

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВПО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
радиофизики
наименование кафедры, отвечающей за реализацию дисциплины
(Корчагин Ю.Э.)
подпись, расшифровка подписи
07.06. 2023



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.ДВ.04.02 Фракталы в радиофизике

Код и наименование дисциплины в соответствии с Учебным планом

1. Шифр и наименование направления подготовки: 03.04.03 Радиофизика
2. Профиль подготовки: Компьютерные методы обработки радиофизической информации
3. Квалификация (степень) выпускника: магистр
4. Форма обучения: очная
5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины: кафедра радиофизики
6. Составители программы: Зюльков Александр Владимирович, к.ф.м.н., доцент
7. Рекомендована: методическим советом физического факультета прот. №6 от 25.05.2023
8. Учебный год: 2024/2025 Семестр(ы): 3
9. Цели и задачи учебной дисциплины

Цель преподавания дисциплины – ознакомление студентов с современными моделями и методами статистической радиофизики. В данном курсе рассматриваются детерминированные и случайные самоподобные математические модели; способы определения, оценки их параметров и моделирования; использования рассмотренных моделей в задачах радиофизики. Задачи изучения дисциплины “Фракталы в радиофизике” состоят в овладении современными математическими моделями и методами их использования в радиофизике.

10. Место учебной дисциплины в структуре ООП: дисциплина по выбору вариативной части блока Б1 учебного плана

Дисциплина опирается на курсы: «Теория вероятностей и математическая статистика», «Статистическая физика», «Статистическая радиофизика»

Необходимые знания и умения:

Студенты должны **знать**:

- основы теории вероятностей и математической статистики,
- фундаментальные понятия статистической физики;
- методы описания и расчета характеристик случайных процессов.

Студенты должны **уметь**:

- применять знания, полученные при освоении базовых дисциплин, к новым дисциплинам и областям знания;
- владеть компьютером и современным программным обеспечением на уровне опытного пользователя;
- приобретать новые знания, используя современные образовательные и информационные технологии, в том числе Интернет.

Студенты должны **владеть**:

- навыками работы с операционной системой компьютера;
- базовыми навыками работы с прикладным программным обеспечением;
- способностью к овладению базовыми знаниями в области математики и естественных наук, их использованию в профессиональной деятельности;
- способностью самостоятельно приобретать новые знания, используя современные образовательные и информационные технологии;
- способностью решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности;
- способностью понимать принципы работы и методы эксплуатации современной радиоэлектронной и оптической аппаратуры и оборудования.

11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников):

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ПК-1	Владеть способностью использовать в своей научно-исследовательской деятельности знание современных проблем и новейших достижений физики и радиофизики	ПК-1.1	Владеет фундаментальными знаниями в области систем связи и телекоммуникаций	<p>Знать:</p> <p>Возможности использования фрактальных моделей в радиофизике:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Основные понятия, характеристики и методы, используемые в самоподобных и самоафинных моделях детерминированных и случайных процессов; • Причины использования самоподобных моделей, их место среди других моделей, области применимости, преимущества и недостатки; • Типы фрактальных моделей детерминированных и случайных процессов и их описание. <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Рассчитывать фрактальные размерности различных геометрических фракталов; • Определять фрактальные размерности реализаций различных случайных процессов; • Оценивать фрактальные размерности по экспериментальным данным.

				Владеть: <ul style="list-style-type: none"> Минимальными теоретическими сведениями о фрактальных множествах и их описании; Навыками использования современных программных продуктов моделирования и оценки фрактальной размерности экспериментальных данных.
ПК-1	Владеть способностью использовать в своей научно-исследовательской деятельности знание современных проблем и новейших достижений физики и радиофизики	ПК-1.3	Проводит анализ известных технических решений отдельных блоков систем связи, телекоммуникаций и радионавигации	Знать: основные фрактальные и мультифрактальные модели и их характеристики, используемые в современной радиофизике. Уметь: обоснованно оценивать возможности их использования в радиофизике. Владеть: методами расчета характеристик применяемых моделей.

