аль-Хорезми (ТУИТ)
Тел.: +998 (90) 350-27-74
Эл. почта: yuriy.pisetskiy@mail.ru
**Мухамедаминов Азиз Одилжонович**
Ассистент кафедры аппаратного и программного обеспечения систем управления в телекоммуникациях (АПОСУТ) Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада ал-Хорезми (ТУИТ)
Тел.: +998 (94) 619-37-75
Эл. почта: azizusmonov1992@gmail.com

Pisetskiy Yu.V., Mukhamedaminov A.O.

**Construction of the United Network for Remote Monitoring Systems**

The article proposes the general structure of the corporate network for the monitoring system of hazardous industrial gases, which combines sensor modules for the definition of explosive gases and an executive device in the form of a central information collection unit. The monitoring network is built by radio. A corporate network linking monitoring systems to the server and the main organization is a set of modern telecommunication technologies.

The proposals on the construction of a modern control system based on the example of the power system will help optimally develop the necessary control network, using various communication lines.

**Keywords:** corporate networks, monitoring, sensors, explosive gases, radio channel, high-frequency communication channels, optical communication channels.

**Б.О. Туйчиев**

# ФРАКТАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН В ТРОПОСФЕРНОМ ВОЛНОВОДЕ

Цель настоящей работы состоит в построении математической модели процесса распространения плоских электромагнитных волн (сигналов) в тропосферной атмосфере прямой видимости с учетом фрактальности турбулентности и помех.

**Ключевые слова:** Фрактал, модель, распространение, электромагнит, тропосфера**,** волновод**,** турбулентность.

Обычно, при традиционном подходе решения задачи распространения электромагнитных волн (сигналов) в турбулентной атмосфере диэлектрическую проницаемость среды - $\mathcal{E}(x,y,z,t)$- полагают случайной величиной, а скалярное дифференциальное уравнение, описывающее распространение волн, случайным процессом. При этом систематическое решение уравнения отсутствует. Для решения задачи заранее предполагают известные законы распределения вероятностей случайной величины и случайного процесса (например, нормальный закон распределения, закон распределения Пуассона, Рэлея и др.), затем используя численные методы или методы имитационного моделирования (метод Монте-Карло) производят оценку статистических характеристик волнового поля (статистические характеристики распространяемого сигнала).

Принято считать, что эта функция фрактальная с размерностью D.

Моделирование флуктуаций показателя преломления n тропосферы функцией Вейерштрасса рассматривалось в работе [6]. В одномерном случае эта модель выглядят так:

$$n_1(z)=P_1\frac{\{2<n_f^2>\left[1-b^{2(D-2)}\right]\}^{1/2}}{\{1-b^{2(D-2)(N+1)}\}^{1/2}}\sum_{n=0}^{N} b^{2(D-2)n}\cos(2\pi b^{n_{z/L}}+\varphi_n), \quad (1)$$

где $\{2 < n_f^2 > [1-b^{2(D-2)}]\}^{1/2}\,[1-b^{2(D-2)(N+1)}]^{-1/2}$ – коэффициент нормализации; $P_1$ – определяет соотно-шение флуктуациями $<n_f^2>$ и флуктуациями

<$n_1^2$> в инерционном дисперрпо; b>1 - b>1 – параметр пространственно – частотного масштабирования; D – фрактальная размерность, применяемое значение 5/3 при одномерных флуктуациях; N+1 – число масштабов или интервалов в логарифмическом разбиении; $\varphi_n$ – произвольная фаза, равномерно распределенная на отрезке [0,2π]. В той же работе приведена трехмерная модель коэффициента применения тропосферы функция Вейерштрасса.

