

# ПРЕДЕЛЬНЫЕ РАЗМЕРЫ АПЕРТУРЫ АНТЕННЫ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СТАНЦИИ ПРИ КОМПЕНСАЦИИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВНЕШНЕЙ ПОМЕХИ

Н.Н. МИНЕРВИН

Получено выражение для предельного размера антенны радиолокационной станции при компенсации воздействия внешней помехи. Причиной ограничения размера антенны являются пространственные флуктуации фронта помеховой волны. Эти ограничения сравниваются с ограничениями, имеющими место при отсутствии воздействия внешней помехи. В качестве примера для обоих рассмотренных случаев приведены численные оценки влияния турбулентности тропосферы.

*Ключевые слова:* антенна, радиолокационная станция, помеха, тропосфера.

## ВВЕДЕНИЕ

Возможности компенсации внешней помехи, определяющие в конечном счете отношение сигнал/помеха, ограничиваются случайными флуктуациями фронта помеховой волны.

Целью настоящей статьи является оценка предельных размеров апертуры антенны радиолокационной станции, при которых еще обеспечивается требуемое ослабление воздействия внешней помехи.

Мерой подавления внешней шумоподобной помехи может служить отношение дисперсий помехи на выходе и входе устройств пространственной обработки принимаемых реализаций сигналов и помех

$$\eta = \frac{\sigma_{\text{ВЫХ}}^2}{\sigma_{\text{ВХ}}^2}.$$

Ограничения этого коэффициента ослабления рассмотрены с использованием методов и результатов статистической теории антенн [1] и алгоритмов оптимальной пространственной обработки принимаемых реализаций сигнала и помехи [2] в работе [3].

## ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Далее будут использоваться предельные значения этого коэффициента, которые справедливы для наиболее благоприятных условий ослабления воздействия внешней помехи. Этими условиями являются:

- наличие только одного источника внешней помехи;
- установившийся режим;
- существенное влияние только фазовых флуктуаций;
- радиус корреляции фазовых флуктуаций значительно больше размера апертуры антенны;
- реализовано оптимальное по критерию максимума отношения сигнал/шум амплитудно-фазовое распределение на апертуре антенной системы, которое существенно отличается от случая отсутствия пространственных фазовых флуктуаций помехи (для линейной антенны получено в [3]).

Оценки, приведенные в [3], показали, что отклонения от этих условий ухудшают коэффициент ослабления помехи  $\eta$  в разы.

Для большей наглядности полученных результатов ограничимся рассмотрением линейной антенной системы и фазовым коэффициентом корреляции, описываемым соотношением

$$r_{\varphi} = e^{-|z-z_1|/\rho_{\varphi}},$$

где  $z$  и  $z_1$  — координаты точек антенны, отсчитываемые от центра антенны;  $\rho_{\varphi}$  — радиус корреляции фазовых флуктуаций.

Будем считать также  $\rho_{\varphi} \gg L$ , где  $L$  — длина антенны, т. к. только при этом условии возможно реальное ослабление помехи.

При соблюдении перечисленных условий в [3] получено соотношение

$$\eta = \frac{\sigma_{\varphi}^2 L}{2\rho_{\varphi}},$$

из которого для допустимого размера апертуры антенны следует

$$L \leq 2 \frac{\rho_{\varphi}}{\sigma_{\varphi}^2} \eta. \quad (1)$$

Представляет интерес сравнение этой величины с допустимым размером антенны при отсутствии воздействия внешней помехи.

При отсутствии воздействия внешней помехи будем предельными размерами апертуры антенны считать ее максимальные размеры, в пределах которых еще эффективно когерентное суммирование волн при случайных искажениях ее фронта.

В монографии [1] для оговоренных выше условий в режиме накопления полезного сигнала средняя мощность принимаемых колебаний определяется выражением

$$\overline{|f(\psi)|^2} = \frac{1}{4} \int_{-1}^1 \int e^{-\sigma_{\varphi}^2 \frac{|x-x_1|}{c} + j\psi(x-x_1)} dx dx_1,$$

где  $c = \frac{2\rho_{\varphi}}{L}$  — нормированный радиус корреляции фазовых флуктуаций;  $\psi = \frac{\pi L}{\lambda} \sin \theta$ ;  $\theta$  — реальный угол прихода волн, отсчитываемый от нормали к линии антенны;  $\lambda$  — длина волны;

$x = \frac{2z}{L}$  и  $x_1 = \frac{2z_1}{L}$  – относительные координаты точек  $z$  и  $z_1$ , отсчитываемые от центра антенны.

