

УДК 530.1:621.372+621.396

А 00

ББК 00.00

Антипов О.И., Неганов В.А.

А 00 Бифуркации, катастрофы, синергетика, фракталы и нейронные сети в физических, биологических и экономических системах: учебное пособие – Самара: ПГУТИ, 2013. – 252с.

ISBN 000-0-00000-000-0

Учебное пособие предназначено для аспирантов, обучающихся по специальности 01.04.03 – Радиофизика и посвящено освещению вопросов четвертого пункта паспорта специальности, согласно его последней редакции. Один из авторов защитил докторскую диссертацию по данной специальности в физико-математической отрасли, а второй автор, будучи доктором физико-математических наук по данной специальности, уже не первый десяток лет возглавляет диссертационный совет по нескольким специальностям, в том числе и по радиофизике.

В пособии приведены не только теоретические сведения из наиболее известных источников, уже ставших на данный момент классикой, но и примеры из практики авторов по применению освещенных подходов, теорий, гипотез и методов к системам из различных областей науки и техники. В частности, приведен пример моделирования такой дискретно-нелинейной системы, как импульсный стабилизатор напряжения инвертирующего типа и приведен ее полный фрактальный и мультифрактальный анализ. Рассмотрены кризисы-катастрофы в экономических временных рядах и приведен авторский метод прогнозирования экономических кризисов на фьючерсных нефтяных рынках. Также показаны возможности применения фрактального подхода в виде авторских модификаций известных фрактальных методов и алгоритмов их применения для таких биологических систем, как желудочно-кишечный тракт и мозг человеческого организма с целью диагностирования отклонений в их функционировании.

Учебное пособие будет полезным не только для аспирантов, обучающихся по специальности радиофизика, но и для всех научных сотрудников, докторантов и студентов, интересующихся вопросами исследования неравновесных самоорганизованных систем. Данный класс систем присутствует во множестве отраслей науки и техники, в том числе не только в естественнонаучных но и в гуманитарных отраслях.

ISBN 000-0-00000-000-0

УДК 530.1:621.372+621.396

ББК 00.00

© Антипов О.И., Неганов В.А., 2013

© Издательство ПГУТИ, 2013

Содержание

Введение.....	3
Список используемых сокращений.....	7
Глава 1. Бифуркации и кризисы нелинейных динамических систем	8
1.1. Основы динамического и статистического описания эволюционных процессов в динамических системах	8
1.1.1. Фазовые портреты динамических систем.....	10
1.1.2. Устойчивость (линейное приближение).....	15
1.1.3. Линейный анализ устойчивости.....	17
1.1.4. Устойчивость состояний равновесия.....	19
1.1.5. Устойчивость квазипериодических решений.....	22
1.2. Бифуркации динамических систем.....	23
1.2.1. Седло-узловые бифуркации коразмерности один.....	24
1.2.2. Бифуркация коразмерности два – трехкратное равновесие.....	24
1.2.3. Бифуркация Андронова-Хопфа.....	26
1.2.4. Бифуркации предельных циклов.....	28
1.2.5. Седло-узловая бифуркация.....	28
1.2.6. Бифуркация удвоения периода.....	28
1.2.7. Бифуркация рождения (исчезновения) двумерного тора (бифуркации Неймарка).....	29
1.3. Задачи для самостоятельного решения.....	31
Глава 2. Катастрофы, аттракторы и кризис.....	32
2.1. Краткие сведения из теории катастроф.....	32
2.1.1. Теория особенностей Уитни.....	32
2.1.2. Применение теории Уитни. Машина катастроф.....	34
2.1.3. Бифуркации положений равновесия.....	37
2.1.4. Каустики, волновые фронты и их метаморфозы.....	40
2.1.5. Особенности в задачах оптимизации: функция максимума.....	47
2.1.6. Теория катастроф применительно к развитию общества.....	49
2.2. Аттракторы динамических систем. Кризис.....	51
2.2.1. Регулярные аттракторы.....	52
2.2.2. Грубые гиперболические аттракторы.....	53
2.2.3. Квазигиперболические аттракторы. Аттракторы типа Лоренца.....	55
2.2.4. Негиперболические аттракторы.....	55
2.2.5. Странные нехаотические и хаотические нестранные аттракторы.....	56
2.2.6. Кризис в динамической системе.....	57
2.3. Задачи для самостоятельного решения.....	58