12 Объем дисциплины в зачетных единицах/час — 2 /72

Форма промежуточной аттестации *зачет*

13 Виды учебной работы:

Вид учебной работы	Трудоемкость (часы)			
	Всего	По семестрам		
		3		
Аудиторные занятия	38	38		
в том числе:				
лекции	26	26		
практические	12	12		
лабораторные				
Самостоятельная работа	34	34		
Подгот.				
Итого:	<i>72</i>	<i>72</i>		
	<i>зачет</i>	<i>зачет</i>		

13.1. Содержание разделов дисциплины:

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК*

1. Лекции			
1.1	Цели, задачи и предмет курса. Понятие фрактала и фрактальной размерности.	<i>Цели и задачи курса. Предмет курса. Понятие фрактала. Фракталы и хаос. Симметрия и ее виды. Самоподобие и самоафинность. Топологическая и фрактальная размерности. Размерность Хаусдорфа. Способы ее вычисления для самоподобных фракталов.</i>	-
1.2	Детерминированные фракталы и мультифракталы.	<i>Примеры фрактальных множеств. Геометрическое и арифметическое описание. Аттракторы и репеллеры ковра Серпинского. Подобие в физике. Самоподобие степенных законов. Итерации Ньютона и множество Жюлиа. Системы итерированных функций. Аффинные преобразования.</i>	-
1.3	Фрактальные размерности и их виды.	<i>Неоднородные фрактальные множества. Мультифракталы. Спектр фрактальных размерностей и функция мультифрактального спектра. Фрактальная размерность D_0. Информационная размерность D_1. Корреляционная размерность D_2. Другие виды фрактальных размерностей. «Толстые» фракталы и показатели скейлинга.</i>	-
1.4	Инвариантные вероятностные распределения и случайные фракталы.	<i>Вероятностные степенные законы. Распределения с «утяжеленными хвостами». Инвариантные вероятностные распределения (устойчивые, безгранично делимые). Самоподобные случайные процессы. Фрактальные свойства реализации винеровского процесса. Дробное броуновское движение и процесс авторегрессии-скользящего среднего. Устойчивые случайные процессы и процессы Леви. Обобщенный белый шум. Шумы с энергетическим спектром $f^{-\alpha}$. Методы моделирования.</i>	-
1.5	Фрактальные размерности случайных процессов и способы их вычисления.	<i>Фрактальная размерность коррелированного гауссовского случайного процесса. Примеры. Линейный случайный процесс и его фрактальная размерность. Примеры. Фрактальные точечные процессы. Методы оценки фрактальной размерности по экспериментальным данным</i>	-
1.6	Фрактальные модели в радиофизике. Моделирование фрактальных случайных процессов	<i>Фрактальные модели в радиофизике. Фрактальные антенные решетки. Фрактальные свойства и модели трафика телекоммуникационных систем. Методы моделирования.</i>	-
2. Практические занятия			
2.1	Пакеты моделирования фракталов	Ознакомление с возможностями, интерфейсом и редакторами пакетов моделирования. Изучение примеров различных моделей.	-

	ЛОВ		
2.2	Итерационные методы построения фрактальных множеств.	Примеры фрактальных множеств. Геометрическое и арифметическое описание. Аттракторы и репеллеры ковра Серпинского. Итерации Ньютона и множество Жюлиа.	-
2.3	Определение фрактальных размерностей множеств.	Вычисление фрактальных размерностей множеств. Фрактальная размерность D0. Информационная размерность D1. Корреляционная размерность D2. Другие виды фрактальных размерностей.	-
2.4	Моделирование самоподобных случайных процессов.	Фрактальные свойства реализации винеровского процесса. Дробное броуновское движение и процесс авторегрессионскользящего среднего. Устойчивые случайные процессы и процессы Леви. Обобщенный белый шум. Шумы с энергетическим спектром $1/f$. Методы моделирования.	-
2.5	Фрактальные размерности случайных процессов и способы их вычисления.	Фрактальная размерность коррелированного гауссовского случайного процесса. Примеры. Линейный случайный процесс и его фрактальная размерность. Примеры. Фрактальные точечные процессы. Методы оценки фрактальной размерности по экспериментальным данным.	-
2.6	Фрактальные модели в радиофизике. Моделирование фрактальных случайных процессов	Фрактальные свойства и модели трафика телекоммуникационных систем. Методы моделирования.	-