Нами для фрактальной модели диэлектрической проницаемости тропосферной атмосферы, зависящей от двух применениях, принята модифицирования функция Вейерштрасса следующего вида:

$$\varepsilon_1(z,t) = \sqrt{2}\tau \frac{[1-b^{2(D-3)}]^{1/2}}{[1-b^{2(D-3)(N+1)}]^{1/2}} \sum_{n=1}^{N-1} b^{(D-3)n} \sum_{m=1}^{M} \sum_{m=1}^{M} \sin\left\{K_0 b^N \left[Z\cos\left(\frac{2\pi m}{M}\right) + t\sin\left(\frac{2\pi m}{M}\right)\right] + \varphi_{nm}\right\}, \qquad (2)$$

где C – стандартное отклонение, b>1 – параметр пространственное – частотного масштабирования, 2<D<3 – фрактальная размерность, $K_0$ – волновое число, N и M – число гармоник, $\varphi_{nm}$ – произвольная фаза, t – время, z – пространственная координата. Выражение (2) вполне описывает флуктуации диэлектрической проницаемости тропосферной атмосферы.

**Фрактальная модель помехи.** Как известно, при распространении в атмосферных условиях (в тропосфере, в частности) радиоволны подвержены всякого рода посторонним помехам. Они являются случайными величинами или функциями. Обычно при анализе и синтезе сигналов помехи рассматривают как белый шум, статистические характеристики которого распределены нормально. В основе традиционного подхода к анализу случайных сигналов лежит спектрально-корреляционная теория с фундаментальной теоремой Винера-Хинчина. Однако, если случайный процесс является негауссовым, тогда полное статистической описание сигналов требует оценки моментов высших порядков с учетом многоточечных корреляций, что не всегда оправдывают себя. Альтернативным подходом является оценка фрактальных размерностей различных, связанных с процессом, геометрических объектов. Примером случайного процесса, обладающего фрактальными свойствами, является классический винеровский процесс броуновского движения. Траектория винеровского процесса обладает свойством масштабной инвариантности или скейлингом.

Рассмотрим гауссов случайный процесс с независимыми значениями шагов {ξ}. Приращение координаты броуновской частицы определится выражением

$$X(t) - X(t_0) \sim \xi\, |t-t_0|^{1/2},\ t \geq t_0 \qquad (3)$$

для любой пары моментов времени t и $t_0$. Из (3) можно определить координату X(t), по координате $X(t_0)$ выбирая случайное число ξ из гауссова распределения, умножая его на степень приращения времени $|t-t_0|$ и складывая результат с известной координатой $X(t_0)$. Таким образом, выражения (4) описывает классическое броуновское движение или случайную функцию.

На основе вигнеровского броуновского процесса Мандельброт ввел понятие обобщенного броуновского движения [1] заменой показателя в формуле [4] на любое действительное число из интервала 0<H<1. Случай H=1/2 соответствует независимым приращениям и описывает классическое броуновское движение. Показатель H называют показателем Херста, сведения по нему можно получить, например, в [5].

Обычно, при статистическом анализе сигналов с учетом помех считают, что они не зависят от пространственных координат, и зависят лишь только от времени, т.е. N(z,t)=N(t).

С точки зрения физического содержания этот подход на практике оправдывается. Таким образом, помеха в тропосферной атмосфере описывается функцией, зависящей от одной переменной времени t. Чтобы аппроксимировать помеху N(t) (случайная функция). С обобщенным броуновским движением $B_H(t)$ воспользуемся самоаффинностью фрактальной броуновской функции.

К самоафинным функциям относится и фрактальная функция Вейерштрасса-Мандельброта, которую мы рассмотрели ранее в выражении (1). Тогда, помеху можно аппроксимировать с помощь следующего выражения:

$$N(t)=\sqrt{2}\delta\frac{[1-b^{(2d-4)}]^{1/2}\sum_{n=0}^{N}b^{(D-2)n}\sin(2\pi Sb^{n}t+\varphi_n)}{[1-b^{(2d-4)(N+1)}]^{1/2}} \qquad (4)$$

где $\delta$ – стандартное отклонение, b,S – параметры пространственно-частотного масштабирования, D-фрактальная размер-ность, N+1 – количество гармоник, $\varphi_n$ – фаза, распределенная случайным образом на отрезки [0,2π], t – время.

Ɛ(z,t) – флуктуация диэлектрической проницаемости среды распространения; N(z,t) – помеха (шум); U(z,t) – плоская электромагнитная волна в точке приёма; φ(·) – оператор преобразования.