Глава 3. Бифуркационные механизмы перехода к хаосу (кризисы) в динамических системах и синергетика	59
3.1. Потеря устойчивости равновесных и автоколебательных режимов	60
3.2. Переход к хаосу через последовательность бифуркаций удвоения периода. Универсальность Фейгенбаума	66
3.3. Жесткий переход к хаосу. Сценарий Помо-Манневиля через перемежаемость	73
3.4. Переход к хаосу через разрушение двухчастотных колебаний (сценарий Рюэля-Такенса-Ньюхауса)	76
3.5. Бифуркации-кризисы в динамических системах, катастрофы и синергетика	80
3.6. Хаос и турбулентность	82
3.7. Задачи для самостоятельного решения	82
Глава 4. Стохастические и фрактальные шумы в динамических системах	83
4.1. Стохастические шумы	83
4.1.1. Уравнения Ланжевена	84
4.1.2. Гауссовы процессы	86
4.1.3. Винеровский процесс	86
4.1.4. Белый гауссовский шум	87
4.1.5. Пуассоновский процесс	89
4.1.6. Дробовой белый шум	90
4.1.7. Цветной шум: процесс Орнштейна-Уленбека	91
4.1.8. Цветной шум: марковский дихотомический или случайный телеграфный процесс	92
4.1.9. Дифференциальная форма уравнения Чепмена-Колмогорова	93
4.1.10. Задача о выходе из ограниченной области	94
4.1.11. Перспективы применения моделей шумов	95
4.2. Фрактальные шумы	65
4.2.1. Самоподобные степенные законы	96
4.2.2. Фрактальный метод нормированного размаха Херста (R/S-анализ)	97
4.2.3. Классификация фрактальных шумов	98
4.2.4. Розовый шум	100
4.2.5. Самоподобные тенденции на фондовой бирже (коричневый шум)	103
4.2.6. Черные шумы и разливы Нила	104
4.2.7. Угроза глобального потепления (черный шум)	105
4.2.8. Дробное интегрирование – современный инструмент математического анализа	107
4.2.9. Оценка вероятности дохода банков	108
4.3. Задачи для самостоятельного решения	110

Глава 5. Фрактальная размерность и мультифрактальность	112
5.1. Фрактальная размерность.....	112
5.1.1. Введение в теорию фракталов	112
5.1.2. Общее понятие фрактальной размерности.....	113
5.1.3. Основные обобщенные фрактальные размерности и спектр Реньи.....	117
5.1.4. Основные свойства размерности Хаусдорфа и информационной размерности.....	120
5.1.5. Корреляционная размерность и метод Грассбергера-Прокаччиа.....	121
5.1.6. Размерность подобия и ее экспериментальное определение.....	122
5.1.7. Практическое определение фрактальной размерности для кривой фазовой траектории и неровной поверхности.....	124
5.1.8. Особенности вычисления поточечной фрактальной размерности для временных рядов	127
5.1.9. Дисперсионная размерность.	129
5.1.10. Размерность по максимумам и способы ее нахождения.....	132
5.1.11. Практическое определение хаотичности работы и наличия странного аттрактора	135
5.1.12. Насколько полезна фрактальная размерность	137
5.2. Мультифрактальный скейлинг-спектр и показатель массы.....	137
5.2.1. Введение в мультифрактальные меры.....	137
5.2.2. Последовательность показателей массы	138
5.2.3. Функция мультифрактального спектра	141
5.2.4. Геометрические свойства мультифрактального скейлинг-спектра.....	144
5.3. Канторовское множество и чёртова лестница.....	147
5.3.1. «Чёртова лестница» канторовского множества	147
5.3.2. «Чёртова лестница» мультипликативного процесса	150
 Глава 6. Пример применения фрактальных и мультифрактальных мер детерминированного хаоса к физическим системам.....	 151
6.1. Построение математической модели инвертирующего ИСН.....	151
6.1.1. Особенности моделирования импульсных стабилизаторов напряжения.....	151
6.1.2. Вывод уравнений состояния импульсного стабилизатора напряжения инвертирующего типа с учетом активных потерь.....	152
6.1.3. Построение математической модели работы ИСН-3 в режиме управления по току дросселя.....	156
6.2. Применение фрактальных мер к ИСН-3.....	159
6.2.1. Особенности построения бифуркационные диаграммы ИСН-3 с учетом активных потерь.....	159
6.2.2. Спектр Реньи ИСН-3 с учетом активных потерь.....	159
6.2.3. Эволюция странного аттрактора ИСН-3 с точки зрения размерностей Реньи.....	164
6.3. Применение мультифрактальных мер к ИСН-3.....	166

6.3.1. Показатель массы для аттрактора ИСН-3.....	166
6.3.2. Мультифрактальный сингулярный скейлинг-спектр и показатель Липшица-Гёльдера для странных аттракторов ИСН-3.....	168
6.3.3. Чёртова лестница странного аттрактора ИСН-3.....	169
6.3.4. Основные результаты применения мультифрактальных мер к импульсным стабилизаторам напряжения.....	173
6.4. Скейлинг структуры аттракторов импульсного стабилизатора напряжения инвертирующего типа.....	174
6.4.1. Диссипативные системы и скейлинг.....	174
6.4.2. Параметры модели импульсного стабилизатора напряжения инвертирующего типа для синтеза аттракторов с геометрическим самоподобием.....	176
6.4.3. Геометрическое самоподобие поверхности сечения.....	177
6.4.4. Вертикальный скейлинг отображения Пуанкаре для выходного напряжения инвертирующего импульсного стабилизатора.....	177
6.4.5. Масштабная инвариантность отображения Пуанкаре для тока дресселя инвертирующего импульсного стабилизатора.....	179
6.4.6. Итоги применения фрактальных и мультифрактальных мер к инвертирующему ИСН.....	181