Амплитудное распределение принято равномерным.

Анализ выражения [1] позволяет получить для антенны, направленной на источник излучения ( $\psi=0$ ), закон убывания мощности сигнала с увеличением длины  $L$  антенны

$$\overline{|f(0)|^2} = 1 - \frac{\sigma_\varphi^2 L}{3\rho_\varphi}.$$

Задаваясь приемлемым уровнем  $\Delta$  относительного падения мощности сигнала, для допустимой длины  $L$  антенны получим

$$L \leq 3 \frac{\rho_\varphi}{\sigma_\varphi^2} \Delta. \quad (2)$$

Сравнение ограничений на длину антенны, накладываемых неравенствами (1) и (2), показывает, что, несмотря на отличие рассматриваемых процессов обработки принимаемых сигналов, требования к длинам антенн определяются одними и теми же параметрами флуктуаций фронта принимаемых волн ( $\rho_\varphi$  и  $\sigma_\varphi^2$ ).

Существенное отличие ограничений (1) и (2) определяется совершенно разными допустимыми значениями ослабления мощности внешней помехи и снижения мощности полезного сигнала.

Требования к  $\eta$  и  $\Delta$  в каждом конкретном случае может быть различным. При дальнейших численных оценках будем использовать относительно слабое неравенство

$$\eta < 0,1\Delta. \quad (3)$$

При этом размер антенны при компенсации внешней помехи должен быть не менее, чем в 15 раз меньше размера антенны при простом накоплении полезного сигнала.

Причинами флуктуаций фронта волны могут быть: неоднородности тропосферы, неоднородности рельефа подстилающей поверхности позиции радиолокационной станции, погрешности изготовления антенн и др.

В качестве примера приведем конкретные оценки влияния флуктуаций диэлектрической проницаемости тропосферы. Необходимые для такой оценки возможные значения дисперсии  $\sigma_\epsilon^2$  флуктуаций диэлектрической проницаемости, а так же соотношения для дисперсии  $\sigma_\varphi^2$  фазовых флуктуаций и радиуса  $\rho_\varphi$  корреляции фазовых флуктуаций имеются в литературе (например, [4]).

Сразу отметим сильную изменчивость характеристик турбулентности тропосферы. Поэтому оценки сделаем для трех значений дисперсии флуктуаций диэлектрической проницаемости: минимального  $\sigma_{\epsilon 1}^2 = 0,25 \cdot 10^{-12}$ , среднего  $\sigma_{\epsilon 2}^2 = 0,45 \cdot 10^{-12}$  и максимального  $\sigma_{\epsilon 3}^2 = 9 \cdot 10^{-12}$ .

Используя имеющиеся в литературе оценки  $\rho_\varphi$  и  $\sigma_\varphi^2$ , в удобных для вычисления единицах имеем

$$\frac{\rho_\varphi [\text{М}]}{\sigma_\varphi^2} = \frac{\lambda^{3,2} [\text{см}]}{r^{1,6} [\text{км}]} L_0^{-0,6} [\text{км}] \times \begin{cases} 0,45 \cdot 10^6, \text{ где } \sigma_{\epsilon 1}^2 \\ 0,45 \cdot 10^4, \text{ где } \sigma_{\epsilon 2}^2, \\ 1,5 \cdot 10^3, \text{ где } \sigma_{\epsilon 3}^2 \end{cases} \quad (4)$$

где  $L_0$  – внешний масштаб турбулентности, который обычно приближенно полагают равным высоте источника излучения (будем считать  $L_0 = 1$  км);  $r$  – путь волны в тропосфере (будем считать  $r = 100$  км).

С использованием соотношений (1)–(4) для  $\Delta = 0,1$  и  $\eta = 0,01$  на рис.1 представлены в логарифмическом масштабе численные оценки предельных размеров  $L_1$  антенн в режиме накопления полезного сигнала (пунктирные линии 1,2 и 3 соответственно для  $\sigma_{\epsilon 1}^2$ ,  $\sigma_{\epsilon 2}^2$  и  $\sigma_{\epsilon 3}^2$ ) и предельных размеров  $L_2$  антенн в режиме компенсации внешней помехи (сплошные линии 4,5 и 6 соответственно для  $\sigma_{\epsilon 1}^2$ ,  $\sigma_{\epsilon 2}^2$  и  $\sigma_{\epsilon 3}^2$ ).

