

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

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
электроники

Усков Г.К.

31.01.2023 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
Б1.В.ДВ.01.02 Стохастические колебания

1. Код и наименование направления подготовки/специальности:

03.04.03 Радиофизика

2. Профиль подготовки/специализация:

Системы телекоммуникаций и радиоэлектронной борьбы

3. Квалификация (степень) выпускника: магистр

4. Форма обучения: очная

5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины: электроники

6. Составители программы: Караваев Андрей Александрович, к.ф.-м.н.

7. Рекомендована:

НМС физического факультета 30.08.2021 протокол №8

8. Учебный год: 2024/2025

Семестр(ы): 3

9. Цели и задачи учебной дисциплины: сформировать современный уровень понимания динамических систем со стохастическими и хаотическими свойствами, рассмотреть основные примеры и современные модели хаотических систем.

10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:

Дисциплина относится к Профессиональному циклу и является обязательной дисциплиной вариативной части. Изучение дисциплины проводится на базе общих курсов «Дифференциальные уравнения», «Теория колебаний». Требуются знания, включающие в себя основные понятия теории колебаний, навыки работы с дифференциальными уравнениями, программирование на языках высокого уровня. Данная дисциплина является предшествующей дисциплинам или научным работам, рассматривающим практическое применение хаотической динамики в электронике и радиофизике, например, в системах связи.

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

Компетенция		Планируемые результаты обучения
Код	Название	
ОПК-3	способность к свободному владению знаниями фундаментальных разделов стохастических колебаний, необходимых для решения научно-исследовательских задач	<p>знать: математический аппарат, описывающий поведение хаотических систем; основные законы и понятия фундаментальных разделов стохастических колебаний в области своей специализации; основные методы стохастических колебаний, в том числе применяемые для анализа поведения сложных систем.</p> <p>уметь: осуществлять математическую постановку исследуемых задач; применять различные численные и аналитические методы стохастических колебаний для решения научно-исследовательских задач</p> <p>владеть (иметь навык(и)): математическим аппаратом для решения специфических задач в области стохастических колебаний; методами решения задач стохастических колебаний в области своей специализации; методами разработки математических моделей хаотических систем</p>
ПК-1	способность использовать в своей научно-исследовательской деятельности знание современных проблем и новейших достижений стохастических колебаний	<p>знать: актуальные проблемы стохастических колебаний и новейшие достижения в данной области</p> <p>уметь: анализировать научно-техническую информацию и обобщать отечественный и зарубежный опыт с целью использования в своей научно-исследовательской деятельности</p> <p>владеть: опытом применения знаний современных проблем и достижений стохастических колебаний при решении исследовательских задач</p>
ПК-2	способность самостоятельно ставить научные задачи в области стохастических колебаний и решать их с использованием современного оборудования и новейшего отечественного и зарубежного опыта	<p>знать: основы методологии научной работы в области стохастических колебаний и применение их в теории и эксперименте</p> <p>уметь: формулировать новые научные задачи, возникающие в ходе исследований, анализировать результаты и, при необходимости, корректировать направление исследований</p> <p>владеть: навыком использования современного оборудования в решении исследовательских задач</p>

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

Форма промежуточной аттестации зачет.

13. Виды учебной работы

Вид учебной работы	Трудоемкость		
	Всего	По семестрам	
		3	
Аудиторные занятия	24	24	
в том числе: лекции	12	12	
практические			
лабораторные	12	12	
Самостоятельная работа	48	48	
Форма промежуточной аттестации (зачет – 0 час. / экзамен – ___ час.)			
Итого:	72	72	

