

УДК 621.396.967.15

Н.Н. Минервин<sup>1</sup>, В.Д. Карлов<sup>1</sup>, Н.Н. Петрушенко<sup>2</sup>, Е.В. Лукашук<sup>3</sup>, О.Я. Луковский<sup>1</sup><sup>1</sup>Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба<sup>2</sup>Военная часть А0102, Винница<sup>3</sup>Открытое Акционерное Общество «Акционерное Общество Научно-исследовательский институт радиотехнических измерений», Харьков

## ВЛИЯНИЕ ФЛУКТУАЦИЙ ФРОНТА ПОМЕХОВОЙ ВОЛНЫ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЕЕ ПОДАВЛЕНИЯ КОРРЕЛЯЦИОННЫМ КОМПЕНСАТОРОМ В РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ПРИМОРСКОГО БАЗИРОВАНИЯ

В статье проведена математическая оценка влияния случайных искажений в тропосфере фронта помеховой волны на эффективность ее подавления корреляционным компенсатором, а также численная оценка влияния флуктуаций фронта помеховой волны на результат ее компенсации в корреляционном компенсаторе. Рассмотрение проведено применительно к линейным антеннам с линейными фазовыми распределениями. Показано, что корреляция фазовых флуктуаций в пределах антенны изменяется незначительно. Анализу подвергались корреляционные компенсаторы помех применительно к случаям совпадения главных максимумов диаграмм направленности антенн основного и вспомогательного каналов, а также при разнесении их фазовых центров. Получены соотношения позволяющие сделать численные оценки эффективности работы компенсатора помех, как применительно к случаю строгого решения задачи, так и применительно к случаю инженерного подхода с учетом конкретных значений параметров среднеширотной тропосферы.

**Ключевые слова:** корреляционный компенсатор внешней помехи, комплексная амплитуда, коэффициент корреляции, дисперсия, корреляционный момент.

### Введение

**Постановка проблемы:** Ослаблению воздействия помеховых колебаний на работу радиотехнических систем в современной литературе, перечень которой достаточно полно представлен в [1], уделено достаточно большое внимание. При этом рассматривался случай, когда помеховые колебания были результатом преднамеренного воздействия на радиотехнические системы. Результат подавления помеховых колебаний обеспечивался [2] за счет информации об их пространственной когерентности.

Типовая схема корреляционного компенсатора, рассмотренного в работах [1, 2] представлена на рис. 1.

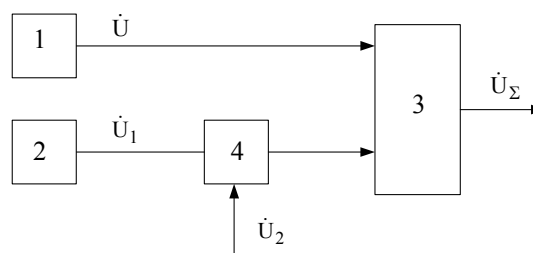


Рис. 1. Корреляционный компенсатор

Схема (рис. 1) содержит основную 1 и вспомогательную 2 антенны, сумматор 3 и перемножитель 4 во вспомогательном канале. В рамках применимости метода комплексных амплитуд для помеховых сигналов, обозначим их как  $\dot{U}$  и  $\dot{U}_1$  в основном и вспомогательном каналах соответственно, а на выходе схемы (рис. 1)  $\dot{U}_\Sigma$ . Напряжение  $\dot{U}_1$  подается на вход перемножителя 4, на другой вход которого в установившемся режиме поступает напряжение  $\dot{U}_2 = -\dot{\rho} \cdot \sigma \cdot \sigma_1^{-1}$ .

Это напряжение  $\dot{U}_2$  определяется среднеквадратическими отклонениями помеховых напряжений в основном  $\sigma$  и вспомогательном  $\sigma_1$  каналах, а также коэффициентом корреляции этих напряжений  $-\dot{\rho} = \langle \dot{U}\dot{U}_1^* \rangle / \sigma\sigma_1$  (угловые скобки здесь и далее – знак статистического усреднения). При этом отношение дисперсии напряжения помехи на выходе компенсатора  $\sigma_\Sigma^2$  к дисперсии напряжения помехи в основном канале  $\sigma^2$  определяется соотношением  $\frac{\sigma_\Sigma^2}{\sigma^2} = 1 - |\dot{\rho}|^2$  и тем меньше, чем выше степень корреляции помеховых напряжений в основном и вспомогательном каналах.

