

УДК 621.396.96

А.А. Мещеряков, В.-К.А. Бирюкова

Оценка множителя ослабления УКВ-радиосигналов на приземной трассе

Представлены результаты экспериментального исследования множителя ослабления сигнала на наземной трассе распространения радиоволн, полученные при обработке принимаемых диаграмм направленности антенны сканирующего источника излучения трехсантиметрового диапазона волн.

Ключевые слова: множитель ослабления, диаграмма направленности антенны, экспериментальные исследования.

Знание множителя ослабления радиосигналов при распространении радиоволн на трассах в тропосфере требуется при решении многих прикладных задач, например при определении местоположения источника излучения, расчете зоны уверенного приема сигналов радиостанций, идентификации источника излучения [1, 2].

Экспериментальная оценка множителя ослабления выполняется по результатам измерения уровня сигнала источника излучения на исследуемой трассе. Если источник излучения имеет сканирующую диаграмму направленности (ДН) антенны, то отсчеты уровня сигнала берутся в максимумах принимаемой ДН. Теоретическую оценку множителя ослабления получают по формулам, соответствующим двумерному представлению распространения радиоволн (в координатах дальность/высота) [3]. Однако значительный вклад в принимаемый сигнал вносят и препятствия, расположенные в стороне от трассы. Эти препятствия вызывают смещение максимума наблюдаемой ДН в сторону от направления трассы, расширение и изменение уровня её лепестков и являются основными источниками ошибок при оценивании множителя ослабления.

Целью данной публикации является оценка погрешности измерения множителя ослабления по искаженной принимаемой ДН сканирующей узконаправленной антенны источника излучения на наземной закрытой трассе.

Известно [2], что мощность принимаемого сигнала P_r определяется соотношением:

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r \eta_t \eta_r \lambda^2}{(4\pi R)^2} \cdot V, \quad (1)$$

где P_t – мощность сигнала источника излучения; G_r, G_t – коэффициенты усиления приемной и передающей антенн соответственно; η_r, η_t – КПД линии передачи энергии от антенны до приемника и от передатчика до антенны соответственно; λ – длина волны; R – расстояние между передатчиком и приемником; V – множитель ослабления.

Если выразить все величины в логарифмическом масштабе, то формула (1) приобретает вид

$$P_{r, \text{дБ}} = P_{t, \text{дБ}} + G_{t, \text{дБ}} + G_{r, \text{дБ}} + \eta_{t, \text{дБ}} + \eta_{r, \text{дБ}} + 20 \lg \frac{\lambda}{4\pi R} + V_{\text{дБ}}. \quad (2)$$

Тогда, множитель ослабления может быть рассчитан по данным о величине принимаемого сигнала, протяженности трассы и техническим данным о характеристиках приемной и передающей аппаратуры:

$$V_{\text{дБ}} = P_{r, \text{дБ}} - P_{t, \text{дБ}} - G_{t, \text{дБ}} - G_{r, \text{дБ}} - \eta_{t, \text{дБ}} - \eta_{r, \text{дБ}} - 20 \lg \frac{\lambda}{4\pi R}. \quad (3)$$

Уравнение (3) используется для расчета множителя ослабления по экспериментальным данным.

Множитель ослабления может быть рассчитан по известным двумерному профилю трассы и состоянию тропосферы, например, численным методом с помощью программы AREPS [4] или графоаналитическим методом [5]. Разница между результатами экспериментальной оценки по формуле (3) и расчетными величинами по указанным выше методам характеризует величину ошибки предсказания множителя ослабления. Расчетные методы определения множителя ослабления совершенствуются по пути уменьшения ошибки предсказания.

Для определения возможной величины ошибки расчета множителя ослабления были использованы измерения уровня сигнала сканирующего источника, проведенные в ноябре 2007 г. на трассе протяженностью 29 км в окрестностях г. Томска. Приемная позиция располагалась на высоком правом берегу р. Томи. Позиция источника излучения имела препятствия в виде леса на расстоянии примерно 1 км в направлении на пункт приема. Более подробное описание трассы распространения и схема препятствий даны в [6, 7].