13.1. Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины
1. Лекции		
1.1	Основные понятия стохастических и хаотических систем	Динамические системы и хаос: историческое введение. Примеры систем и истоки развития направления в механике, статистической физике, теория колебаний, радиофизике, электронике, гидродинамике и математике. Прикладной хаос. Хаос в простых моделях динамических систем: одномерные и двумерные отображения. Странные хаотические аттракторы. Система Лоренца. Задача о конвекции в подогреваемом снизу слое. Конвекция в замкнутой петле и водяное колесо. Уравнения динамики одномодового лазера. Диссипативный осциллятор с инерционной нелинейностью. Динамика системы Лоренца: результаты численного решения уравнений Лоренца. Аналитическое исследование уравнений Лоренца. Бифуркации в модели Лоренца. Хаос в реалистичных моделях физических систем: дифференциальные уравнения и рекуррентные отображения. Модели с дискретным временем. Искусственно сконструированные дифференциальные уравнения. Нелинейные осцилляторы под периодическим внешним воздействием. Автономные системы — электронные генераторы. Сечение Пуанкаре и отображение последования. Подкова Смейла. Теорема Шильникова о петле сепаратрисы седло-фокуса. Гомоклиническая структура. Устойчивое и неустойчивое многообразие неподвижной точки и их пересечение. Связь гомоклинической структуры и подковы Смейла. Критерий Мельникова.
1.2	Параметры для оценки стохастических и хаотических систем	Функция распределения и инвариантная мера. Эргодичность и перемешивание. Одномерные отображения: инвариантные распределения и уравнение Фробениуса-Перрона. Системы с непрерывным временем, уравнение для функции распределения и портреты странных аттракторов. Устойчивость и неустойчивость: ляпуновские показатели, устойчивость по Лагранжу, устойчивость по Пуассону и возвраты Пуанкаре, устойчивость по Ляпунову. Ляпуновские показатели для отображений. Методы численной оценки ляпуновских показателей. Обобщение ляпуновских показателей на рекуррентные отображения. Примеры аналитического расчета ляпуновских показателей. Алгоритм вычисления старшего ляпуновского показателя. Ортогонализация Грама-Шмидта и вычисление спектра

		ляпуновских показателей. Примеры численного расчета ляпуновских показателей. Зависимость ляпуновского показателя от параметров. Двухпараметрический анализ и карты ляпуновских показателей. Геометрия странных аттракторов и фрактальная размерность.
1.3	Фракталы и размерность динамических систем	Фракталы и фрактальная размерность. Размерность Хаусдорфа и ее связь с емкостью. Фрактальная размерность двухмасштабного канторова множества и странного аттрактора в обобщенном отображении пекаря. Обобщенные размерности и мультифрактальный формализм. Информационная размерность. Корреляционная размерность. Спектр обобщенных размерностей. Усовершенствованное определение и спектр размерностей аттрактора обобщенного отображения пекаря. Скейлинг-спектр. Ляпуновская размерность и формула Каплана-Йорке.
1.4	Обработка реализаций динамических систем со стохастическими и хаотическими свойствами	Обработка реализаций: реконструкция аттрактора по наблюдаемой реализации, проблема вложения, вычисление характеристик хаотической динамики. Реконструкция фазового пространства методом запаздывания. Оценка корреляционной размерности по наблюдаемой. О технических проблемах, возникающих при вычислении размерности. Теорема о вложении. Вычисление ляпуновских показателей по реализации. Идея реконструкции уравнений динамической системы по наблюдаемой реализации.
1.5	Сценарии перехода к хаосу, критические точки и линии	Сценарии перехода к хаосу Общая дискуссия. Сценарий Фейгенбаума: ренормгруппа, универсальность, скейлинг. Переход к хаосу в логистическом отображении. Уравнение РГ. Линеаризованное уравнение РГ. Скейлинг. Критический аттрактор Фейгенбаума. Критический аттрактор как фрактал. О последовательности посещения точек на критическом аттракторе. Символическая динамика в критической точке. Сигма-функция. Спектр Фурье. О переходе к хаосу через удвоения периода в реальных системах и моделях в виде дифференциальных уравнений. Переमेжаемость. Перемежаемость типа I: примеры, теория. Ренормгрупповой подход к анализу перемежаемости. Квазипериодическая динамика и переход к хаосу в отображении окружности. Динамика отображения окружности. Цепные дроби. Уравнение РГ: общий случай. РГ анализ критической точки, отвечающей золотому среднему. Критическая динамика и свойства скейлинга в случае числа вращения заданного золотым средним. Критический аттрактор GM. Скейлинг на критической линии. Скейлинг языков Арнольда на плоскости параметров.
2. Практические занятия		
2.1	Основные понятия стохастических и хаотических систем	Практика моделирования математических моделей одномерных отображений: зуб пилы, логистическое отображение, тент отображение. Моделирование системы Лоренца. Оценка результата моделирования на предмет появления хаотического поведения. Влияние параметров систем на возникновение бифуркаций и переход к хаосу
2.2	Параметры для оценки стохастических и хаотических систем	Практика моделирования и численного расчета ляпуновских показателей. Зависимость ляпуновского показателя от параметров динамической системы.
2.3	Фракталы и размерность динамических систем	Практика моделирования фракталов и вычисления их параметров
2.4	Обработка реализаций динамических систем со стохастическими и хаотическими свойствами	Практика обработки и вычисления параметров хаотической системы по реализации
2.5	Сценарии перехода к хаосу, критические точки и линии	Практика построения бифуркационных диаграмм

