

**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

Нелинейные случайные волны и
турбулентность в средах без дисперсии

(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.07.01 " Нелинейные случайные волны и турбулентность в средах без дисперсии " 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 теории нелинейных случайных волн.</p> <p><i>Уметь</i> свободно ориентироваться в фундаментальных аспектах физики и радиофизики, необходимыми для решения научно-исследовательских задач в области теории нелинейных случайных волн и турбулентности в средах без дисперсии.</p> <p><i>Владеть</i> базовыми навыками решения задач в области теории нелинейных случайных волн и турбулентности в средах без дисперсии.</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</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</p>	<p><i>Знать</i> современное состояние исследований в области нелинейных случайных волн и турбулентности в средах без дисперсии.</p> <p><i>Уметь</i> использовать знания о современном состоянии исследований в области акустики и радиофизики для овладения основами теории нелинейных случайных волн и турбулентности в средах без дисперсии.</p>	<p><i>Собеседование, задача (практическое задание)</i></p>

<p><i>опытно-конструкторских работ в области физики и радиофизики и оформлять их результаты</i></p>	<p>полученных результатов.</p>	<p><i>Владеть</i> навыками расчетов практических задач на основе современных подходов к описанию и моделированию нелинейных случайных волн и турбулентности.</p>	
	<p>ПК-2.2. Выбирает и применяет аналитические, аналитико-численные, экспериментальные методы исследования в соответствии с типом поставленной задачи.</p>	<p><i>Знать</i> приближенные методы решения задач в области распространения нелинейных случайных волн и турбулентности в средах без дисперсии.</p> <p><i>Уметь</i> самостоятельно ставить задачи и выбирать методы их решения в области нелинейных случайных волн и турбулентности в средах без дисперсии.</p> <p><i>Владеть</i> аналитическими методами исследований в области акустики и радиофизики, в том числе в области нелинейных случайных волн и турбулентности в средах без дисперсии..</p>	<p><i>Собеседование, задача (практическое задание)</i></p>
<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>	<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><i>Знать:</i> требования и правила представлений результатов теоретических исследований при оформлении рукописей к публикации в рецензируемых научных изданиях.</p> <p><i>Уметь:</i> использовать полученные знания для корректного представления результатов при оформлении рукописей к публикации в рецензируемых научных изданиях..</p> <p><i>Владеть:</i> 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><i>Знать</i> способы представления результатов научных исследований.</p> <p><i>Уметь</i> самостоятельно изложить полученные научные результаты на языке, понятном академическому или бизнес-сообществу.</p> <p><i>Владеть</i> опытом наглядного представления результатов исследований в области физики нелинейных случайных волн и турбулентности в средах без дисперсии..</p>	

3. Структура и содержание дисциплины «Нелинейные случайные волны и турбулентность в средах без дисперсии»

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				Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего	
Базовые уравнения – уравнение Римана (уравнение простой волны), одномерное и векторное уравнение Бюргерса. Основные сведения из теории случайных процессов.	7	2			2	5
Эволюция сложных детерминированных сигналов – периодическая автомодельность фрактальных сигналов.	16	6			6	10
Лагранжево и Эйлерово статистическое описание случайных полей. Вероятностные распределения случайных Римановых волн. Спектры случайных Римановых волн.	21	6			6	15
Качественная теория одномерной турбулентности. Автомодельность акустической турбулентности	51	6			6	15
Асимптотический анализ акустической турбулентности при бесконечных числах Рейнольдса,	21	6			6	15
Ячеистая структура трехмерной потенциальной турбулентности. Крупномасштабная структура Вселенной.	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. Уравнение Римана (уравнение простой волны), одномерное и векторное уравнение Бюргерса.

2. Связь асимптотических характеристик случайных процессов с особенностями их реализаций.
3. Эволюция сложных детерминированных сигналов.
4. Лагранжево и Эйлерово статистическое описание случайных полей.
5. Вероятностные распределения случайных Римановых волн.
6. Спектры случайных Римановых волн.
7. Решение уравнения Бюргерса при больших числах Рейнольдса.
8. Качественная теория одномерной турбулентности- законы роста внешнего масштаба и затухания энергии.
9. Автомодельность акустической турбулентности, сохранение крупномасштабных структур
10. Ячеистая структура трехмерной потенциальной турбулентности – локальная автомодельность.

