

А. А. Потапов (Москва, ИРЭ РАН). **О фрактальных флуктуациях СВЧ-радиоволн в поглощающей среде и об отрицательной фрактальной размерности.**

1. При распространении электромагнитных волн в атмосфере необходимо принимать во внимание турбулентность, вызывающую флуктуации показателя преломления. Особенность атмосферной турбулентности — ее многомасштабность и перемежаемость [1]. Принципиально новой идеей является идея о стохастизации турбулентности вследствие появления в ее фазовом пространстве странных аттракторов без требования случайности в начальных условиях, а также возникновение когерентных структур [1]–[5]. В современной теории турбулентности полагается, что вихревые слои свертываются в бесконечно сложные фрактальные структуры.

Интенсивное развитие теории фракталов в приложении к радиофизике и радиолокации [2]–[5] вызывает интерес получить на ее основе принципиально новые средства анализа процессов распространения и рассеяния радиоволн в атмосфере. В монографиях [2], [3] даны обзоры многих работ зарубежных авторов по обнаружению эффектов скейлинга, малоразмерного хаоса и фрактальности при описании турбулентности, гидрометеоров, молний, атмосферных аэрозолей, а также при распространении волн во фрактальных средах.

2. Автором совместно с представителями ЦКБ «Алмаз» в начале 80-х гг. XX в. проводились многомасштабные экспериментальные работы по созданию обширного банка данных пространственно-временных характеристик рассеяния миллиметровых волн. Наряду с этим был проведен и ряд натурных экспериментов по экспресс-анализу фрактальных флуктуаций (в то время это было экзотикой) сверхширокополосных и простых сигналов на миллиметровых и сантиметровых волнах в турбулентной тропосфере при стробировании дистанции по дальности [6].

Обработка показала, что в летнее время (температура воздуха 20° – 25°) на приземной трассе протяженностью около 150 м на высоте 10 м и длине волны излучения $\lambda = 8,6$ мм для амплитудных флуктуаций фрактальная размерность $D \approx 1,63$. Средняя скорость ветра при проведении натурных экспериментов равнялась $3 \pm 0,5$ м/с. В этом случае параметр Херста (коразмерность) $H \approx 0,37$. В случае радиолокационного зондирования фрактальная размерность повышалась до $D \approx 1,72$ ($H \approx 0,28$). При морозящем дожде фрактальная размерность амплитудных флуктуаций уменьшалась до значений порядка $D \approx 1,59$ ($H \approx 0,41$). Величина среднеквадратичного отклонения во всех случаях не превышала значения 0,02. В экспериментах никогда не фиксировались броуновские процессы с $D = 1,5$. Таким образом, в процессе наших натурных экспериментов наблюдались антиперсистентные процессы.

3. В моделях случайного каскада, позволяющих демонстрировать перемежаемость и получать нетривиальные скейлинговые законы при использовании преобразований Лежандра, часто возникают *отрицательные фрактальные размерности*. В рамках процедуры ренормализации по Крамеру это просто означает, что коразмерность H больше трех, и вероятность p_l встретить соответствующий скейлинг стремится к нулю быстрее, чем l^3 [1], [6]. Иначе говоря, отрицательную фрактальную размерность D можно понимать как параметр, управляющий скоростью разрежения последовательности множеств, сходящихся к пустому множеству.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проекты № 05–07–90349в, № 07–07–07005д, № 07–07–12054, № 07–08–00637а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фриш У. Турбулентность. Наследие А. Н. Колмогорова. М.: ФАЗИС, 1998, 346 с.
2. Потапов А. А. Фракталы в радиофизике и радиолокации. М.: Логос, 2002, 664 с.
3. Потапов А. А. Фракталы в радиофизике и радиолокации: Топология выборки. М.: Университетская книга, 2005, 848 с.

4. *Потапов А. А.* Фрактапы и хаос как основа новых прорывных технологий в современных радиосистемах. — Дополнение к кн.: *Кроновер Р.* Фрактапы и хаос в динамических системах. М.: Техносфера, 2006, с. 374–479.
5. *Потапов А. А., Гуляев Ю. В., Никитов С. А., Пахомов А. А., Герман В. А.* Новейшие методы обработки изображений М.: Физматлит, 2008, 496 с.
6. *Потапов А. А.* Стохастичность и фрактальность флуктуационной структуры электромагнитных волн СВЧ-, КВЧ- и ГВЧ-диапазонов, распространяющихся в тропосфере, метеорологических образованиях, пылевых бурях и взрывах. — *Нелинейный мир*, 2008, т. 6, № 2, с. 69–109.