В качестве источника излучения использовалась импульсная радиолокационная станция (РЛС) трехсантиметрового диапазона со следующими техническими характеристиками. Ширина главного лепестка ДН антенны РЛС по уровню 0,5 составляла $1,9^\circ$, мощность радиопередатчика – 150 кВт в импульсе, коэффициент усиления антенны – 35,5 дБ. Излучение сигнала горизонтальной или вертикальной поляризации обеспечивалось изменением положения облучателя антенны. Угловое положение антенны при ее сканировании по азимуту фиксировалось с точностью 4 угл. мин. Значения углового положения антенны источника в дальнейшем использовались при обработке.

Приемный пункт включал в себя антенную систему, состоящую из двух антенн, рассчитанных на прием сигналов вертикальной и горизонтальной поляризации, и приемную аппаратуру, позволяющую регистрировать квадратурные составляющие принимаемых сигналов относительно опорного гетеродина [8]. Коэффициент усиления антенн в виде рупора вертикальной поляризации составлял 20 дБ, горизонтальной – 19 дБ при их ширине главного лепестка ДН в горизонтальной плоскости 10° по уровню 0,5 от максимума.

Перед измерениями выполнялась амплитудная калибровка приемных устройств.

Измерения выполнялись сеансами, последовательно, сначала при излучении сигнала вертикальной поляризации, затем при излучении сигнала горизонтальной поляризации. Каждый сеанс измерений содержал записанные в цифровом виде квадратуры принимаемого сигнала с выхода двух антенн в течение трех периодов кругового сканирования антенны РЛС. Период сканирования антенны РЛС составлял 52 с. Всего в обработке было использовано по 20 сеансов при излучении сигналов каждой поляризации.

В результате обработки каждого из сеансов измерений вычислялись амплитуды принимаемых импульсных сигналов и моменты его прихода при согласованном по поляризации приеме с выхода рупора вертикальной поляризации и рупора горизонтальной поляризации (рис. 1).

Из рис. 1 видно, что ДН имеет сильную изрезанность. Видно, что моменты прихода принимаемых сигналов фактически определяются в области главного и первых боковых лепестков ДН источника, где они имеют зависимость от углового положения антенны, приближенно описываемую параболой. Положение минимума параболы, полученное путем усреднения моментов прихода всех сеансов измерения при заданной поляризации сигнала излучения, в соответствии с принципом Ферма можно принять как направление на приемник.

Расчеты средних и СКО амплитуды принимаемого сигнала проводились в линейном масштабе представления амплитуд, гистограммы множителя ослабления представлены в логарифмическом масштабе. Эти данные использовались для определения флуктуаций

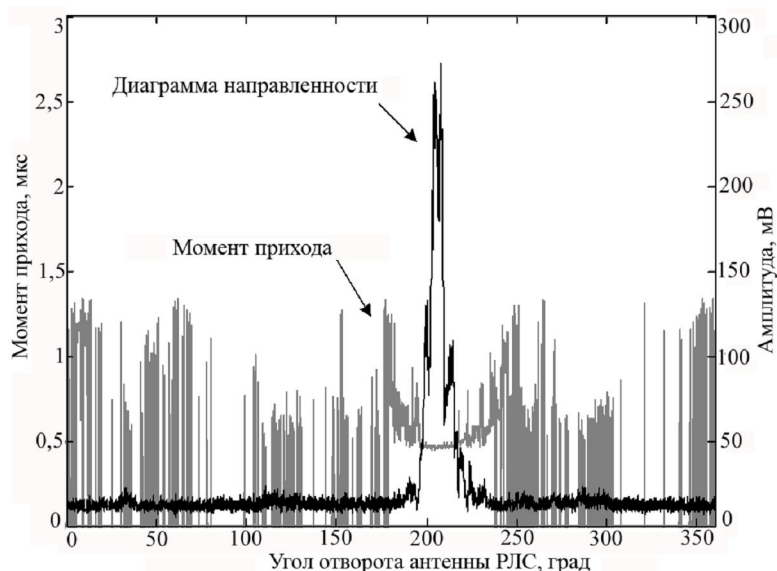


Рис. 1. Образец диаграммы направленности антенны РЛС и измеренных моментов прихода принимаемого сигнала при излучении сигнала горизонтальной поляризации

