

СТРУКТУРА ПАРЦИАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ ВТОРИЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ МАЛЫХ УГЛАХ РАССЕЯНИЯ

Петров В.А., Ключева А.Н.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники

61166, Харьков, пр. Ленина 14, каф. радиоэлектронных систем, тел. (057) 70-21-587

The space structure of equivalent scattering sources of secondary waves radiation at little scattering angles is obtained in this report. It is shown this mathematic modeling, that some regions of the higher intensity radiation are existed. The simplest structure unit of the scattering volume is a partial source of secondary wave. We can obtain each of partial sources as a linear array of the running wave.

Введение. Существующие статистические и электродинамические теории дальнего тропосферного распространения (ДТР) ультракоротких волн (УКВ) в неоднородной тропосфере, объясняя отдельные стороны и особенности процессов распространения волн за радиогоризонт, часто не позволяют получить количественные оценки параметров поля. Поэтому важное значение сохраняют экспериментальные исследования в реальных условиях, не только дающие такие оценки, но и являющиеся основой разработки и анализа новых физических моделей распространения [1]. К настоящему времени накоплено значительное количество экспериментальных данных о статистических характеристиках радиосигналов УКВ за радиогоризонтом, особенно в интервале дальностей 100 – 500 км. Основная масса данных получена применительно к задачам техники связи и относится к изучению множителя ослабления и его флуктуаций в диапазоне длин волн 10 – 300 см, а также к определению корреляции между быстрыми изменениями уровня сигнала при «разнесении» сигналов по времени, пространству, частоте или углу. Принято считать, что «регулярная» или «когерентная» составляющая поля связана со слоистой структурой тропосферы, а быстрые случайные колебания уровня сигнала обусловлены флуктуациями диэлектрической проницаемости атмосферы $\varepsilon(\vec{r})$. Детально структура среды, отвечающая за рассеяние «вперед», практически не изучена. Целью данной работы является расчет пространственной структуры эквивалентных источников вторичного излучения, соответствующих заданной модели среды.

Основные расчетные соотношения. В работе [2] введено понятие «парциальной волны» (в окрестности точки наблюдения волна практически однородна), вследствие чего оказалось возможным подсчитать, из какой области пространства могут приходиться элементарные волны, дающие в сумме парциальную волну. Оказалось, что эта область сильно вытянута в направлении волнового вектора \mathbf{k}_0 , причем отношение ее длины L к поперечному размеру d составляет (20...60) в условиях, характерных для трасс ДТР. Каждый парциальный источник вторичного излучения можно рассматривать как линейную систему элементарных излучателей, возбуждаемую бегущей вдоль системы основной волной. В этом случае расчет углового распределения интенсивности поля за радиогоризонтом на основе статистической теории антенн хорошо согласуется с экспериментальными данными во всем интервале дальностей [2].

В данной работе для аналогичных условий рассеяния радиоволн расчет выполнен на основе уравнений Максвелла в приближении М. Борна [3]. Напряженность поля E_s рассеянной волны основной поляризации (E_s параллелен оси y) в точке наблюдения с радиус-вектором \mathbf{R} описывается выражением

$$E_s(\mathbf{R}) = \left(e^{j\mathbf{k}_0 \mathbf{R}} E_0 / 4\pi R \right) \iiint_V e^{-j\mathbf{K} \mathbf{r}} \left[k^2 \varepsilon + \partial^2 \varepsilon / \partial y^2 \right] d^3 r \quad (1)$$

где E_0 – напряженность плоской основной волны, $\mathbf{K} = \mathbf{k}_s - \mathbf{k}_0$, \mathbf{k}_s – волновой вектор основной волны, \mathbf{r} – радиус-вектор точки внутри рассеивающего объема V , $\varepsilon = \varepsilon_p - 1$,

$\varepsilon_p = \varepsilon_p(\mathbf{r})$ – диэлектрическая проницаемость тропосферы в точке \mathbf{r} , $k = |\mathbf{k}_0| = 2\pi/\lambda$, λ – длина волны, $R = |\mathbf{R}|$, $R \gg |\mathbf{r}|$.

