

КОРРЕЛЯЦИОННЫЕ СВОЙСТВА СИГНАЛОВ ЗА РАДИОГОРИЗОНТОМ В ОБЛАСТИ ДИФРАКЦИИ

Павлова О.Л., Петров В.А.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники
61166, Харьков, пр. Ленина, каф. радиоэлектронных систем, тел. (057) 705-15-87,

E-mail: olyacausal@yandex.ru

The results of the calculation of sample autocorrelation functions of the field at the geometric shadow and in the field of diffraction are presented. To calculate the field for the radio horizon applied the method of equivalent sources, taking into account multiple scattering and diffraction. Comparison of theoretical and experimental data shows that the correlation properties of signals depend strongly on the structure of the Fresnel zones in the middle of tropospheric path.

Введение. Корреляционные характеристики поля за радиогоризонтом подробно исследовались в многочисленных экспериментальных работах [1,2]. Этими характеристиками определяются основные качественные показатели радиотехнических систем: параметры систем связи с использованием «разнесенного приема», возможность передачи широкополосных сигналов, эффективность использования антенных устройств, в том числе адаптивных.

В работе [1] экспериментально установлено, что радиус корреляции поля ρ_k при поперечном разnose точек наблюдения в области дальнего тропосферного распространения (ДТР) (длина трассы $R_{mp} \geq 100$ км) зависит от размера апертуры d передающей антенны, причем $2\rho_k \sim d$. Это указывает на то, что область источников вторичного излучения определяется эффективной шириной диаграммы направленности антенны [1]. При этом ρ_k слабо зависит от расстояния R_{mp} .

В области дифракции ($R_{mp} < 100$ км), по экспериментальным данным работы [2], наблюдается существенное увеличение поперечного расстояния корреляции при горизонтальном разnose точек измерения поля. При увеличении длины трассы от 30 км до 100 км радиус корреляции уменьшается от 14 м до 3,5 м при длине волны $\lambda = 0,1$ м. Рост интервала корреляции сопровождается увеличением доли «когерентной» составляющей в сигнале. Авторы экспериментальных исследований [2] отмечают, что на границе зон дифракции и ДТР имеется интервал дальностей, характеризующийся наименее устойчивыми сигналами. Такие значения дальности в ночные часы больше, чем днем, и возрастают с увеличением длины волны.

Анализ экспериментальных данных и их интерпретация разными авторами показывают, что, как правило, не учитывается сложная фазовая структура поля в «общей» области диаграмм направленности приемной и передающей антенн на закрытых тропосферных трассах, связанная с зонами Френеля, а также регулярное изменение индекса рефракции с высотой.

В данной работе рассчитывается «мгновенная» структура и выборочные корреляционные функции поля в зоне дифракции Френеля эквивалентных источников вторичных волн с учетом многократного рассеяния и дифракции.

Методика расчета. Метод эквивалентных источников впервые применен в работе [3] для расчета поля вблизи геометрической тени и подробно описан в работе [4]. Расчет выполняется в два этапа. Вначале методом геометрической оптики (МГО) рассчитывается поле U_Q на плоскости Q в средней части трассы (рис. 1). Затем найденное поле U_Q рассматривается как поле виртуальных (эквивалентных) источников в дифракционном интеграле Френеля-Кирхгофа.

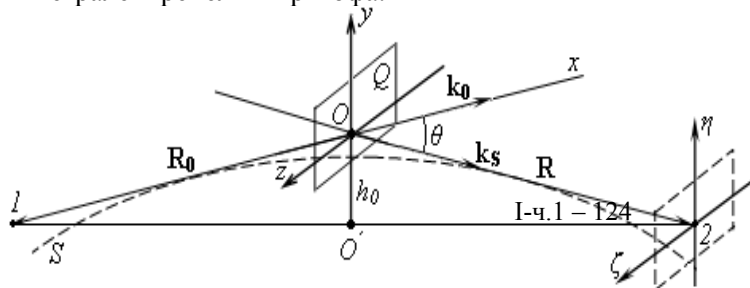


Рисунок 1

На рис.1 точки 1 и 2 обозначают источник излучения и точку наблюдения

ния соответственно; штриховая линия S образована пересечением поверхности Земли плоскостью большого круга. Начало прямоугольных координат x, y, z находится на пересечении касательных к земной поверхности, проведенных через точки 1 и 2.