Допустим, что на тропосферную атмосферу падает плоская монохроматическая ЭМВ (электромагнитная волна), т.е. $U_0(z,t)=U_m\cos(\omega t-K_0z+\varphi_m)$. В процессе распространения по тропосфере эта ЭМВ подвергается возмущениям Ɛ(z,t) и N(z,t), которые определяются соотношениями (2) и (4) соответственно. В этом случае процесс распространения плоской ЭМВ в тропосфере можно описать следующим волновым уравнением:

$$\frac{\partial^2 U}{\partial z^2}-\frac{1}{v^2}\frac{\partial^2 U}{\partial t^2}=U_0(z,t)+N(z,t) \qquad (5)$$

где $v$ – скорость распространения плоской волны в тропосфере. Если принять во внимание $v=\frac{c}{\sqrt{\varepsilon\mu}}$ и $\mu=1$, $\varepsilon=1+\varepsilon_1$, то (6) можно переписать в виде:

$$\frac{\partial^2 U}{\partial z^2}-\frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 U}{\partial t^2}=\mathcal{E}_1(z,t)\frac{\partial^2 U}{\partial t^2}+U_0(t,t)+N(z,t)(t) \qquad (6)$$

В уравнение (6)

$$\frac{\partial^2 U}{\partial t^2}=U_m\omega^2\cos(\omega t-v-\varphi_m).$$

Тогда окончательно имеем:

$$\frac{\partial^2 U}{\partial z^2}-\frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 U}{\partial z^2}=U_0(z,t)-U_m\omega^2\cos(\omega t-\varphi_m)x\varepsilon_1(z,t)+N(z,t), \qquad (7)$$

где $\omega^2$- круговая частота, $k_0$- волновое число, $\varphi_m$ – фаза, c- скорость света.

Начальное и граничное условия из физического смысла задачи примем следующими:

$$\begin{cases} U(z,0)=0;\ U(z,0)=0; \quad U(0,t)=U_0\cos(\omega t+\varphi_0); \\ \frac{\partial U}{\partial t}=0; \qquad\qquad U(z,t)=U_1\cos(\omega t-K_0z+\varphi_1); \end{cases} \qquad (8)$$

Уравнения (7) решаем с помощью преобразования Лапласа по переменной t при нулевых начальных условиях.

После образования (8) по переменной t получаем новое уравнение

$$\frac{d^2U(z,p)}{dz^2}-\frac{p^2}{c^2}U(z,p)=U_0(z,p)-\varepsilon_1(z,p)+N(z,p) \quad (9)$$

и граничные условия

$$U_0(z,p)=0; \qquad U(0,p)=U_{m_0}\frac{P^2\cos\varphi_{m_0}-\omega P\sin\varphi_{m_0}}{P^2+\omega^2} \qquad (10)$$

$$\frac{dU(z,0)}{dt}=0; \qquad U(z,p)=U_1\frac{P^2\cos(K_0z+\varphi_1)+\omega P\sin(K_0z+\varphi_1)}{P^2+\omega^2}$$

Изображения Лапласа слагаемых, входящих в правую часть уравнения (9),

$$(A_4-\omega)\cos(A_3z+K_0z+\varphi_{mn}+\varphi_{m0})+$$
$$+P\sin(A_3z+K_0z+\varphi_{mn}+\varphi_{m0})]+\frac{P}{P^2+(A_4-\omega)}+$$

$+[(A_4-\omega)\cos(A_3z+K_0t+\varphi_{mn}+\varphi_{m0})+P\sin(A_3z-K_0z+\varphi_{mn}+$ $\varphi_{m0})]\};$ (12)

Здесь для сокращения записи введены следующие обозначения:

$$A_1=\sqrt{2}\frac{[1-b^{2(D-3)}]^{1/2}}{[1-b^{2(D-3)(N-1)}]^{1/2}};$$

$$A_2=b^{(D-3)n};$$

$$A_3=K_0b^N\cos\left(\frac{2\pi m}{M}\right);$$

$$A_4=K_0b^N\sin\left(\frac{2\pi m}{M}\right);$$

$$N(z,p)=B_1\sum_{n=0}^{N}B_2\left[\frac{P}{P^2+B_3^2}(B_3\cos\Psi_n+P\sin\Psi_n)\right]; \qquad (13)$$

