

Федеральная целевая программа
«Государственная поддержка интеграции высшего
образования и фундаментальной науки на 1997–2000 годы»

А.А. Потапов

ФРАКТАЛЫ В РАДИОФИЗИКЕ И РАДИОЛОКАЦИИ



Москва • «Логос» • 2002

УДК 530.1.537.86+621.396.96

ББК 22.311

П64

Потапов А.А.

П64 **Фракталы в радиофизике и радиолокации.** – М.: Логос, 2002. – 664 с.: ил.

ISBN 5-94010-137-2

Освещается современное состояние нового бурно развивающегося направления в теории детерминированного хаоса – теории фракталов в приложении к радиофизике и радиолокации. Дано введение в теорию фракталов. Рассмотрены диффузионные процессы во фрактальных пространствах, описания фрактальных поверхностей, методы решения задач дифракции волн на фрактальной поверхности и во фрактальных средах, самоподобие турбулентности, молний, дождей, облаков, атмосферных аэрозолей, сложных систем, пространственных структур геосистем в дистанционном зондировании, современные фрактальные антенны и их синтез, пути решения проблем нетрадиционной фрактальной обработки изображений при различных отношениях сигнал/шум и обнаружения малоконтрастных объектов, подходы к фрактальному моделированию в космической радиофизике и космологии. В основу изложения положен общий подход, опирающийся на идеи фрактальной геометрии, дробного интегродифференцирования и размерностей дробного порядка.

Для физиков, математиков, интересующихся проблемой фракталов в радиофизике и радиолокации. Может использоваться в учебном процессе высших учебных заведений при подготовке специалистов и магистров по направлениям и специальностям «Прикладная математика и физика», «Радиофизика».

ББК 22.311

Издание осуществлено при финансовой поддержке Федеральной целевой программы «Государственная поддержка интеграции высшего образования и фундаментальной науки на 1997–2000 годы»

ISBN 5-94010-137-2

© Центр «Интеграция», 2002

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
Глава первая. ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ФРАКТАЛОВ.....	11
1.1. Меры фрактальной размерности.....	11
1.2. Стохастическое описание мультифракталов	29
1.3. Вычисление на ЭВМ некоторых фрактальных размерностей	33
1.4. Экспериментальное определение фрактальных размерностей	43
1.5. Эмпирический закон Херста для временных рядов	50
Глава вторая. СЛУЧАЙНЫЕ ФРАКТАЛЫ И ДИФFUЗИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ.....	54
2.1. Фрактальный анализ сигналов	54
2.2. Интегралы и производные дробного порядка во фрактальной геометрии....	69
2.3. Диффузия во фрактальных пространствах	77
Глава третья. ИССЛЕДОВАНИЕ ФРАКТАЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ.....	95
3.1. Пространственные спектры мощности поверхностей	95
3.2. Фрактальные размерности параметров окружающей среды	101
3.3. Фрактальные размерности микроповерхностей	103
3.4. Морская поверхность как фрактальная структура	110
Глава четвертая. ОСНОВЫ ТЕОРИИ РАССЕЯНИЯ ВОЛН ФРАКТАЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ.....	119
4.1. Модель с фрактальными высотами неровностей	119
4.2. Радиолокационные рассеивающие характеристики в модели с фрактальными высотами неровностей	130
4.3. Модель с фрактальными наклонами неровностей	136
4.4. Индекс мерцаний при рассеянии волн экраном с фрактальными наклонами	151
4.5. Фрактоидная модель рассеяния волн	161
4.6. Обобщенное рэлеевское решение задачи рассеяния волн фрактальной поверхностью	173
4.7. Индикатрисы рассеяния фрактальных поверхностей в приближении Кирхгофа	187
4.8. Рассеяние импульсов фрактальной поверхностью	198
Глава пятая. АНАЛИЗ САМОПОДОБИЯ ПРИ ОПИСАНИИ ТУРБУЛЕНТНОСТИ, ГИДРОМЕТЕОРОВ, МОЛНИЙ И АТМОСФЕРНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ.....	210
5.1. Фрактальность турбулентности.....	210
5.2. Фрактальные модели дождей и облаков	226
5.3. Компьютерное моделирование фракталами молний в атмосфере.....	238