углового положения ДН антенны источника излучения относительно направления на приемник.

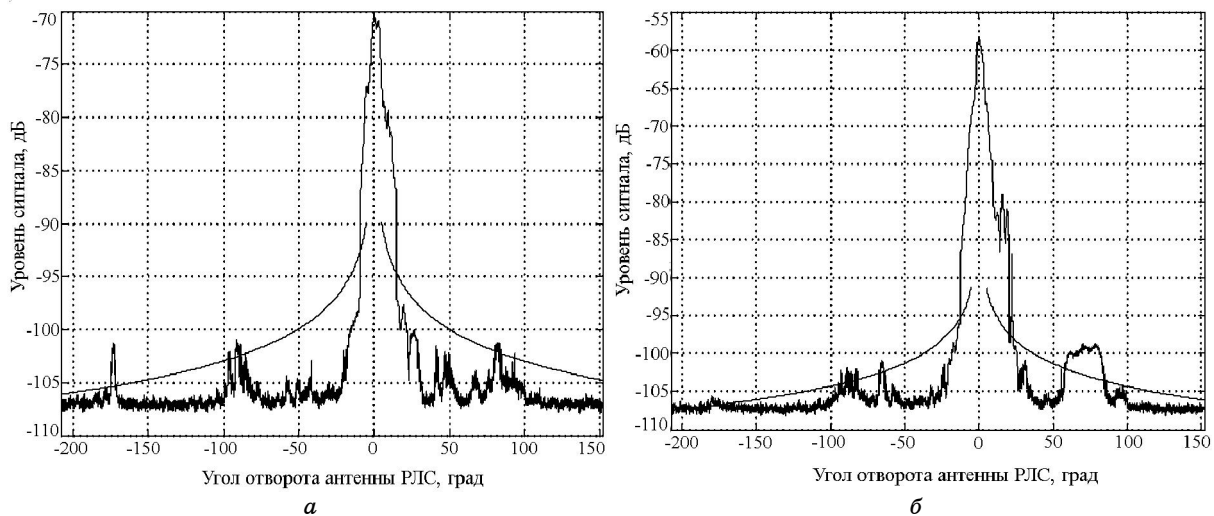


Рис. 2. Средние по 60 реализациям ДН и их аппроксимирующие функции, полученные на согласованной поляризации при излучении сигнала: *а* – горизонтальной поляризации; *б* – вертикальной поляризации

Аппроксимирующая функция огибающих боковых лепестков может быть представлена на следующим образом [1, 9]:

$$\left(\frac{G(\theta)}{G_0}\right), [\text{дБ}] \approx \begin{cases} -12 - 10 \cdot \mu \cdot \lg\left(\frac{\theta}{\theta_0}\right) & \text{при } \theta_0 < \theta \leq \pi; \\ -12 \cdot \left(\frac{\theta}{\theta_0}\right)^2 & \text{при } 0 < \theta \leq \theta_0, \end{cases} \quad (4)$$

где G_0 – коэффициент усиления антенны в направлении главного лепестка; θ – угол между указанным направлением и главным направлением антенны (угол рассогласования); θ_0 – ширина диаграммы направленности антенны; μ – коэффициент, учитывающий качество позиции.

Функция (4) используется для определения класса позиции.

