются на высоком уровне, демонстрируется готовность выполнять все поставленные задачи на высоком уровне качества
7	5,5	превосходно	Уровень знаний в объеме,	Исключительные умения и навыки, большой	Очень высокий уровень развития способности, что	Учебная активность и мотивация проявляются

			соответствующе м программе подготовки, или превышающем её, при изложении нет ошибок	практический опыт	позволяет решать поставленные задачи и выполнять соответствующие задания максимально продуктивно и эффективно	на очень высоком уровне, демонстрируется готовность выполнять дополнительные задачи на высоком уровне качества
--	--	--	---	-------------------	---	--

6.2. Описание шкал оценивания

Итоговый контроль качества усвоения студентами содержания дисциплины проводится в виде экзамена, на котором определяется:

- уровень усвоения студентами основного учебного материала по дисциплине;
- уровень понимания студентами изученного материала
- способности студентов использовать полученные знания для решения конкретных задач.

Экзамен проводится в устной форме (ИЛИ включает устную и письменную часть). Устная часть экзамена заключается в ответе студентом на теоретические вопросы курса (с предварительной подготовкой) и последующем собеседовании в рамках тематики курса. Собеседование проводится в форме вопросов, на которые студент должен дать краткий ответ. Практическая часть экзамена предусматривает разбор практической ситуации (решение задачи, теста).

Оценка	Уровень подготовки
Превосходно	Высокий уровень подготовки, безупречное владение теоретическим материалом, студент демонстрирует творческий подход к решению нестандартных ситуаций. Студент дал полный и развернутый ответ на все теоретические вопросы билета, подтверждая теоретический материал практическими примерами из практики. Студент активно работал на практических занятиях. 100 %-ное выполнение контрольных экзаменационных заданий
Отлично	Высокий уровень подготовки с незначительными ошибками. Студент дал полный и развернутый ответ на все теоретические вопросы билета, подтверждает теоретический материал практическими примерами из практики. Студент активно работал на практических занятиях. Выполнение контрольных экзаменационных заданий на 90% и выше
Очень хорошо	Хорошая подготовка. Студент дает ответ на все теоретические вопросы билета, но имеются неточности в определениях понятий, процессов и т.п. Студент активно работал на практических занятиях. Выполнение контрольных экзаменационных заданий от 80 до 90%.
Хорошо	В целом хорошая подготовка с заметными ошибками или недочетами. Студент дает полный ответ на все теоретические вопросы билета, но имеются неточности в определениях понятий, процессов и т.п. Допускаются ошибки при ответах на дополнительные и уточняющие вопросы экзаменатора. Студент работал на практических занятиях. Выполнение контрольных экзаменационных заданий от 70 до 80%.
Удовлетворительно	Минимально достаточный уровень подготовки. Студент показывает минимальный уровень теоретических знаний,

	<p>делает существенные ошибки при характеристике нормативно-правовой базы валютного регулирования, но при ответах на наводящие вопросы, может правильно сориентироваться и в общих чертах дать правильный ответ. Студент посещал практические занятия.</p> <p>Выполнение контрольных экзаменационных заданий от 50 до 70%.</p>
Неудовлетворительно	<p>Подготовка недостаточная и требует дополнительного изучения материала. Студент дает ошибочные ответы, как на теоретические вопросы билета, так и на наводящие и дополнительные вопросы экзаменатора. Студент пропустил большую часть практических занятий.</p> <p>Выполнение контрольных экзаменационных заданий до 50%.</p>
Плохо	<p>Подготовка абсолютно недостаточная. Студент не отвечает на поставленные вопросы. Студент отсутствовал на большинстве лекций и практических занятий.</p> <p>Выполнение контрольных экзаменационных заданий менее 20 %.</p>

Для оценивания результатов обучения в виде знаний используется индивидуальное собеседование,

Для оценивания результатов обучения в виде умений и владений используются практические контрольные задания.

6.3. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю), характеризующих этапы формирования компетенций

Для оценивания результатов обучения в виде знаний используются следующие процедуры и технологии:

- письменные и устные ответы на вопросы.

Для оценивания результатов обучения в виде умений и владений используются следующие процедуры и технологии:

- контрольные задания.

Для проведения итогового контроля сформированности компетенции используется

- устное собеседование.