Выражение для комплексной амплитуды поля U в точке 2 выглядит следующим образом:

$$U(\mathbf{R}) = C \iint_Q e^{-\mathbf{K}\mathbf{r}} \left[A(\mathbf{r}) e^{jk_0\varphi(r,L)} e^{jk(\rho^2/2R_0 + \rho^2/2R)} \right] d^2r, \quad (1)$$

где $\mathbf{r}\{y, z\}$ – двумерный радиус-вектор элемента $dQ = d^2r$ на плоскости Q , $\mathbf{K} = \mathbf{k}_s - \mathbf{k}_0$, \mathbf{k}_s и \mathbf{k}_0 – волновые векторы падающей и рассеянной волн, C – постоянная, $A(\mathbf{r})$ – амплитуда волны на плоскости Q , $\varphi(\mathbf{r}, l)$ – фазовый путь волны (эйконал), $k_0 = 2\pi/\lambda$ – волновое число в вакууме, $\rho^2 = (y + h_0)^2 + z^2$, h_0 – расстояние OO' от начала координат O до прямой, соединяющей фазовые центры источника (1) и приемной антенны (2).

В расчетах поля U_Q использовано первое приближение МГО. Эйконал $\varphi(\mathbf{r}, l)$ вычисляется методом малых возмущений с поправкой первого порядка φ_1 :

$$\varphi = \varphi_0 + \varphi_1 = \sqrt{\bar{\varepsilon}}L + \frac{1}{2} \int_0^L \tilde{\varepsilon}(y, z, l) dl, \quad (2)$$

где φ_0 – невозмущенный эйконал, $\bar{\varepsilon}$ – среднее значение диэлектрической проницаемости ε , $\tilde{\varepsilon}$ – флуктуирующая часть ε , причем среднее $\langle \tilde{\varepsilon}^2 \rangle \ll \bar{\varepsilon}^2$, L – дистанция, пройденная волной вдоль лучевой траектории l . В первом приближении МГО интегрирование в (2) выполняется вдоль невозмущенной, лучевой траектории.

Расчет эйконала в соответствии с (2) выполняется для заданной выборки пространственного распределения $\varepsilon(x, y, z)$ в области, лежащей между точкой 1 и плоскостью Q . Одной из задач расчета является уточнение дистанции L применительно к закрытым тропосферным трассам. Минимальное расстояние r_{\min} от источника 1 до «входа» в область применения МГО ограничено условием дальней зоны антенны передатчика, т.е. $r_{\min} \geq d^2/2\lambda$, где d – максимальный размер апертуры. В этом случае можно пользоваться представлением о «лучевом» распространении волны. Максимальное значение L должно быть достаточным для правильной оценки флуктуаций эйконала. Дистанция L полагалась приблизительно равной половине длины трассы R_{mp} .

Результаты расчетов. Поле в точке наблюдения и ее окрестности рассчитывалось по формуле (1) с учетом регулярного распределения диэлектрической проницаемости по высоте $\varepsilon(h)$ и турбулентных флуктуаций диэлектрической проницаемости $\tilde{\varepsilon}$, энергетический спектр которых соответствовал модели Кармана.

На рис. 2, а показано мгновенное распределение амплитуд поля вдоль оси ξ (см. рис.1) для одной из реализаций случайного процесса $\varepsilon(x, y, z)$. Протяженность трассы $R_{mp} = 50$ км; длина волны $\lambda = 0,3$ м; дистанция $L = 25$ км. Из рисунка видно, что в сигнале присутствует когерентная составляющая, что соответствует экспериментальным данным. Параметр когерентности $g = \bar{U} / \langle \tilde{U}^2 \rangle^{1/2}$, где \bar{U} – среднее значение регулярной составляющей поля в точке приема, $\langle \tilde{U}^2 \rangle^{1/2}$ – среднеквадратическое отклонение быстрых флуктуаций амплитуд поля, составляет 2,9.

