

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ СРЕДНЕЙ ИНТЕНСИВНОСТИ СВЧ-СИГНАЛА, РАСПРОСТРАНЯЮЩЕГО В СЛУЧАЙНО-НЕОДНОРОДНОЙ АТМОСФЕРЕ НА ТРАССЕ «МИКРОСПУТНИК-ЗЕМЛЯ»

А. А. Спиридонов, В. А. Саечников

Белорусский государственный университет

Минск, Беларусь

E-mail: sansan@tut.by

Проведено моделирование поведения средней интенсивности СВЧ-сигнала, распространяющегося в случайно-неоднородной атмосфере. Свойства среды задавались корреляционной функцией флуктуаций комплексного потенциала диэлектрической проницаемости. Использовано параболическое приближение волнового уравнения для пространственной функции когерентности второго порядка.

Ключевые слова: средняя интенсивность, СВЧ-сигнал, флуктуации, пространственная функция когерентности второго порядка.

ВВЕДЕНИЕ

Наиболее актуальными при разработке новых аэрокосмических систем встают вопросы проектирования систем управления, связи, передачи научной информации с космического аппарата, обладающие высокой скоростью передачи информации, большой помехозащищенностью, высокой информационной емкостью, возможностью применения современных фазовых видов модуляции и использования антенн с очень узкой диаграммой направленности. Всем этим обладают космические радиолинии СВЧ-диапазона.

Условия распространения электромагнитных волн сверхвысокочастотного (СВЧ) диапазона существенно зависят от состояния атмосферы на пути их распространения. В зависимости от вертикального распределения температуры, влажности,

давления и водности, турбулентности атмосферы формируются различные типы атмосферной рефракции, ослабления электромагнитных волн и флуктуации параметров электромагнитной волны, которые существенным образом определяют характеристики распространяющегося СВЧ-сигнала [1]. Рассмотрим влияния дифракции и рассеяния на поведение средней интенсивности СВЧ-сигнала, распространяющегося в случайно-неоднородной атмосфере на трассе «микроспутник-Земля». Моделирование поведения средней интенсивности СВЧ-сигнала основано на решении волнового уравнения в параболическом приближении для пространственной функции когерентности второго порядка. Моделирование позволяет учесть особенности распространения сигнала в случаях неоднородных структур.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ СРЕДНЕЙ ИНТЕНСИВНОСТИ СВЧ-СИГНАЛА

Рассмотрим падение волнового пучка с эффективной шириной a из полупространства $x < 0$ на случайно-неоднородную атмосферу с крупномасштабными трехмерными неоднородностями. В этом случае взаимной функция когерентности второго порядка:

$$\Gamma(x, \vec{\rho}_1, \vec{\rho}_2) = \langle u(x, \vec{\rho}_1) u^*(x, \vec{\rho}_2) \rangle$$

волнового пучка, распространяющегося в плавно-неоднородной среде с детерминированным изменением диэлектрической проницаемости в положительном направлении оси x , удовлетворяет уравнению параболического типа [1]:

$$2ik \frac{\partial \Gamma}{\partial x} + (\Delta_{\perp 1} - \Delta_{\perp 2}) \Gamma + k^2 [\bar{\epsilon}(\rho_1, x) - \bar{\epsilon}(\rho_2, x)] \Gamma + \\ + \frac{ik^2}{2} [A_\epsilon(0) - A_\epsilon(\rho_1, \rho_2)] \Gamma = 0,$$

где $\epsilon(\vec{r}) = \bar{\epsilon}(\vec{r}) + \tilde{\epsilon}(\vec{r})$, $\bar{\epsilon}(\vec{r}) \equiv \langle \epsilon(\vec{r}) \rangle$ — среднее значение диэлектрической проницаемости, $\tilde{\epsilon}(\vec{r})$ — флуктуация диэлектрической проницаемости,

$A_\epsilon(\vec{\rho}_1, \vec{\rho}_2) = \int_{-\infty}^{\infty} \langle \tilde{\epsilon}(\vec{\rho}_1, x_1) \tilde{\epsilon}(\vec{\rho}_2, x_2) \rangle d(x_1 - x_2)$ — поперечная автокорреляционная функ-

ция флуктуаций показателя преломления; $\Delta_{\perp i} = \frac{\partial^2}{\partial z_i^2} + \frac{\partial^2}{\partial y_i^2}$ — поперечный лапласиан.