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

ПК-1

1. Вывод уравнений для волн, распространяющихся в случайно-неоднородных средах
2. Квазистатика. Приближение и следствия.
3. Стохастическое уравнение Гельмгольца.

4. Теория однократного рассеяния. Условия применимости.
5. Теория многократного рассеяния. Борновское (Рэлеевское) разложение.
6. Вывод параболического уравнения. Условия применимости.
7. Закон сохранения энергии и его следствия в приближении параболического уравнения.
8. Основные методы расчета акустических полей в средах с крупномасштабными неоднородностями.
9. Метод плавных возмущений Рытова (МПВ). Условия применимости.
10. Спектр флуктуаций уровня в приближении метода плавных возмущений.
11. Спектр флуктуаций фазы в приближении метода плавных возмущений.
12. Закон сохранения энергии и его статистические следствия в приближении параболического уравнения.
13. Выразить дисперсию флуктуаций уровня, рассчитанную методом плавных возмущений, как функцию волнового параметра.
14. Расчет статистических характеристик волн для двухмасштабных турбулентных пульсаций среды.
15. Метод геометрической оптики (МГО). Разложение Дебая.
16. Сравнение особенностей МПВ и МГО.
17. Уравнения для эйконала и уровня в методе ГО.
18. Уравнения для углов отклонения волны и интенсивности в методе ГО.
19. Методы II группы. Приближение марковского процесса.
20. Уравнение для среднего поля и его решение.
21. Уравнения для поперечной корреляционной функции и второго статистического момента в марковском приближении.
22. Локальный метод Чернова.
23. Уравнение для поперечной функции корреляции интенсивности в марковском приближении.
24. Исследование поперечной корреляционной функции волны в случае первоначального гауссового коллимированного пучка.

Типовые контрольные задания

ПК-1

1. Выразить пространственную спектральную плотность для изотропного случайного поля при условии, что известна функция пространственной корреляции поля.
2. Выразить пространственную корреляционную функцию для изотропного случайного поля при условии, что известен пространственный спектр поля.
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. Доказать, каким пространственным периодом неоднородностей обусловлено обратное рассеяния.
7. Доказать, 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?
9. Используя эффективный поперечник рассеяния, показать, при каких условиях можно пренебречь волнами, рассеянными назад.
10. Используя эффективный поперечник рассеяния, показать, при каких условиях можно применять Борновское приближение.
11. Для гауссовой корреляционной функции флуктуаций среды получить условие использования приближения параболического уравнения.
12. Для гауссовой корреляционной функции флуктуаций среды получить условие использования приближения однократного рассеяния.

13. Показать, что интенсивность статистически однородной в поперечной плоскости волны сохраняется.
14. Найти дисперсию флуктуаций уровня методом плавных возмущений Рытова в случае гауссовой корреляционной функции неоднородностей среды.
15. Найти дисперсию флуктуаций фазы методом плавных возмущений Рытова в случае гауссовой корреляционной функции неоднородностей среды.
16. Получить выражения для дисперсии флуктуаций уровня в зоне геометрической оптики.
17. Получить выражения для дисперсии флуктуаций уровня в зоне дифракции Фраунгофера.
18. Рассчитать статистические характеристики волн для двухмасштабных турбулентных пульсаций среды.
19. Вычислить среднее поле в марковском приближении.
20. Получить зависимость интенсивности среднего поля от длины трассы в случайно-неоднородной среде.
21. Рассчитать интенсивность среднего поля для случая падающей плоской волны.
22. Рассчитать интенсивность флуктуационной части поля для случая падающей плоской волны.
23. Получить решение уравнения для поперечной корреляционной функции случая падающей плоской волны.
24. Получить асимптотику для поперечной корреляционной функции поля на больших расстояниях.

6.5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания.

- Положение «О проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся в ННГУ», утверждённое 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 (модуля) «Методы решения статистических задач акустики»

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

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

- аудиторный фонд ННГУ,
- аудитория для работы с мультимедийным проектором
- аудитория с компьютером для проверки выполнения заданий с использованием ИТ-технологий.

Программа составлена в соответствии с требованиями Образовательного стандарта (СУОС) по направлению **02.04.02 «Фундаментальная информатика и информационные технологии»**, магистерская программа **«Автоматизация научных исследований»**.

Автор к.ф.-м.н., доцент Грязнова И.Ю.

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.