Выражение (1) можно записать в другой форме, полагая, что область рассеяния V ограничена, и ее характерный размер $l \ll R$:

$$\mathbf{E}_s(\mathbf{R}) = (2\pi E_0 e^{jkR} / R) G(\mathbf{K})(k^2 - K_y), \quad (2)$$

где $G(\mathbf{K})$ – комплексный трехмерный спектр функции $\varepsilon(\mathbf{r}) \cdot V(\mathbf{r})$, K_y – проекция вектора \mathbf{K} на ось k_y в пространстве волновых векторов.

Для синтеза с точностью до постоянного множителя пространственной структуры вторичных источников, т.е. функции $E_0 \varepsilon(\mathbf{r}) V(\mathbf{r})$ в вычисленном спектре рассеянного сигнала были выделены области комплексно-сопряженных значений, соответствующие углам рассеяния от одного до трех с половиной градусов и фиксированному значению R в зоне дифракции Фраунгофера. Остальные спектральные составляющие и соответствующие значения E_s полагались равными нулю.

Обратное преобразование Фурье приводит к пространственной структуре источников вторичного излучения, показанной на рис.1.

Модель тропосферы в данном случае учитывает экспоненциальные изменения среднего значения ε_0 с ростом координаты y (высоты) и статистически изотропные коррелированные флуктуации ε , энергетический спектр которых $\Phi_\varepsilon(k)$ убывает как $k^{-11/3}$.

Характерной особенностью структуры эквивалентных источников вторичного излучения является наличие нескольких областей их локализации, находящихся на разных высотах, причем каждая область состоит из совокупности парциальных излучателей вторичных волн.

В литературе отсутствуют сведения о пространственном распределении источников вторичных волн, полученном путем расчетов или модельных экспериментов. Однако экспериментально наблюдалось наличие нескольких максимумов, что отмечено в работах Шура А.А.[4] и Введенского Б.А.[5]. В работе [5] приведено дифференциальное распределение вероятности углов

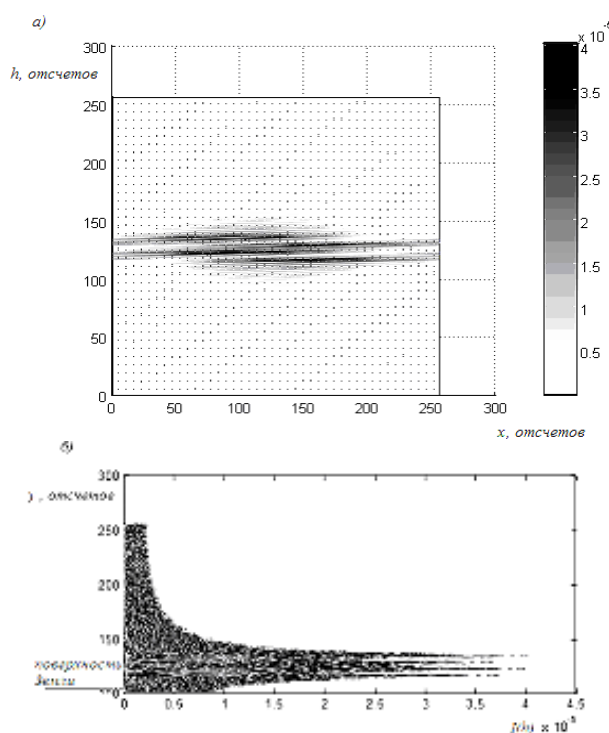


Рис. 1: а – пространственное распределение источников вторичного излучения в вертикальной плоскости (x, y) , параллельной направлению распространения волны; б – распределение амплитуд источников вторичного излучения в вертикальном направлении (вдоль оси y) с точность до постоянной C

прихода в вертикальной плоскости. Положение и характер экстремумов указывают на то, что их происхождение не связано с интерференцией волн, отраженных от поверхности Земли.