Для анализа поведения функции когерентности второго порядка введены нормированные переменные суммы $\vec{s}$ и разности $\vec{p}$ координат двух точек в поперечной плоскости наблюдения:

$$\vec{s} = \frac{\vec{\rho}_1 + \vec{\rho}_2}{2l_n}, \quad \vec{p} = \frac{\vec{\rho}_1 - \vec{\rho}_2}{l_n},$$

где l_n — масштаб флуктуаций неоднородностей показателя преломления; относительной дальности распространения $\vec{x}$:

$$\bar{x} = \frac{x}{kl_n^2}$$

и безразмерные параметры относительной ширины пучка $\bar{a}$ и параметр рассеяния γ как отношение длины дифракции $l_D = kl_n^2$ к длине рассеяния $l_p = (k^2 A_n(0))^{-1}$, т. е. мера относительного преобладания процесса дифракции над процессом рассеяния при распространении волнового пучка:

$$\bar{a} = \frac{a}{l_n}, \quad \gamma = l_D / l_p = k^3 A_n(0) l_n^2.$$

Статистические свойства среды описываются двумя параметрами масштабом неоднородности флуктуаций показателя преломления l_n и средним квадратом флуктуаций показателя преломления σ_n^2 [1].

Проведем анализ влияния дифракции и рассеяния на поведение средней интенсивности $\bar{I}(\bar{x}, s)$, которая связана с функцией когерентности второго порядка:

$$\bar{I}(\bar{x}, s) = \bar{\Gamma}_2(\bar{x}, s, 0)$$

в вертикальной плоскости источника и приемника.

Поведение нормированной средней интенсивности $\bar{I}(\bar{x}, s) = \frac{\bar{I}(\bar{x}, s)}{\bar{I}(0, 0)}$ исследовано на оси пучка ($s = 0$) и при удалении от оси ($s \neq 0$) для различных значений параметра рассеяния $\gamma = 0; 0,5; 2; 10$ и относительной ширины пучка $\bar{a} = 1; 2; 3; 4; 8$.

На рисунке 1 представлено распределение нормированной средней интенсивности $\bar{I}(\bar{x}, 0)$ на оси от относительной дальности распространения $\bar{x}$ для двух значений параметра рассеяния $\gamma = 0,5$ и 5 , характеризующих различные режимы рассеяния и различных значениях относительной ширины пучка $\bar{a}$.

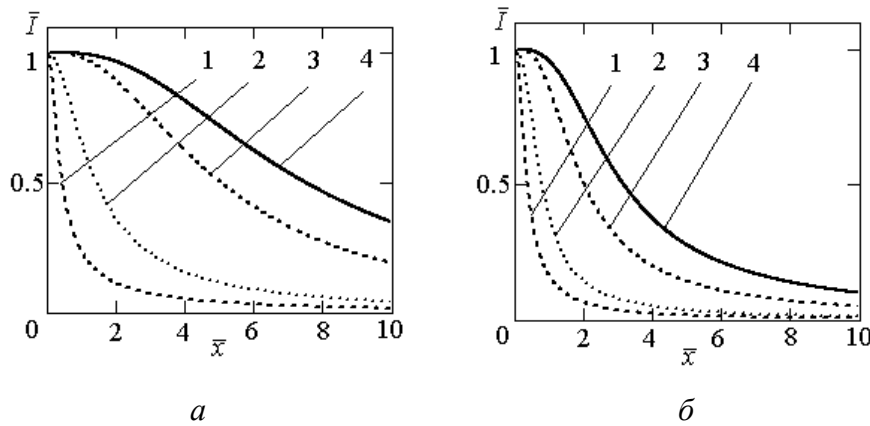


Рис. 1. Распределение нормированной средней интенсивности $\bar{I}(\bar{x}, 0)$ на оси при различных значениях относительной ширины пучка $\bar{a}$ и параметра рассеяния $\gamma = 0,5$ (а), $\gamma = 5$ (б): 1 – $\bar{a} = 0,5$; 2 – $\bar{a} = 1$; 3 – $\bar{a} = 4$; 4 – $\bar{a} = 8$