По данным рис. 2 при значении $\mu=1$ расположение РЛС согласно [9] относится к плохо подготовленной позиции (плохой позиции) с равномерным расположением средних отражателей.

В процессе обработки находились отклонения углового положения $\Delta\alpha$ максимума амплитуды принимаемой ДН от направления на приемник, амплитуды принимаемого сигнала в максимуме ДН и амплитуды принимаемого сигнала при угловом положении антенны передатчика в направлении приемника. Под направлением на приемник понимается направление трассы «передатчик – приемник». По полученным данным был рассчитан

Таблица 1

Технические характеристики передающей и приемной аппаратуры

Наименование величин	Частота 9210 МГц	
	Горизонтальная поляризация	Вертикальная поляризация
P_t , кВт	150	150
G_t , дБ	35,5	35,5
G_r , дБ	19	20
η_t , дБ	-0,71	-0,71
η_r , дБ	-0,71	-0,71

множитель ослабления сигнала на трассе и построены его распределения. Распределения в виде гистограмм приведены на рис. 3–5. Для расчета множителя ослабления использовались данные технических характеристик приемной и передающей аппаратуры, которые приведены в табл. 1.

Анализ рис. 3, *а* и 3, *б* показывает, что на исследуемой трассе наиболее вероятно появление максимума ДН при отрицательных значениях углового положения антенны, когда антенна еще не установилась в направлении на приемник. Значения средних величин углового положения максимумов ДН сравнимы и имеют небольшие различия СКО для различных поляризацій. Смещение, по-видимому, определяется формой препятствия, высота которого уменьшается из-за особенностей рельефа местности в сторо-

ну отрицательных углов положения антенны передатчика. Из полученных результатов видно, что максимум ДН антенны может смещаться относительно дуги большого круга на ширину порядка нескольких градусов (порядка ширины ДН антенны источника излучения и более) и флуктуирует в пределах нескольких ширин ДН.

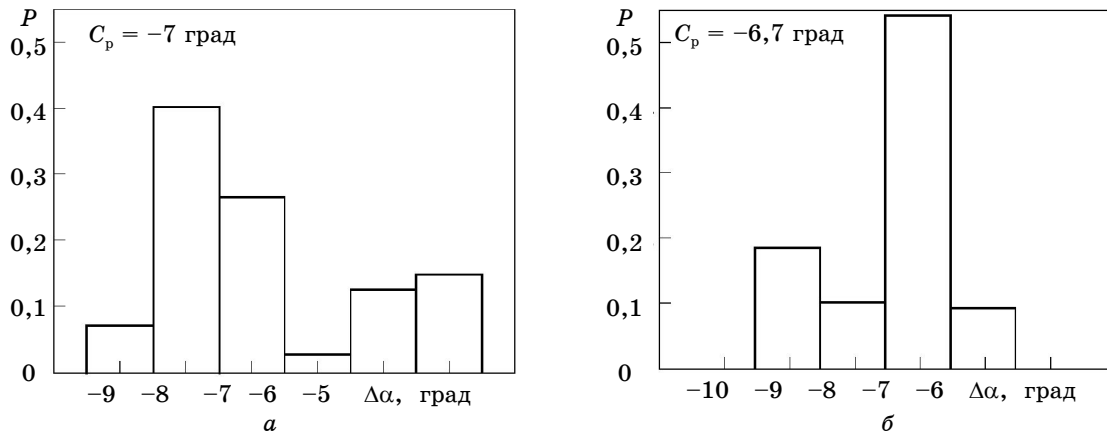


Рис. 3. Гистограмма отклонения углового положения максимумов $\Delta\alpha$ ДН при излучении сигнала: *a* – горизонтальной; *б* – вертикальной поляризации