где для сокращения введены обозначения:

$$B_1=\sqrt{2}\sigma\frac{[1-b^{(2D-4)}]^{1/2}}{[1-b^{(2D-4)(N+1)}]^{1/2}};$$
$$B_2=b^{(D-2)n};$$
$$B_2=2\pi Sb^n;$$

Общее решение уравнения (9) обыкновенного дифференциального уравнения, т.е. состоит из суммы решений однородного и неоднородного (частного решения)

$$U(z,p)=C_1e^{\frac{P}{c}z}+C_2e^{\frac{P}{c}z}+U_0^r(z,p)-E_0^r(z,p)+N^r(z,p), \qquad (14)$$

здесь $C_1$ и $C_2$ – постоянные интегрирования, они определяются из граничных условий для каждого слагаемого в отдельности, затем полученные решения неоднородного уравнения суммируются (принцип суперпозиции), $U_0^z(z,p), E_0^z(z,p)$ и $N^z(z,p)$ есть частные решения неоднородного уравнения, они равны, соответственно, следующим соотношениям (из-за громадности математических выкладок, приводим окончательные результаты);

$$U_0^z(z,p) = -\frac{C^2(P^2\cos\varphi_{m0} - \omega p\sin\varphi_{m0})}{P^2(P^2+\omega^2)}; \quad (15)$$

$U_0(z,P)$ – падающая плоская волна; $\mathcal{E}_1(z,t)$ – флуктуация диэлектрической проницаемости; $N(z,P)$ – помеха в тропосферной атмосфере.

$$U(z,P)=W_{11}(z,P)U_0(z,P)+W_{22}(z,P)\mathcal{E}_1(z,P)+W_{33}(z,P)N(z,P) \quad (16)$$

где
$$W_{11}(z,P) = \frac{2P}{\left(e^{\frac{p}{c}z}-e^{-\frac{p}{c}z}\right)(P^2+\omega^2)}\left[U_0e^{-\frac{p}{c}z}(Pcos\varphi_0 - \omega Psin\varphi_0) - U_1\big(Pcos(K_0z + \varphi_1) + \omega sin(K_0z+\varphi_1)\big)\right] - \frac{c^2(Pcos\varphi_{m0}-\omega sin\varphi_{m0})}{P(P^2+\omega^2)}; \quad (17)$$

$$W_{22}(z,P) = -\frac{A_1U_{m0}\omega^2}{2[(A_3+K_0)^2+\frac{P^2}{c^2}]}\sum_{n=0}^{N}A_2\sum_{m=1}^{M}\left[\frac{P(A_4-\omega)}{P^2+(A_4-\omega)^2}\cos(A_3z+K_0z+\varphi_{mn}+\varphi_{m0}) - \frac{P^2}{P^2+(A_4-\omega)^2}\sin(A_3z+K_0z+\varphi_{mn}+\varphi_{m0})\right] -$$
$$-\frac{A_1U_{m0}\omega^2}{2[(A_3+K)^2+\frac{P^2}{c^2}]}\sum_{n=0}^{N}A_2\sum_{m=1}^{M}\left[\frac{P(A_4-\omega)}{P^2+(A_4-\omega)^2}cos(A_3z-K_0z+\varphi_{mn}+\varphi_{m0}) - \frac{P^2}{P^2+(A_4-\omega)^2}sin(A_3z-K_0z+\varphi_{mn}+\varphi_{m0})\right]; \quad (18)$$

$$W_{33}(z,P) = -\frac{c^2B_1}{P^2}\sum_{n=0}^{N}B_2\left[\frac{P}{P^2+B_3^2}(B_3cos\Psi_m + Psin\Psi_m)\right]; \quad (19)$$

Передаточные функции (17), (18) и (19) вполне достаточной степени описывают процесс распространения плоских электромагнитных волн (сигналов) во фрактальной тропосферной среде.

**Заключение**.

Выражениями (17), (18) и (19) можно пользоваться при исследовании и анализе процессов распространения фрактальных сигналов в тропосферной атмосфере в прямой видимости.