13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (часов)				
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1.1 2.1	Основные понятия стохастических и хаотических систем	3		3	10	16
1.2 2.2	Параметры для оценки стохастических и хаотических систем	3		3	10	16
1.3 2.3	Фракталы и размерность динамических систем	2		2	10	14
1.4 2.4	Обработка реализаций динамических систем со стохастическими и хаотическими свойствами	2		2	10	14
1.5 2.5	Сценарии перехода к хаосу, критические точки и линии	2		2	8	12
	Итого:	12		12	48	72

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Лекционные занятия имеют целью формирование теоретических знаний. Конспектирование лекций ведется в специально отведенной для этого тетради, где необходимо записывать тему и план лекций, рекомендуемую литературу к теме. Необходимо обращать внимание на категории, формулировки, раскрывающие содержание тех или иных понятий, а также задавать преподавателю уточняющие вопросы, участвовать в диалогах и дискуссиях, организуемых преподавателем с целью выявления опорных знаний слушателей и организации осознанного усвоения преподаваемого материала.

При использовании дистанционных образовательных технологий и электронного обучения выполнять все указания преподавателей, вовремя подключаться к онлайн-занятиям, ответственно подходить к выполнению заданий для самостоятельной работы.

Практическое задание имеет целью углубление теоретических знаний, овладение определенными методами самостоятельной работы, формирование практических умений, профессиональных и специальных компетенций обучающихся, предусмотренных программой дисциплины. С целью подготовки к выполнению практических заданий необходимо изучить конспект лекции и рекомендованные преподавателем источники информации, выполнить подготовительную самостоятельную работу по соответствующей теме.

При подготовке к аттестации рекомендуется пользоваться материалами лекции и практических занятий и материалами, изученными в ходе текущей самостоятельной работы. Аттестация проводится в устной или письменной форме.

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

а) основная литература:

№ п/п	Источник
	Многоликий хаос / Е.Ф. Мищенко [и др.] ; Моск. гос. ун-т им. М.В. Ломоносова .— Москва : Физматлит, 2012 .— 429 с. : ил., портр. — Библиогр.: с.420-429 .— ISBN 978-5-9221-1423-3.
	Заславский, Георгий Моисеевич. Гамильтонов хаос и фрактальная динамика = Hamiltonian Chaos and Fractional Dynamics / Г.М. Заславский ; пер. с англ. под науч. ред. А.Ю. Лоскутова .— М. ; Ижевск : Институт Компьютерных Исследований : Региональная и хаотическая динамика, 2010 .— 435 с. : ил. — Библиогр.: с.437-452 .— Предм.указ.: с.453-455 .— ISBN 978-5-93972-834-8.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
	Стеценко, Екатерина Александровна. Концепты хаоса и порядка в литературе США: от дихотомической к синергетической картине мира / Е.А. Стеценко ; Рос. акад. наук, Ин-т мировой лит. им. А.М. Горького .— М. : ИМЛИ РАН, 2009 .— 258 с. — Рез. англ. — Указ. имен: с. 254-256 .— Библиогр. в примеч. в конце гл. — ISBN 978-5-9208-0344-3.
	Бычков, Юрий Александрович. Хаос в динамических системах. Классификационные модели. Аналитически-численный метод. Эквивалентные преобразования и вычислительные алгоритмы / Ю.А. Бычков, С.В. Щербаков ; С.-Петерб. гос. электротехн. ун-т "ЛЭТИ" им. В.И. Ульянова (Ленина) .— Изд. 2-е, перераб. — СПб. : Технолит, 2009 .— 313 с. : ил., табл. — Библиогр.: с. 307-310 .— ISBN 978-5-7629-0988-4.
	Сидоренко, Алевтина Васильевна. Информационные аспекты нелинейной динамики : курс лекций / А.В. Сидоренко .— Минск : БГУ, 2008 .— 122 с. : ил. — Библиогр.: с.120 .— ISBN 978-985-485-958-3.
	Райхл, Линда Е. Переход к хаосу в консервативных классических и квантовых системах = The transition to chaos conservative classical systems and quantum manifestations : [пер. с англ.] / Линда Е. Райхл ; под ред. А.В. Щепетилова .— М. ; Ижевск : Ин-т компьютерных исследований : Регулярная и хаотическая динамика, 2008 .— 756 с. : ил. — (Компьютинг в математике, физике, биологии / гл. ред. В.А.Садовничий) .— Библиогр.в конце гл. — Предм. указ. : с.[740]-756 .— ISBN 978-5-93972-704-4.