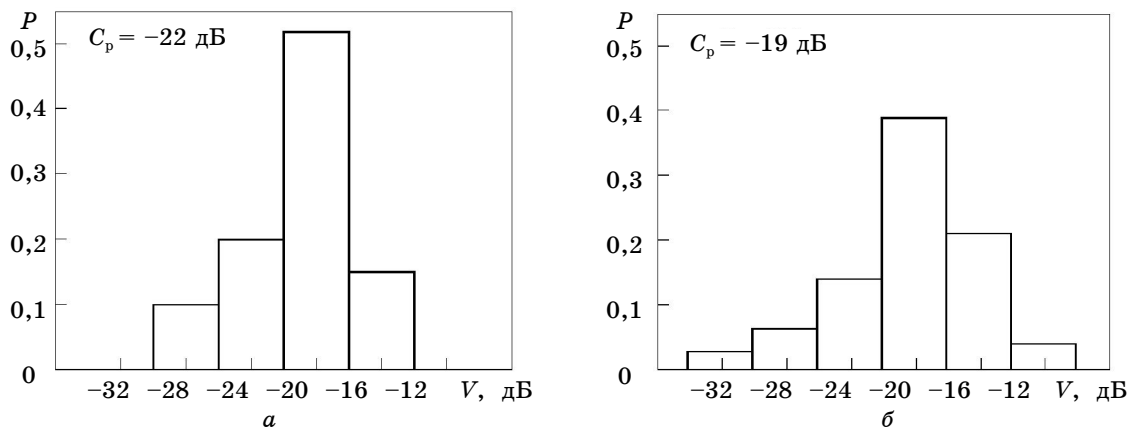


Рис. 4. Гистограмма множителя ослабления сигнала в максимуме диаграммы направленности при излучении сигнала: *a* – горизонтальной; *б* – вертикальной поляризации

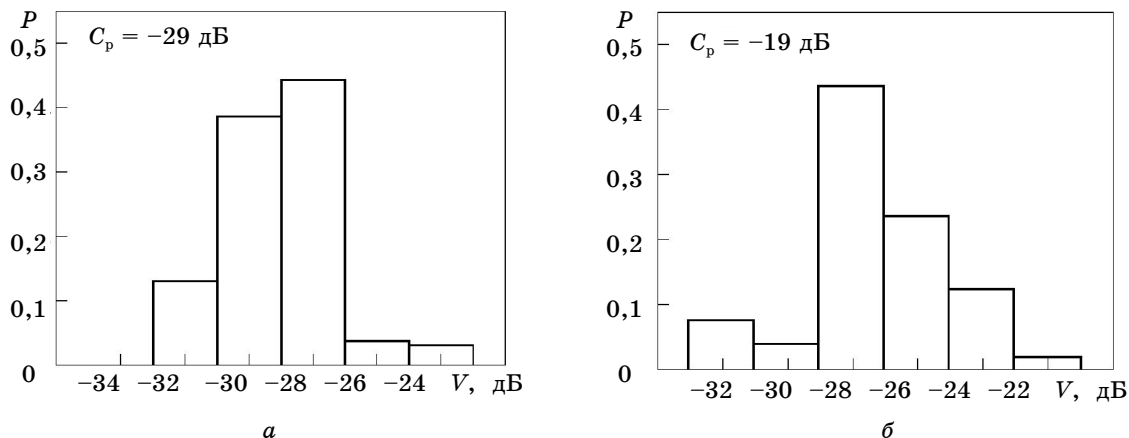


Рис. 5. Гистограммы флуктуаций множителя ослабления сигнала при пересечении ДН РЛС в направлении на приемник при излучении сигнала: *a* – горизонтальной; *б* – вертикальной поляризации

Сводные результаты расчета множителя ослабления принимаемого сигнала на исследуемой трассе приведены в табл. 2.

Таблица 2

Поляризация	Множитель ослабления, дБ		Ошибки оценки уровня сигнала, дБ
	В максимуме ДН	В направлении на приемник	
Горизонтальная	-22	-29	7

Вертикальная	-19	-27	8
--------------	-----	-----	---

Из табл. 2 следует, что оценка уровня сигнала по формуле (2) для пересеченной наземной трассы приводит к завышенным результатам (на 7–8 дБ), так как эта формула не учитывает угловые флуктуации главного максимума ДН передающей антенны.