13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Виды занятий (часов)				
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1	Цели, задачи и предмет курса. Понятие фрактала и фрактальной размерности.	4		1	4	9
2	Детерминированные фракталы и мультифракталы.	6		3	4	13
3	Фрактальные раз-	4		4	10	18

	мерности и их виды.					
4	Инвариантные вероятностные распределения и случайные фракталы.	6			2	8
5	Фрактальные размерности случайных процессов и способы их вычисления.	4		2	8	14
6	Фрактальные модели в радиофизике. Моделирование фрактальных случайных процессов	2		2	6	10
Итого:		26		12	34	72

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Для обучающихся, кроме прослушивания лекционного курса, желательно изучение методических материалов, составленных специально для углубленного понимания этого курса, а также участие в промежуточных коллоквиумах и контрольных работах.

15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины

а) основная литература:

1. Потапов А.А. Фракталы в радиофизике и радиолокации. / А.А. Потапов - М.: Логос, 2002г. - 664с.
2. Шелухин О.И. Фрактальные процессы в телекоммуникациях./ О.И. Шелухин, А.М. Тенякшев, А.В. Осин - М.: Радиотехника, 2003. - 480с.
3. Шредер М. Фракталы, хаос, степенные законы / М. Шредер - Ижевск: НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", 2001. – 528с.
4. Божокин С.В. Введение в теорию фракталов./ С.В. Божокин, Д.А. Паршин -Ижевск.: НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", 2001. – 128с.
5. Федер Е. Фракталы. / Е. Федер - Пер. с англ. - М.: Мир, 1991. - 254с.

б) дополнительная литература:

6. Морозов А.Д. Введение в теорию фракталов./ А.Д. Морозов -Ижевск.: НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", 2002. – 162с.
7. Кроновер Ричард М. Фракталы и хаос в динамических системах. Основы теории/ Ричард М. Кроновер; Пер. с англ. Т. Э. Кренкеля, А. Л. Соловейчика под ред. Т. Э. Кренкеля.- М.: Постмаркет, 2000.-350 с.
8. Рюэль Д. Случайность и хаос. / Д. Рюэль - Ижевск.: НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", 2001. – 192с.
9. Зюльков И.А. Фрактальные размерности гауссовских случайных процессов/ И.А.Зюльков В.И.Парфенов // Радиолокация, навигация,связь:VI междунар.науч.-техн.конф.,25-27 апр.2000 г.—Б.м.—2000.—Т.1.—С.261-266.

10. Зюльков И.А. Фрактальная размерность линейных случайных процессов / И.А.Зюльков // Радиолокация, навигация, связь: VII междунар. науч.-техн. конф., 24-26 апр. 2001 г.—Б.м.— 2001.—Т. 1.— С. 58-63.
11. Марченко Б.Г. Вероятностные модели случайных сигналов и полей в прикладной статистической радиофизике./ Б.Г. Марченко, В.А. Омельченко - Киев: УМК, 1998г. – 176с.