в) информационные электронно-образовательные ресурсы (официальные ресурсы интернет)*:

№ п/п	Ресурс
	Электронный университет ВГУ, URL: https://edu.vsu.ru/
	Электронная библиотека Зональной научной библиотеки Воронежского государственного университета : электронно-библиотечная система. — URL : https://lib.vsu.ru/zgate?lnit+elib.xml,simple+elib.xml+rus
	Электронно-библиотечная система "БиблиоТех" : электронно-библиотечная система. — URL : https://lib.vsu.ru/?p=4&t=2d&id=1486
	Электронно-библиотечная система BOOK.ru.(изд-во "КноРус") : электронно-библиотечная система. — URL : https://lib.vsu.ru/?p=4&t=2d&id=1436
	Электронно-библиотечная система "ZNANIUM.COM" (изд-во "ИНФРА-М") : электронно-библиотечная система. — URL : https://lib.vsu.ru/?p=4&t=2d&id=1360
	Электронно-библиотечная система ibook.ru : электронно-библиотечная система. — URL : https://lib.vsu.ru/?p=4&t=2d&id=1344
	Электронно-библиотечная система «КнигаФонд» : электронно-библиотечная система. — URL : https://lib.vsu.ru/?p=4&t=2d&id=1336
	Электронно-библиотечная система IQLib : электронно-библиотечная система. — URL : https://lib.vsu.ru/?p=4&t=2d&id=1310
	Электронно-библиотечная система "Издательство "Лань" : электронно-библиотечная система. URL : https://lib.vsu.ru/?p=4&t=2d&id=1308
	Электронно-библиотечная система "Университетская библиотека online": электронно-библиотечная система. URL : https://lib.vsu.ru/?p=4&t=2d&id=1307
	Электронно-библиотечная система "Консультант студента": электронно-библиотечная система. URL : https://lib.vsu.ru/?p=4&t=2d&id=1306
	Электронно-библиотечная система «ЮПАЙТ»: электронно-библиотечная система. URL : https://lib.vsu.ru/?p=4&t=2d&id=1457

16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы

Самостоятельная работа включает в себя программирование на высокоуровневом языке с целью выполнения практических заданий, а также как полностью самостоятельное освоение отдельных разделов дисциплины, так и проработку тем, осваиваемых во время

аудиторной работы. Во время самостоятельной работы обучающиеся читают и конспектируют учебную, научную и справочную литературу, выполняют задания, направленные на закрепление знаний и отработку умений и навыков, готовятся к текущему и промежуточному контролю по дисциплине.

№ п/п	Источник
1	Кузнецов, С.П. Динамический хаос : Курс лекций : Учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по физ. специальностям / С.П. Кузнецов. - М. : Физматлит, 2001. - 295 с.: ISBN 5-94052-044-8 http://sgtnd.narod.ru/pabl/rus/dc.htm
2	Основы программирования на языке Python : учебное пособие // / С. К. Буйначев, Н. Ю. Боклаг ; М-во образования и науки Российской Федерации, Уральский федеральный ун-т им. первого Президента России Б. Н. Ельцина, [Механико-машиностроительный ин-т]. - Екатеринбург : Изд-во Уральского ун-та, 2014. - 89 с. : табл.; 20 см.; ISBN 978-5-7996-1198-9 - URL : http://elar.urfu.ru/bitstream/10995/28769/1/978-5-7996-1198-9_2014.pdf

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

Открытая платформа работы с данными и среда программирования на языке Python. Anaconda Distribution. - URL : <https://www.anaconda.com/distribution/>

При реализации дисциплины могут использоваться технологии электронного обучения и дистанционные образовательные технологии на базе образовательного портала "Электронный университет ВГУ" по адресу edu.vsu.ru, а также другие доступные ресурсы сети Интернет.