Выборочные автокорреляционные функции (АКФ) флуктуаций амплитуд поля рассчитаны для протяженностей трасс $30 \text{ км} \leq R_{mp} \leq 90 \text{ км}$. На рис. 2, б показана АКФ для $R_{mp} = 50$ км и длины волны $\lambda = 0,3$ м. Радиус корреляции быстрых флуктуаций поля ρ_k с увеличением дальности R_{mp} для указанной выше модели среды изменяется незначительно. При $R_{mp} = 30$ км радиус корреляции $\rho_k = 44\lambda$; для $R_{mp} = 90$ км – $\rho_k = 54\lambda$. Наличие

горизонтального слоя на высоте около 150 м над поверхностью Земли приводит к увеличению ρ_k . При $R_{mp} = 50$ км величина ρ_k при наличии слоя и его отсутствии составила 42λ и 85λ соответственно.

Выводы. Методика расчета комплексных амплитуд поля $U(\mathbf{R})$ с применением МГО и дифракционного интеграла Кирхгофа позволяет получить оценки уровня поля и его статистические характеристики, согласующиеся с экспериментальными данными.

Радиус корреляции поля ρ_k за радиогоризонтом при поперечном разnose точек на-

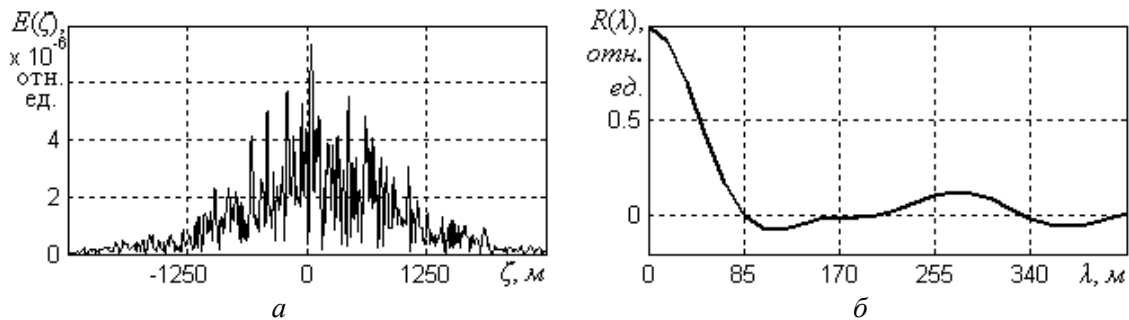


Рисунок 2

блюдения, вычисленный по выборочным функциям пространственного распределения диэлектрической проницаемости воздуха ε , находится в пределах от 30 до 80 длин волн. Среднее значение радиуса корреляции слабо зависит от дисперсии флуктуаций диэлектрической проницаемости и составляет около 50 длин волн при среднеквадратическом значении флуктуаций $\langle \tilde{\varepsilon}^2 \rangle^{1/2} = 10^{-5}$. В области дифракции рост радиуса корреляции поля с уменьшением длины трассы, вероятно, связан с наличием горизонтальных слоев.

Оценка параметра когерентности \mathcal{G} , т.е. отношения среднего значения поля к среднеквадратическому отклонению флуктуаций поля, при среднеквадратическом отклонении диэлектрической проницаемости $\langle \tilde{\varepsilon}^2 \rangle^{1/2} = 10^{-5}$ находится в пределах от 2 до 3, причем \mathcal{G} увеличивается с уменьшением ρ_k .

Литература.

1. *Экспериментальное исследование дальнего тропосферного распространения ультракоротких радиоволн* / Под ред. Я. С. Шифрина. Харьков: изд. АРТА, 1964. 103 с.
2. *Шарыгин Г.С.* Статистическая структура поля УКВ за горизонтом. – М.: Радио и связь, 1983, 140с.
3. *Жуков Б.В., Клюева А.Н., Петров В.А.* Оценка дистанционных зависимостей УВЧ радиополя над морем для произвольных высотных профилей коэффициента преломления воздуха//Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2011, вып.164. С. 58-65.
4. *Петров В.А. Клюева А.Н., Павлова О.Л.* Оценка текущих условий загоризонтного распространения УКВ по заданному пространственному распределению коэффициента преломления воздуха// Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2011, (в печати).