Как показано на рис. 1, для узких пучков ($\bar{a} = 0,5$) средняя интенсивность $\bar{I}(\bar{x}, 0)$ слабо зависит от рассеяния и определяется в основном относительной шириной пучка $\bar{a}$. С увеличением относительной ширины пучка $\bar{a}$ наблюдается зависимость – распределение средней интенсивности от рассеяния тем большее, чем шире пучок. При слабом рассеянии графики средней интенсивности отличаются по форме, т. е. на распределение средней интенсивности рассеяние и дифракции воздействуют одинаковым образом. С увеличением рассеяния графики средней интенсивности мало отличаются по форме и на распределение средней интенсивности в основном оказывает воздействие рассеяние.

На рисунке 2 представлено распределение нормированной средней интенсивности $\bar{I}(\bar{x} = \text{const}, s)$ в двух поперечных плоскостях приемника для относительной ширины пучка $\bar{a} = 4$ при различных значениях параметра рассеяния γ , характеризующих различные режимы рассеяния.

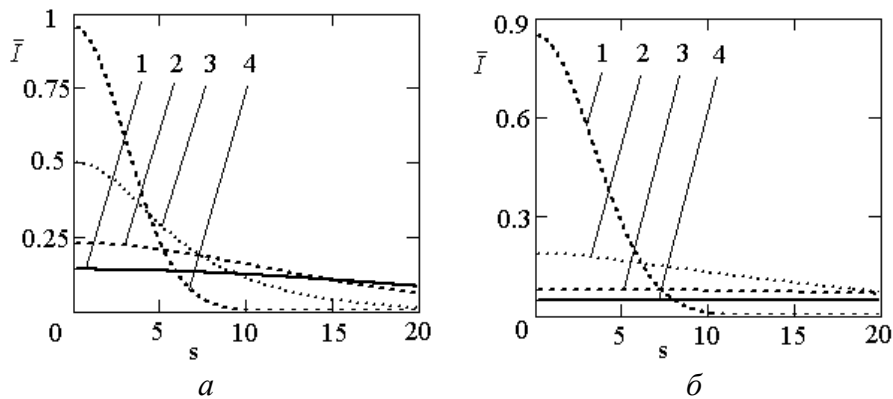


Рис. 2. Распределение нормированной средней интенсивности $\bar{I}(\bar{x} = \text{const}, s)$ в поперечной плоскости приемника при различных значениях параметра рассеяния γ и относительной дальности $\bar{x} = 5$ (а), $\bar{x} = 10$ (б): 1 – $\gamma = 0$; 2 – $\gamma = 0,5$; 3 – $\gamma = 2$; 4 – $\gamma = 10$

При меньшей дальности распространения ($\bar{x} = 5$), как показано на рис. 2, форма и величина нормированной средней интенсивности $\bar{I}$ в поперечной плоскости приема даже в случае слабого рассеяния ($\gamma = 0,5$) зависит от параметра рассеяния. Это отчетливо заметно при сравнении распределения средней интенсивности в среде с рассеянием и без рассеяния в свободном пространстве ($\gamma = 0$). С увеличением параметра рассеяния γ влияние рассеяния на распределение средней интенсивности увеличивается, пучок еще больше уширяется и распределение нормированной средней интенсивности $\bar{I}(\bar{x} = 5, s)$ в поперечной плоскости приема становится практически равномерным для заданного диапазона изменения расстояния s от оси пучка.

С увеличением относительной дальности распространения ($\bar{x} = 10$) уширение пучка, обусловленное рассеянием, возрастает и распределение нормированной средней интенсивности $\bar{I}(\bar{x} = 10, s)$ в поперечной плоскости приема становится практи-

чески равномерным для заданного диапазона изменения расстояния s от оси пучка для всех значений параметра рассеяния.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Кляцкин, В. И.* Стохастические уравнения глазами физика (Основные идеи, точные результаты и асимптотические приближения) / В. И. Кляцкин. М.: Наука, 2001.

(n