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Занятия могут вестись дистанционно и в аудитории. Для дистанционных занятий необходимо наличие у студентов компьютера с выходом в интернет и гарнитурой или другого устройства позволяющего использовать дистанционные образовательные технологии. Для аудиторных занятий необходимо типовое оборудование аудитории.

19. Фонд оценочных средств:

19.1. Перечень компетенций с указанием этапов формирования и планируемых результатов обучения

Код и содержание компетенции (или ее части)	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенции посредством формирования знаний, умений, навыков)	Этапы формирования компетенции (разделы (темы) дисциплины или модуля и их наименование)	ФОС* (средства оценивания)
ОПК-3 способность к свободному владению знаниями фундаментальных разделов стохастических колебаний, необходимых для решения	Знать: математический аппарат, описывающий поведение хаотических систем; основные законы и понятия фундаментальных разделов стохастических колебаний в области своей специализации; основные методы стохастических колебаний, в том числе применяемые для анализа	Основные понятия стохастических и хаотических систем. Параметры для оценки стохастических и хаотических систем. Фракталы и размерность динамических систем. Обработка реализаций динамических систем со стохастическими и	Вопросы 1 – 14 по соответствующим разделам дисциплины

научно-исследовательских задач	поведения сложных систем.	хаотическими свойствами. Сценарии перехода к хаосу, критические точки и линии.	
	Уметь: осуществлять математическую постановку исследуемых задач; применять различные численные и аналитические методы стохастических колебаний для решения научно-исследовательских задач	Основные понятия стохастических и хаотических систем. Параметры для оценки стохастических и хаотических систем. Фракталы и размерность динамических систем. Обработка реализаций динамических систем со стохастическими и хаотическими свойствами. Сценарии перехода к хаосу, критические точки и линии.	Практическое задание
	владеть (иметь навык(и)): математическим аппаратом для решения специфических задач в области стохастических колебаний; методами решения задач стохастических колебаний в области своей специализации; методами разработки математических моделей хаотических систем	Основные понятия стохастических и хаотических систем. Параметры для оценки стохастических и хаотических систем. Фракталы и размерность динамических систем. Обработка реализаций динамических систем со стохастическими и хаотическими свойствами. Сценарии перехода к хаосу, критические точки и линии.	Практическое задание
ПК-1 способность использовать в своей научно-исследовательской деятельности знание современных проблем и новейших достижений стохастических колебаний	Знать:знать: актуальные проблемы стохастических колебаний и новейшие достижения в данной области	Основные понятия стохастических и хаотических систем. Параметры для оценки стохастических и хаотических систем. Фракталы и размерность динамических систем. Обработка реализаций динамических систем со стохастическими и хаотическими свойствами. Сценарии перехода к хаосу, критические точки и линии.	Вопросы 1 – 14 по соответствующим разделам дисциплины
	Уметь:уметь: анализировать научно-техническую информацию и обобщать отечественный и зарубежный опыт с целью использования в своей научно-исследовательской деятельности	Основные понятия стохастических и хаотических систем. Параметры для оценки стохастических и хаотических систем. Фракталы и размерность динамических систем. Обработка реализаций динамических систем со стохастическими и хаотическими свойствами. Сценарии перехода к хаосу, критические точки и линии.	Практическое задание
	Владеть:владеть: опытом	Основные понятия	Практическое