5.4. Экспериментальное моделирование фрактальных аэрозолей и аэрогелей	244
--	-----

Глава шестая. РАСПРОСТРАНЕНИЕ ВОЛН ВО ФРАКТАЛЬНЫХ СРЕДАХ 259

6.1. Плоская волна в среде с фрактальной диэлектрической проницаемостью	259
6.2. Диапазонно ограниченная фрактальная модель флуктуаций коэффициента преломления тропосферы	264
6.3. Волновые взаимодействия в многослойной канторовской среде распространения	273
6.4. Дифракция плоской волны на диапазонно ограниченном фрактальном фазовом экране	290
6.5. Распространение гауссовского пучка излучения в диапазонно ограниченной фрактальной среде	303
6.6. Рассеяние звука объемными неоднородностями с фрактальным спектром в океане	317
6.7. Дифракция волн на фрактальных зазубренных апертурах	320
6.8. Рассеяние волн частицами неоднородной формы на основе фрактального приближения	331
6.9. Поглощение и рассеяние волн скоплениями фрактальных частиц дыма	351
6.10. Многократное рассеяние волн фрактальными средами	370
6.11. Теории катастроф и фракталов в случайных волновых полях	381

Глава седьмая. ФРАКТАЛЫ В МОДЕЛИРОВАНИИ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ, КОММУНИКАЦИЙ И АНТЕНН 389

7.1. Фрактальный анализ сложных компьютерных систем	389
7.2. Метод фрактальных графов в синтезе сложных систем	399
7.3. Фрактальный характер линий железнодорожной сети большого города	402
7.4. Фрактальные антенные решетки	406
7.5. Многодиапазонные фрактальные антенны Серпинского	412
7.6. Древовидные фрактальные антенны	421
7.7. Синтез фрактальных диаграмм направленности антенн	423
7.8. Моделирование поверхностного импеданса фрактальных структур	442

Глава восьмая. ФРАКТАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ПРОСТРАНСТВЕННЫХ СТРУКТУР ГЕОСИСТЕМ 444

8.1 Фрактальные размерности геосистем на основе космических и самолетных снимков	444
8.2. Самоподобные свойства зеленых насаждений в Москве	456
8.3. Анализ самоподобного фрактального множества морских льдов	459

Глава девятая. ЦИФРОВАЯ ФРАКТАЛЬНАЯ ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ	466
9.1. Фрактальные модели изображений земной поверхности.....	466
9.2. Анализ и синтез фрактальных карт местности.....	470
9.3. Сегментация текстур с помощью фрактального анализа.....	477
9.4. Фрактальная кластеризация данных дистанционного зондирования.....	484
9.5. Многоуровневая фрактальная модель для характеристики объектов.....	495
9.6. Детерминированный хаос в сигнатурах и радиолокационных изображениях земной поверхности.....	510
9.7. Стохастические сигналы и преобразование Радона в цифровом радиолокаторе с фрактальной обработкой информации.....	524
9.8. Фрактальное обнаружение и распознавание целей на изображениях земной поверхности.....	543
9.9. Фрактальное кодирование изображений.....	568
 Глава десятая. ФРАКТАЛЬНЫЕ СТРУКТУРЫ В КОСМИЧЕСКОЙ РАДИОФИЗИКЕ И КОСМОЛОГИИ	 585
10.1. Кластеризация во Вселенной.....	585
10.2. Модель структурной функции пространственного распределения галактик.....	589
10.3. Стохастический подход к кластеризации во Вселенной.....	593
10.4. Модификация тестов и алгоритма Мандельброта моделирования распределений галактик фрактального типа.....	603
10.5. Скейлинговые свойства флуктуаций космических лучей.....	608
10.6. Фрактальная модель солнечных пятен и роль кластеров в их эволюции.....	610
10.7. Фрактальные свойства турбулентности солнечного ветра и магнитных конфигураций.....	615
 ЗАКЛЮЧЕНИЕ	 621
 СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	 623