в) информационные электронно-образовательные ресурсы:

№ п/п	Источник
1.	Электронная библиотека Зональной научной библиотеки Воронежского государственного университета : электронно-библиотечная система. – URL : https://lib.vsu.ru/zgate?Init+elib.xml,simple_elib.xsl+rus
2.	Электронно-библиотечная система "БиблиоТех" : электронно-библиотечная система. – URL : https://lib.vsu.ru/?p=4&t=2d&id=1486
3.	Электронно-библиотечная система «ЮРАЙТ» : электронно-библиотечная система. – URL : https://lib.vsu.ru/?p=4&t=2d&id=1457
4.	Электронно-библиотечная система BOOK.ru.(изд-во "КноРус") : электронно-библиотечная система. – URL : https://lib.vsu.ru/?p=4&t=2d&id=1436
5.	Национальный цифровой ресурс "РУКОНТ" : электронно-библиотечная система. – URL : https://lib.vsu.ru/?p=4&t=2d&id=1401
6.	Электронно-библиотечная система "ZNANIUM.COM" (изд-во "ИНФРА-М") : электронно-библиотечная система. – URL : https://lib.vsu.ru/?p=4&t=2d&id=1360
7.	Электронно-библиотечная система ibook.ru : электронно-библиотечная система. – URL : https://lib.vsu.ru/?p=4&t=2d&id=1344
8.	Электронно-библиотечная система IPRbooks : электронно-библиотечная система. – URL : https://lib.vsu.ru/?p=4&t=2d&id=1343
9.	Электронно-библиотечная система «КнигаФонд» : электронно-библиотечная система. – URL : https://lib.vsu.ru/?p=4&t=2d&id=1336
10.	Электронно-библиотечная система IQLib : электронно-библиотечная система. – URL : https://lib.vsu.ru/?p=4&t=2d&id=1310
11.	Электронно-библиотечная система "Издательство "Лань" : электронно-библиотечная система. – URL : https://lib.vsu.ru/?p=4&t=2d&id=1308
12.	Электронно-библиотечная система "Университетская библиотека online" : электронно-библиотечная система. – URL : https://lib.vsu.ru/?p=4&t=2d&id=1307
13.	Электронно-библиотечная система "Консультант студента" : электронно-библиотечная система. – URL : https://lib.vsu.ru/?p=4&t=2d&id=1306

16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы (учебно-методические рекомендации, пособия, задачки, методические указания по выполнению практических (контрольных) работ и др.)

№ п/п	Источник
1	Зюльков А.В. Имитационное моделирование. Вероятностные и статистические аспекты. / А.В. Зюльков, Ю.С. Радченко, А.В. Захаров ; Воронеж. гос. ун-т— Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2017 .— Загл. с титула экрана .— Свободный доступ из интрасети ВГУ .— Текстовый файл .— <URL: http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m17-216.pdf >.

2	Зюльков, А.В. Цифровое моделирование случайных величин [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие для вузов : [для студ. 3 и 5 курсов д/о, 5 курса в/о и магистров для специальности 010801 - Радиофизика и электроника и направления 010800 - Радиофизика] / А.В. Зюльков ; Воронеж. гос. ун-т .— Электрон. текстовые дан. — Воронеж : Издательско-полиграфический центр Воронежского государственного университета, 2011 .— Загл. с титул. экрана .— Свободный доступ из интрасети ВГУ .— Текстовый файл .— Windows 2000; Adobe Acrobat Reader .— <URL: http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m11-194.pdf >.
3	Даденков, С.А. Имитационное моделирование дискретных информационных систем и сетей в среде AnyLogic : учеб. пособие / С.А. Даденков, Е.Л. Кон. – Пермь : Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2018. – 315 с.