Глава 7. Реконструкция динамических систем по фрактальным временным рядам с помощью нейронных сетей.....182

7.1. Реконструкция динамических систем в приближении «черного» ящика.....	182
7.2. Одномерный временной ряд как n -мерная реконструкция аттрактора динамической системы.....	184
7.3. Методы выбора временного лага.....	185
7.3.1. Метод автокорреляционной функции	186
7.3.2. Метод взаимной информации	186
7.3.3. Модифицированный метод взаимной информации	187
7.3.4. Метод, основанный на вычислении спектра мощности.....	187
7.3.5. Метод среднего отклонения	188
7.3.6. Применение модификации метода Грассбергера-Прокаччиа к выявлению временного лага дискретно-нелинейных систем.....	188
7.3.7. Применение модифицированного метода ложных ближайших соседей к выявлению временного лага дискретно-нелинейных систем.....	189
7.3.8. Применение метода нормированного размаха Хёрста к выявлению «фазового сдвига» дискретно-нелинейных систем.....	190
7.3.9. Алгоритм нахождения величины временной задержки для хаотических сигналов порожденных дискретно-нелинейными системами.....	190
7.4. Построение предсказывающих нейронных сетей динамической системы на основе ее предварительного фрактального анализа.....	192
7.4.1. Выбор структуры предсказывающей НС... ..	192
7.4.2. Выбор функций активации нейронов ПНС и предварительная обработка	

данных.....	195
7.4.3. Выбор количественных характеристик ПНС.....	195
7.4.4. Обучение полученных сетей.....	197
7.4.5. Восстановление аттракторов.....	197
7.4.6. Полный алгоритм предварительного фрактального анализа временных рядов.....	202

Глава 8. Применение фрактальных методов детерминированного хаоса к экономическим и биологическим системам.....203

8.1. Основные методы фрактального анализа.....	203
8.1.1. Метод восстановления фазового пространства и теорема Такенса.....	203
8.1.2. Метод Грассбергера-Прокаччиа для вычисления корреляционного интеграла.....	204
8.1.3. Некоторые практические аспекты и оценка Экмана-Рюэля.....	206
8.1.4. Вычисление корреляционной размерности и размерности пространства вложения для ИСН.....	206
8.1.5. Метод ложных ближайших соседей.....	209
8.2. Применение методов фрактального анализа к экономическим системам.....	211
8.2.1. Исследуемые отношения Euro/USD.....	211
8.2.2. Сравнение количественных характеристик отношений Euro/USD.....	211
8.2.3. Качественный анализ различия ежеминутных и ежедневных значений отношения Euro/USD.....	214
8.2.4. Применение метода ЛБС для анализа отношения Euro/USD.....	214
8.2.5. Применение метода Грассбергера-Прокаччиа для анализа отношения Euro/USD.....	215
8.2.6. Итоги применения фрактальных мер к отношению Euro/USD.....	215
8.3. Применение фрактальных методов к выявлению глобальных экономических кризисов.....	219
8.3.1. Временные экономические зависимости, позволяющие выявить глобальный кризис.....	219
8.3.2. Применение метода нормированного размах к анализу возникновения кризиса.....	221
8.3.3. Применение метода Грассбергера-Прокаччиа для анализа кризиса.....	223
8.3.4. Оценка точности результатов, полученных методом Грассбергера-Прокаччиа и оценка Экмана-Рюэля.....	225
8.3.5. Применение метода ЛБС к ценам на нефть-сырец.....	226
8.3.6. Модификация метода ЛБС применительно к анализу цен на энергоносители.....	228
8.3.7. Основные итоги применения фрактальных методов к выявлению глобальных экономических кризисов.....	230
8.4. Применение различных фрактальных мер детерминированного хаоса к анализу электроэнцефалограмм при полисомнографии.....	230

8.4.1. Введение в проблематику современной сомнологии.....	231
8.4.2. Некоторые сведения из клинической электроэнцефалографии.....	232
8.4.3. Постановка задачи разработки метода автоматизированного распознавания стадий сна.....	233
8.4.4. Аппроксимационная энтропия для коротких временных рядов.....	234
8.4.5. Результаты применения фрактальных методов к анализу ЭЭГ сигналов.....	234
Список литературы.....	238

ЭБС ПШУТИ