Таким образом, представленные в настоящей статье результаты указывают на следующие два обстоятельства:

1. При приеме сигнала от источника излучения с узконаправленной сканирующей в круговом режиме антенной положение антенны в максимуме принимаемого сигнала не совпадает с направлением на приемник и может быть как смещенной на постоянную величину для конкретной трассы, так и флуктуировать в пределах 1–2 ширин ДН.

2. Оценка множителя ослабления сигнала на наземных закрытых трассах по максимуму сигнала источника излучения со сканирующей диаграммой дает ошибку в сторону завышения множителя ослабления (на 7–8 дБ) в зависимости от поляризации излучаемого сигнала. Эту ошибку в оценивании множителя ослабления следует учитывать в оценке энергетического потенциала неизвестного источника излучения со сканирующей узконаправленной антенной.

Литература

1. Мельников Ю.П. Воздушная радиотехническая разведка (методы оценки эффективности). – М.: Радиотехника, 2005. – 304 с.
2. Справочник по радиолокации: В 4 т. / Под ред. М. Скольникова; пер. с англ. под общей ред. К.Н. Трофимова. – М.: Сов. радио, 1976. – Т. 1. – 456 с.
3. Фок В.А. Проблемы дифракции и распространения электромагнитных волн. – М.: Сов. радио, 1970. – 517 с.
4. AREPS [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://areps.sprawar.navy.mil/2858/publications/>.
5. Калинин А.И. Распространение радиоволн и работа радиолинии / Л.И. Калинин, Е.Л. Черенкова. – М.: Связь, 1971. – 440 с.
6. Лебедев В.Ю. Связь элементов рельефа местности с задержкой импульсных сигналов сантиметрового диапазона на приземных трассах распространения // Изв. вузов России. Радиоэлектроника. – 2006. – № 6. – С. 40–43.
7. Грицаенко Е.Н. Экспериментальная оценка точности пеленгования по внутриимпульсным фазовым измерениям на наземных трассах прямой видимости в сантиметровом диапазоне / Е.Н. Грицаенко, Н.А. Колядин, М.В. Крутиков // Современные проблемы создания и эксплуатации радиотехнических систем: Труды пятой Всерос. науч.-практ. конф. – Ульяновск: Изд-во Ульян. гос. техн. ун-та, – 2007. – С. 146–148.
8. Измерительный комплекс для исследования пространственно-временного искажения радиосигналов трехсантиметрового диапазона на наземных трассах / М.Е. Ровкин, М.В. Крутиков, А.А. Мещеряков и др. // Изв. вузов России. Радиоэлектроника. – 2006. – №6. – С. 7–11.
9. Влияние позиции на формирование бокового излучения диаграммы направленности сканирующей антенны / Б.П. Дудко, А.А. Мещеряков // Изв. вузов России. Радиоэлектроника. – 2006. – №6, – С.18–23.

Мещеряков Александр Алексеевич

Ст. науч. сотр., канд. техн. наук НИИ радиотехнических систем ТУСУРа

Тел.: (3822) 41-34-55

Эл. почта: rwplab@ms.tusur.ru

Бирюкова Валентина-Кристина Александровна

Мл. науч. сотр. НИИ радиотехнических систем ТУСУРа

Тел.: (3822) 41-38-89

Эл. почта: rwplab@ms.tusur.ru

A.A. Mescheryakov, V.C.A. Biryukova

Experimental investigations of UHF signal loss factor over terrestrial path by means of scanning antenna pattern of radiation source

The results of experimental investigations of signal loss factor over terrestrial path of radio wave propagation are presented. The results have been obtained during processing of scanning antenna pattern records of X-band radiation source.

Key words: attenuation factor, antenna direction pattern, experimental research.