

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
по дисциплине «ДЕТЕРМИНИРОВАННЫЙ ХАОС»
для специальности 013800 – Радиоп физика и электроника,
реализуемой на физическом факультете
Саратовского государственного университета

Введение. Понятие динамического хаоса. Динамический хаос и случайный процесс. Природа непредсказуемости в детерминированных системах. Возникновение и развитие теории динамического хаоса.

Тема 1. Краткая классификация динамических систем

1.1 Два подхода к определению динамической системы: дифференциальные уравнения и отображения. От дифференциальных уравнений к отображениям: построение сечения Пуанкаре. Автономные и неавтономные системы. Особенности неавтономных систем.

1.2 Консервативные и диссипативные системы. Общая характеристика консервативных и диссипативных систем. Предельные множества и аттракторы диссипативных систем. Классификация регулярных аттракторов потоков и отображений: неподвижные точки, циклы, торы.

1.3 Примеры систем с хаотической динамикой и их физическая реализация (механика, электроника, лазерная физика, биология). Логистическое отображение, отображение Хенона, отображение «кот Арнольда», нелинейный осциллятор с внешним воздействием, модель Лоренца, модель Ресслера, генератор с инерционной нелинейностью, цепь Чуа. Качественное обсуждение динамики этих систем.

Тема 2. Свойства и количественные характеристики хаоса

2.1 Устойчивость и неустойчивость. Устойчивость по Пуассону и возвраты Пуанкаре. Устойчивость по Ляпунову. Ляпуновские показатели фазовой траектории на хаотическом аттракторе (в случае систем с непрерывным и дискретным временем). Спектр ляпуновских характеристических показателей (спектр ЛХП). Классификация аттракторов по сигнатуре спектра ЛХП.

2.2 Функция распределения и инвариантная мера. Свойство эргодичности динамической системы. Автокорреляционная функция и спектр мощности колебаний. Перемешивание и энтропия Колмогорова, ее связь с ЛХП.

Тема 3. Геометрия странных аттракторов и их размерности

3.1 Фракталы. Классификация фракталов. Примеры фракталов: Канторово множество, снежинка Коха, ковер и салфетка Серпинского, отображение Жюлиа, отображение Мандельброта. Скейлинг и фрактальная структура – типичные свойства большинства хаотических аттракторов (примеры).

3.2 Размерности аттракторов. Фрактальная размерность — емкость (пример: расчет фрактальной размерности для Канторова множества). Информационная размерность. Корреляционная размерность и алгоритм Грассбергера-Прокачиа. Обобщенная размерность. Ляпуновская размерность. Соотношение между размерностями.

Тема 4. Сценарии перехода к хаосу

4.1 Общая дискуссия о сценариях перехода к хаосу. Задача о потере устойчивости предельного цикла: три типичных варианта. Качественное обсуждение удвоений периода, перемежаемости и перехода через квазипериодичность. Исторические замечания: от теории Ландау к Рюэлю - Такенсу, Фейгенбауму и др. Экспериментальное наблюдение различных сценариев.

4.2 Переход к хаосу через удвоения периода циклов (сценарий Фейгенбаума). Логистическое отображение как основная модель. Циклы и бифуркации. Бифуркационная диаграмма (дерево Фейгенбаума). Свойства скейлинга в пространстве состояний и в пространстве параметров. Универсальные константы Фейгенбаума. Динамика в закритической области. Окна устойчивости периодических режимов. Теорема Шарковского. Бифуркации связанности и их универсальные характеристики.

4.3 Переход к хаосу через перемежаемость (сценарий Помо – Манневиля). Перемежаемость типа I: ламинарные и турбулентные стадии, скейлинговые соотношения для продолжительности ламинарных стадий. Примеры: система Лоренца и логистическое отображение.

4.4 Переход к хаосу через квазипериодические колебания. Сценарий Рюэля - Такенса и его модификации. Переход к хаосу через разрушение двумерного тора, необходимость двухпараметрического анализа. Отображение окружности, его динамика, бифуркации режимов. Карта динамических режимов на плоскости параметров для отображения окружности. Число вращения. Языки Арнольда. Структура языков вблизи критической ситуации потери обратимости отображения.

Тема 5. Динамический хаос в присутствии флуктуаций

5.1 Влияние флуктуаций как неопределенность в задании начальных условий (пример — связанные логистические отображения). Уравнение Ланжевена. Реакция гиперболических систем на воздействие внешнего шума. Отображение Лози и система Лоренца.

5.2 Влияние флуктуаций на системы с квазиаттрактором: сдвиг бифуркационной диаграммы, индуцированные шумом фазовые переходы. Отображение Эно, кубическое отображение, генератор с инерционной нелинейностью Анищенко-Астахова. Модуляционная перемежаемость в ГИН.

Тема 6. Синхронизация хаоса. Управление хаосом

6.1 Определение синхронизации. Механизмы синхронизации. Обобщенная синхронизация.

6.2 Полная и частичная синхронизации хаоса и их количественные характеристики.

6.3 Синфазная (противофазная) хаотическая синхронизация. Lag-синхронизация.

6.4 Управление хаосом. Метод OGY. Применение метода управления хаосом для связанных систем Чуа.

Перечень основной и дополнительной литературы

Основная

1. В.С.Анищенко, Т.Е.Вадивасова, В.В.Астахов. Нелинейная динамика хаотических и стохастических систем. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1999.
2. С.П.Кузнецов. Динамический хаос. М.: Физматлит, 2001.
3. В.С. Анищенко, Т.Е. Вадивасова. Лекции по нелинейной динамике. Изд-во Саратов. ун-та, 2010.
4. В.С.Анищенко, В.В.Астахов, Т.Е. Вадивасова, А.Б. Нейман, Г.И. Стрелкова, Л. Шиманский-Гайер. Нелинейные эффекты в хаотических и стохастических системах. Инст. Комп. Иссл. Ижевск — Москва. 2003.
5. В.С. Анищенко. Знакомство с нелинейной динамикой. Изд-во УРСС, 2008.

Дополнительная

1. Г. Шустер. Детерминированный хаос. М.: Мир, 1988.
2. Ф.Мун. Хаотические колебания. М.: Мир, 1988.
3. М.И.Рабинович, Д.И.Трубецков. Введение в теорию колебаний и волн. М.: Наука, 1984.