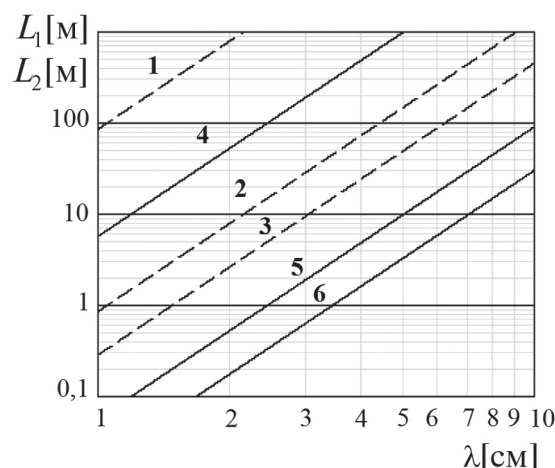


Рис. 1. Предельные размеры антенн

Из рисунка видно, что предельные размеры антенн существенно зависят от степени турбулентности тропосферы и длины волны.

В рассматриваемом диапазоне длин волн слабой турбулентности тропосферы в режиме накопления полезного сигнала (штриховая линия 1) ограничения размера антенны практически нет, а в режиме компенсации внешней помехи (сплошная линия 4) такие ограничения могут возникнуть при длине волны около 1 см.

При средней и максимальной турбулентности тропосферы в режиме накопления полезного сигнала (штриховые линии 2 и 3) ограничения размера антенн могут возникнуть до длины волны около 2 см, а в режиме компенсации внешней помехи (сплошные линии 5 и 6) ограничения могут возникнуть до длины волны около 6 см.

Многие реальные радиолокаторы претендуют на значительно большее ослабление внешней помехи, чем принятое нами при численных оценках (до  $\eta = -30$  дБ). В этом случае ограниче-

ние размеров антенны будет возникать до длин волн более 20 см.

Для низколетящих целей следует ожидать дополнительно существенного влияния неоднородностей подстилающей поверхности позиции радиолокатора (например, поверхности взволнованного моря). Это влияние может стать основным в метровом диапазоне длин волн и для высоколетящих целей.

Приведенный выше материал показывает, что алгоритмы и показатели качества пространственной обработки сигнала при наличии внешней помехи и соответствующие практические рекомендации должны учитывать результаты статистической теории антенн, полученные Я.С. Шифриным [1]. Область их применения шире теории и техники только самих антенн.

#### Литература

- [1] Шифрин Я.С. Вопросы статистической теории антенн. — М.: Сов. радио, 1970. — 384 с.
- [2] Ширман Я.Д., Манжос В.Н. Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех. — М.: Радио и связь, 1981. — 416 с.
- [3] Минервин Н.Н. Влияние случайных искажений в тропосфере помеховой волны на эффективность ее подавления корреляционным автокомпенсатором // Радиотехника. Всеукр. научно-технический сборник. ХНУРЭ, 2006. — Вып. 147. — С. 149–156.
- [4] Кравцов Ю.А., Фейзулин З.И., Виноградов А.Г. Пролохождение радиоволн через атмосферу Земли. — М.: Радио и связь, 1983. — 220 с.

Поступила в редколлегию 8.11.2013

Минервин Николай Николаевич,  
фото и сведения об авторе см. на  
с. 486.

УДК 396.96.001(07)

**Граничні розміри апертури антени радіолокаційної станції при компенсації дії зовнішньої завади / М.М. Мінервін // Прикладна радіоелектроніка: наук.-техн. журнал. — 2013. — Том 12. — № 4. — С. 533–535.**

Отримано вираз для граничного розміру антени радіолокаційної станції при компенсації дії зовнішньої завади. Причиною обмеження розміру антени є просторові флуктуації фронту завадової хвилі. Ці обмеження порівнюються з обмеженнями, що мають місце за відсутності впливу зовнішньої завади. Як приклад для обох розглянутих випадків наведено чисельні оцінки впливу турбулентності тропосфери.

*Ключові слова:* антена, радіолокаційна станція, завада, тропосфера.

Бібліогр.: 4 найм.

UDC 396.96.001(07)

**Limit sizes of radar antenna aperture during compensation of interference influence / N.N. Minervin // Applied Radio Electronics: Sci. Journ. — 2013. — Vol. 12. — № 4. — P. 533–535.**

An expression for the limit size of a radar antenna during compensation of interference influence is obtained. The reasons for limiting the antenna size are space fluctuations of the interference wave front. These limitations are compared with those occurring in the no-interference influence condition. Numerical estimations of influencing troposphere turbulence are given as an illustration for both considered cases.

*Keywords:* antenna, radar, interference, troposphere.

Ref.: 4 items.