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	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные	Продемонстрированы основные умения. Решены типовые	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные	Продемонстрированы все основные умения. Решены все	Продемонстрированы все основные умения, решены все основные	Продемонстрированы все основные умения, решены все

	оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	умения. Имели место грубые ошибки.	задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме.	задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	основные задачи . Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами .	задачи с отдельными несущественным недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	основные задачи. 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
	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. Уравнение Римана (уравнение простой волны), одномерное и векторное уравнение Бюргерса.	ПК-1
2. Связь асимптотических характеристик случайных процессов с особенностями их реализаций.	ПК-1
3. Эволюция сложных детерминированных сигналов.	ПК-1
4. Лагранжево и Эйлерово статистическое описание случайных полей.	ПК-1
5. Спектры случайных Римановых волн.	ПК-2
6. Вероятностные распределения случайных Римановых волн.	ПК-2
7. Решение уравнения Бюргерса при больших числах Рейнольдса.	ПК-2
8. Качественная теория одномерной турбулентности- законы роста внешнего масштаба и затухания энергии.	ПК-3
9. Автомодельность акустической турбулентности, сохранение крупномасштабных структур	ПК-3
10. Ячеистая структура трехмерной потенциальной турбулентности – локальная автомодельность	ПК-3

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

1. Базовые уравнения – уравнение Римана (уравнение простой волны), одномерное и векторное уравнение Бюргерса.
2. Основные сведения из теории случайных процессов. Связь асимптотических характеристик случайных процессов с особенностями их реализаций.
3. Эволюция сложных детерминированных сигналов – периодическая автомодельность фрактальных сигналов.
4. Лагранжево и Эйлерово статистическое описание случайных полей.
5. Вероятностные распределения случайных Римановых волн.

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

1. Спектры случайных Римановых волн.
2. Точное решение уравнения Бюргерса и решение уравнения Бюргерса при больших числах Рейнольдса.
3. Качественная теория одномерной турбулентности.
4. Автомодельность акустической турбулентности
5. Ячеистая структура трехмерной потенциальной турбулентности.
6. Модельное описание эволюции крупномасштабной структуры Вселенной. Приближение Зельдовича и модель слипания

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

1. Найти решение нелинейного уравнения 1-го порядка - уравнения Римана
2. Привести уравнение Бюргерса к безразмерному виду и ввести понятие акустического числа Рейнольдса.
3. Установить связь асимптотики спектра с особенностями их реализаций случайных процессов.
4. Уставить формулы связи Лагранжево и Эйлера описание случайных полей.
5. Показать сохранение одноточечного вероятностного распределения статистически однородной Римановой волны.
6. Вывести выражение для спектра случайной Римановой волны с начальной гауссовой статистикой.
7. Вывести из точного решения уравнения Бюргерса решение уравнения при больших числах Рейнольдса.
8. Сделать качественную оценку законов роста внешнего масштаба и затухания энергии акустической турбулентности на основе асимптотического решения уравнения Бюргерса.
9. Исходя из гипотез об автомодельности акустической турбулентности и сохранения крупномасштабных структур найти законы роста внешнего масштаба и затухания энергии.
10. Показать на основе асимптотического решения векторного уравнения Бюргерса возникновение локальной автомодельности трехмерной потенциальной турбулентности.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. Гурбатов С.Н. Лекции по механике сплошных сред . Н.Новгород: Изд-во ННГУ им. Н.И. Лобачевского, 2023. – 137 с.
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. Руденко О.В., Гурбатов С.Н., Демин И.Ю. Поглощение интенсивных регулярных и шумовых волн в релаксирующих средах // Акустический журнал. Т. 60, с. 459-465 (2014)
2. Руденко О.В., Гурбатов С.Н., Демин И.Ю. Нелинейные шумовые волны в мягких биологических тканях // Акустический журнал. Т.59, с. 630-635 (2013)

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: д.ф.-м.н., профессор Гурбатов С.Н.

Рецензент: д.ф.-м.н., профессор Гавриленко В.Г.

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.