Детальная структура вторичных источников приведена на рис. 2, где отчетливо видны области, аналогичные областям локализации парциальных источников.

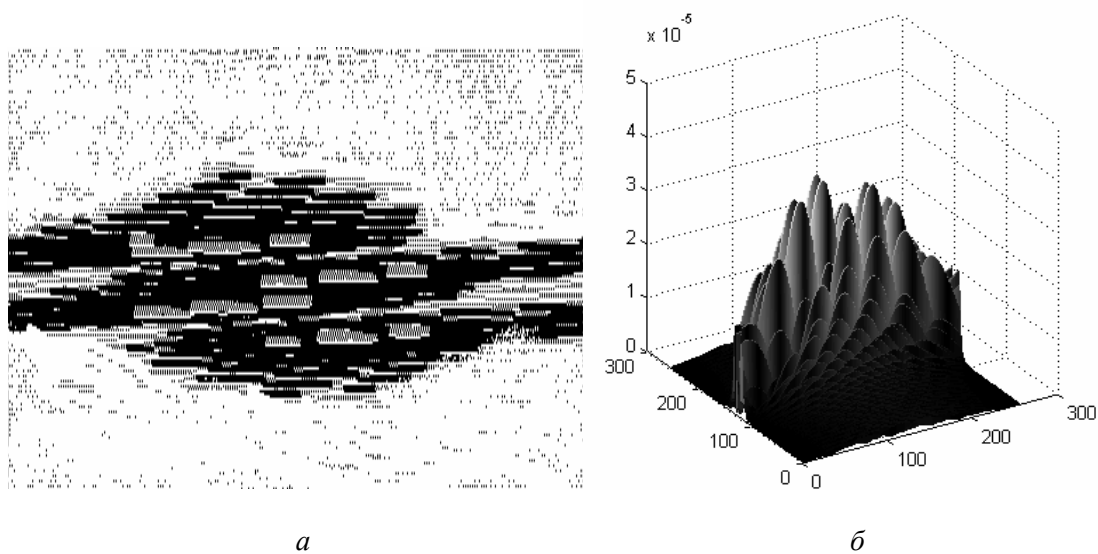


Рис. 2. Распределение источников вторичного излучения в вертикальной плоскости: а – сечение объема рассеяния в плоскости (x, y) , амплитуды показаны в полутоновом изображении; б – амплитуды поля источников в том же сечении в трехмерном изображении с точностью до постоянной C_1

Выводы. Пространственное распределение источников вторичного излучения «вперед», синтезированное расчетным путем для заданной выборки случайной среды, существенно неоднородно в пределах рассеивающего объема. Зависимость интенсивности вторичных источников от высоты над поверхностью Земли имеет несколько экстремумов.

Положение экстремумов может отличаться для разных углов рассеяния и разной формы диаграмм направленности антенн, т.е. от формы рассеивающего объема.

Для всех выборок случайной среды характерными структурными элементами минимальных размеров являются парциальные источники вторичных волн, каждый из которых можно рассматривать как протяженную систему излучателей, возбуждаемую бегущей волной.

Полученные путем математического моделирования результаты согласуются с известными экспериментальными данными и дополняют представления о физических «механизмах» рассеяния.

Литература

1. Шарыгин Г.С. Статистическая структура поля УКВ за горизонтом. М.: Радио и связь, 1983. 140с
2. Петров В.А., Баранова Л.В. Структура источников и направленность вторичного излучения при дальнем тропосферном распространении радиоволн// Радиотехника. 2005. Вып. 143. С. 83-88.
3. Петров В.А. Векторное поле радиоволн, рассеянных в тропосфере на флуктуациях диэлектрической проницаемости// Радиотехника. 2006. Вып. 145. С. 126-129.
4. Шур А.А. Характеристики сигнала на тропосферных радиоперелиниях. М.: Связь, 1972. 105с
5. Дальнее тропосферное распространение ультракоротких волн./ Под ред. Б.А. Введенского и др. М.: Сов. радио, 1965. 418с.