В статистической радиотехнике при оптимальной обработке сигналов обрабатываемый сигнал рассматривают как смесь полезного сигнала и помехи (шум). В соотношениях (17) и (18) передаточная функция (17) есть передаваемый полезный сигнал, а передаточные функции (18) и (19) есть помехи. Таким образом, в точки приема (решение дифференциального уравнения (16)) мы фиксируем полезный сигнал, аддитивный флуктуациями и шумом, который можно подвергнуть дальнейшей оптимальной обработке.

Полученные выражения (17), (18) и (19), кроме того, позволяют определить полезного источника электромагнитных волн, флуктуации диэлектрической проницаемости среды и шума.

Спектральные характеристики передаваемого сигнала в точке наблюдения, если известны спектральные характеристики

*Литература*

1. Mandelbrot B.B. The Fractal Geometry of Nature. – N.Y.: Freeman, 1982. – 468 p.

2. Пайчин Х.О., Рихтер П.Х. Красота фракталов. М. Мир. 1993 176 с

3. Bende A., Halvin S., Fractals in Disordered Systems. – Berlin: Springer – Verlag, 1995. – 408.

4. А.А. Потапов Фракталы в радиофизике и радиолокации: Топология выборки. М; 2005, 847 ст.

5. Федер Е. Фракталы: - М. Мир, 1991. – 262 с.

6. Kim Y., Jaggerd D.L., Band – Limited Fractal Model of Atmospheric Refractivity Fluctuation J. Opt. Soc. Am. 1988. V. 5, №4. P. 475 – 480.

**Туйчиев Бекзод Оромович.** Старший преподаватель, заведующий кафедрой «Телекоммуникационный инжиниринг» Каршинского филиала Ташкентского университета информационных технологий

e-mail: bekzod2702@mail.ru

тел: +99890 609 75 00

**Tuychiev B.O.**

**Fractal Model of the Propagation of Electromagnetic Waves in the Tropospheric Waveguide**

The purpose of this work is to construct a mathematical model for the propagation of plane electromagnetic waves (signals) in the tropospheric atmosphere of line of sight, taking into account the fractality of turbulence and interference.

**Key words:** fractal, model, propagation, electromagnet, troposphere, waveguide, turbulence.

**УДК 620:191.33:681.7.624.012**

**А.А. Бердиев**

# ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ И СТАТИСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОДЗЕМНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ В УСЛОВИЯХ «БЕЗОПАСНЫЙ ГОРОД»

Рассматриваются различные методы автоматизированного измерения состояния подземных трубопроводов. Предлагается оптимальный способ проведения мониторинга за состоянием трубопроводных транспортных систем в условиях «Безопасного города». Кроме этого, приведены практические рекомендации и области применения предлагаемой технологии.

***Ключевые слова:*** автоматизированная оптоэлектронная система, безопасный город, волоконно-оптические датчики, опорный канал, полное внутренное отражение, трубопроводные транспортные системы, фотодетектор.

## Введение

В данное время создание автоматизированной системы оповещения и информирования различных ситуаций в условиях «Безопасного города» является весьма актуальной задачей.

Создание волоконно-оптических систем измерения величин механических воздействий, деформаций, плотности материалов, базирующихся на оптических сигналах и позволяющих реализовать автоматизированные системы, наряду с повышением точности измерений, позволяет диагностировать и контролировать параметры механических конструкций. Устройства, основанные на разработанных методах и примерах обнаружения места повреждений, занимают в них особое место.

Волоконно-оптические датчики нашли широкое применение в разных отраслях производства: например, в медицине, при определении местонахождения трещин и деформаций в разных конструкциях, а также при развитии технологии “Безопасный город”.

Современный город представляет собой сложную многоуровневую структуру. Он состоит из множества подсистем – транспортной, телекоммуникационной, систем электро- и водоснабжения, а также многих других, которые функционируют и взаимодействуют между собой. Комплексная система «Безопасный город» предназначена для автоматизации решения наиболее важных задач современных городов.

Мониторинг состояний подземных трубопроводов, которые считаются частью безопасного города является актуальной задачей.

Существующие подходы к решению проблемы оценки надежности ТТС (трубопроводных транспортных систем) имеют ряд недостатков. Анализ работ [1-2] позволяет сделать вывод, что в обоих