17. Информационные технологии, используемые для реализации учебной дисциплины, включая программное обеспечение и информационно-справочные системы (при необходимости)

Система управления обучением (виртуальная обучающая среда) MOODLE

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Ноутбук HP Pavilion Dv9000, проектор BenQ MP575,

1. Учебная лаборатория кафедры.
2. Персональные компьютеры – 15 шт.
3. Программы «Maxima», «FracLab», «Fractan»

19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
1	Цели, задачи и предмет курса. Понятие фрактала и фрактальной размерности.	ПК-1	ПК-1.1	Вопросы 1-4
2	Детерминированные фракталы и мультифракталы.	ПК-1	ПК-1.1	Вопросы 5-8

3	Фрактальные размерности и их виды.	ПК-1	ПК-1.3	Вопросы 9-10
4	Инвариантные вероятностные распределения и случайные фракталы.	ПК-1	ПК-1.3	Вопросы 11-13
5	Фрактальные размерности случайных процессов и способы их вычисления.	ПК-1	ПК-1.1, ПК-1.3	Вопросы 14-16
	Фрактальные модели в радиофизике. Моделирование фрактальных случайных процессов	ПК-1	ПК-1.1, ПК-1.3	Вопросы 2, 4, 6, 14, 15

20. Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

20.1 Текущий контроль успеваемости

Текущий контроль успеваемости по дисциплине осуществляется в начале занятия путем *выборочного опроса* студентов по теме предыдущего занятия.

20.2 Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью *собеседования по списку вопросов*.

20.2.1 Перечень вопросов к зачету

№ п/п	Текст вопроса
1.	Существенная чувствительность явлений к начальным условиям. Неустойчивые и устойчивые системы.
2.	Детерминированный хаос и фракталы.
3.	Понятие и виды симметрии. Важность изучения различных видов симметрии. Самоподобие и самоаффинность.
4.	Понятие дробной размерности.
5.	Размерность покрытия детерминированных рекуррентных фракталов и способы ее вычисления.
6.	Способы вычисления размерности покрытия детерминированных рекуррентных фракталов. Обобщения на случай неравной длины покрывающих множеств. Примеры.

7.	Геометрическое описание репеллеров ковра Серпинского.
8.	Арифметическое описание репеллеров ковра Серпинского.
9.	Аттракторы ковра Серпинского. Области притяжения отображений.
10.	Описание фракталов с помощью систем итерированных функций.
11.	Описание фракталов с помощью систем аффинных преобразований.
12.	Случайные фракталы. Фрактальные свойства реализаций случайных процессов.
13.	Способы вычисления фрактальной размерности коррелированного гауссовского случайного процесса.
14.	Безгранично делимые и устойчивые случайные величины.
15.	Линейные случайные процессы.
16.	Способы вычисления фрактальной размерности линейного случайного процесса.

Описание технологии проведения.

В начале студент получает два вопроса из списка вопросов, выбираемых произвольно. После непродолжительной подготовки проводится собеседование с экзаменуемым по этим вопросам. Далее студенту предлагается ответить на несколько дополнительных вопросов.

Требования к выполнению, шкалы и критерии оценивания

Требования к выполнению заданий - умение работать с предоставленными программами и пояснения содержания предоставленных отчетов.

Для оценивания результатов обучения используются следующие показатели

- 1) знание учебного материала и владение понятийным аппаратом;
- 2) умение применять теоретические знания при решении практических задач.
- 3) умение иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными исследований.

Для оценивания результатов обучения используется 2-х балльная шкала: «зачтено», «не зачтено».

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
Полный ответ на два произвольно выбранных вопроса из комплекта вопросов или незначительные погрешности в ответе, не указывающие на отсутствие общего	Базовый уровень	Зачтено

<p>понимания существа предмета.</p> <p>Обучающийся владеет понятийным аппаратом в данной области науки, теоретическими основами дисциплины, способен к решению типовых задач, дает правильные ответы на дополнительные вопросы, однако возможно допускает ошибки при отклонении вопроса от стандартного.</p>		
<p>Отсутствие ответа (или ответ со значительными погрешностями) на один или оба произвольно выбранных вопроса из комплекта вопросов.</p> <p>Обучающийся демонстрирует отрывочные, фрагментарные знания или отсутствие знаний по теме предмета, допускает грубые ошибки при ответах на простые вопросы, не умеет решать даже типовые задачи.</p>	–	Не зачтено