	применения знаний современных проблем и достижений стохастических колебаний при решении исследовательских задач	стохастических и хаотических систем. Параметры для оценки стохастических и хаотических систем. Фракталы и размерность динамических систем. Обработка реализаций динамических систем со стохастическими и хаотическими свойствами. Сценарии перехода к хаосу, критические точки и линии.	задание
ПК-2 способность самостоятельно ставить научные задачи в области стохастических колебаний и решать их с использованием современного оборудования и новейшего отечественного и зарубежного опыта	Знать: основы методологии научной работы в области стохастических колебаний и применение их в теории и эксперименте	Основные понятия стохастических и хаотических систем. Параметры для оценки стохастических и хаотических систем. Фракталы и размерность динамических систем. Обработка реализаций динамических систем со стохастическими и хаотическими свойствами. Сценарии перехода к хаосу, критические точки и линии.	Вопросы 1 – 14 по соответствующим разделам дисциплины
	Уметь: формулировать новые научные задачи, возникающие в ходе исследований, анализировать результаты и, при необходимости, корректировать направление исследований	Основные понятия стохастических и хаотических систем. Параметры для оценки стохастических и хаотических систем. Фракталы и размерность динамических систем. Обработка реализаций динамических систем со стохастическими и хаотическими свойствами. Сценарии перехода к хаосу, критические точки и линии.	Практическое задание
	Владеть: навыком использования современного оборудования в решении исследовательских задач	Основные понятия стохастических и хаотических систем. Параметры для оценки стохастических и хаотических систем. Фракталы и размерность динамических систем. Обработка реализаций динамических систем со стохастическими и хаотическими свойствами. Сценарии перехода к хаосу, критические точки и линии.	Практическое задание

19.2 Описание критериев и шкалы оценивания компетенций (результатов обучения) при промежуточной аттестации

- Для оценивания результатов обучения на экзамене используются следующие показатели:
- 1) знание учебного материала и владение понятийным аппаратом стохастических колебаний;
 - 2) умение связывать теорию с практикой;
 - 3) умение иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований в области хаотической динамики и стохастических колебаний;
 - 4) умение применять свои знания для решения практических задач в областях, связанных со стохастическими колебаниями;

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
Обучающийся в полной мере или частично владеет теоретическими основами и понятийным аппаратом в области хаотической динамики и стохастических колебаний, частично способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований, способен применять теоретические знания для решения практических задач в областях связанных со стохастическими колебаниями	Пороговый уровень	Зачтено
Обучающийся демонстрирует отрывочные, фрагментарные знания, допускает грубые ошибки	–	Не зачтено

19.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы

19.3.1 Перечень вопросов к зачету:

1. Динамические системы и хаос: примеры систем в механике, статистической физике, теории колебаний, радиофизике, электронике, гидродинамике и математике.
2. Хаос в простых моделях динамических систем: одномерные и двумерные отображения.
3. Странные хаотические аттракторы. Динамика системы Лоренца.
4. Аналитическое исследование уравнений Лоренца. Бифуркации в модели Лоренца.
5. Хаос в реалистичных моделях физических систем: Автономные системы — электронные генераторы.
6. Сечение Пуанкаре. Подкова Смейла. Теорема Шильникова о петле сепаратрисы седло-фокуса.
7. Гомоклиническая структура. Связь гомоклинической структуры и подковы Смейла. Критерий Мельникова.
8. Функция распределения и инвариантная мера. Эргодичность и перемешивание.
9. Устойчивость и неустойчивость: устойчивость по Лагранжу, по Пуассону, по Ляпунову.
10. Ляпуновские показатели. Методы численной оценки ляпуновских показателей. Алгоритм вычисления старшего ляпуновского показателя.
11. Геометрия странных аттракторов и фрактальная размерность.
12. Размерность Хаусдорфа. Информационная размерность. Корреляционная размерность.
13. Сценарии перехода к хаосу. Сценарий Фейгенбаума.

14. Переमेжаемость: примеры, теория. Квазипериодическая динамика и переход к хаосу в отображении окружности.

19.3.2 Перечень практических заданий

1. Моделирование логистического отображения.
2. Моделирование и получение бифуркационной диаграммы
3. Численное моделирование системы Лоренца
4. Моделирование самоподобных структур

19.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

Оценка знаний, умений и навыков, характеризующая этапы формирования компетенций в рамках изучения дисциплины осуществляется в ходе текущей и промежуточной аттестаций.

Текущая аттестация проводится в соответствии с Положением о текущей аттестации обучающихся по программам высшего образования Воронежского государственного университета. Текущая аттестация проводится в форме тестирования. Критерии оценивания приведены выше.

Промежуточная аттестация проводится в соответствии с Положением о промежуточной аттестации обучающихся по программам высшего образования.

Контрольно-измерительные материалы промежуточной аттестации включают в себя теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень полученных знаний и практические задания, позволяющие оценить степень сформированности умений и навыков.

При оценивании используются качественные шкалы оценок. Критерии оценивания приведены выше.