Ослабление корреляции этих напряжений определяется независимыми факторами: собственными шумами в каналах, ошибками настройки и нестабильностью параметров каналов, а также случайными искажениями фронта помеховой волны в турбулентной тропосфере. Особенно существенными такие искажения оказываются в случае локации целей над морем в условиях существования тропосферных радиоволноводов [3]. Как показано в [3, 4] наличие тропосферных радиоволноводов приводит с одной стороны к увеличению дальности локации целей радиолокационными станциями приморского базирования [4], а с другой – к появлению помеховых сигналов, распространяющихся по тропосферным радиоволноводам от источников, находящихся далеко за пределами радиогоризонта. Результаты предварительных исследований, которые носили в основном экспериментальный характер, свидетельствуют о том, что помеховые сигналы, воздействующие по основному и вспомогательному каналам корреляционного компенсатора, имеют меньшую степень корреляции, по сравнению со случаем локации целей над сушей. Поскольку влияние уменьшения коррелированности помеховых сигналов, воздействующих по основному и вспомогательному каналам, рассмотрено в литературе еще недостаточно, его оценка составляет основное содержание настоящей статьи.

**Цель статьи:** оценить влияние случайных искажений фронта помеховой волны в турбулентной тропосфере на эффективность ее подавления корреляционным компенсатором в радиотехнических системах приморского базирования.

### Основная часть

Для того, чтобы выделить влияние отдельных факторов, представим комплексные амплитуды напряжений в каналах в виде сумм  $\dot{U} = \dot{U}_\Pi + \dot{U}_\Psi$  и  $\dot{U}_1 = \dot{U}_{\Pi 1} + \dot{U}_{\Psi 1}$ , где  $\dot{U}_\Pi$  и  $\dot{U}_{\Pi 1}$  – комплексные амплитуды напряжений, создаваемых внешней помехой на выходе антенн соответственно основного и вспомогательного каналов,  $\dot{U}_\Psi$  и  $\dot{U}_{\Psi 1}$  – комплексные амплитуды внутренних шумоподобных напряжений, вызванных собственным шумом, ошибками настройки и нестабильностью параметров каналов. С учетом взаимной независимости всех напряжений кроме  $\dot{U}_\Pi$  и  $\dot{U}_{\Pi 1}$  значительного превышения в каждом канале дисперсии  $\sigma_n^2$  и  $\sigma_{n1}^2$  внешних помех над дисперсиями  $\sigma_\Psi^2$  и  $\sigma_{\Psi 1}^2$  внутренних шумов, пренебрегая величинами второго порядка малости, после преобразований получим

$$\frac{\sigma_\Sigma^2}{\sigma^2} \cong 1 - |\dot{\rho}_n|^2 + \frac{\sigma_\Psi^2}{\sigma_n^2} + \frac{\sigma_{\Psi 1}^2}{\sigma_{n1}^2}.$$

Первые два слагаемых этого выражения

$$\xi = 1 - |\dot{\rho}_n|^2 \quad (1)$$

определяют возможности ослабления внешней помехи, ограниченные случайными искажениями фронта помеховой волны.

Оценивание величины  $|\dot{\rho}_n|^2$  будем далее производить на примере линейных антенн с линейными фазовыми распределениями, с равномерным или оптимальным амплитудными распределениями. При этом комплексную амплитуду напряжения  $\dot{U}_\Pi$  на выходе антенны можно заменить нормированным комплексным множителем системы  $\dot{I}(\psi)$  [5]. Для линейной антенны с равномерным амплитудным распределением  $I(\psi) = \frac{1}{L} \int_{-L/2}^{L/2} e^{-j[bx + \varphi(x)]} dx$ , где

$b = \frac{2\pi}{\lambda} \sin \theta$  – регулярное изменение фазы на единичной длине апертуры антенны;  $L$  – ее размер;  $\psi = bL/2$  – обобщенный угол;  $\lambda$  – длина волны,  $\theta$  – угол между нормалью к антенне и направлением на источник излучения;  $\varphi(x)$  – распределение вдоль антенны случайных фазовых флуктуаций,  $x$  – координата сечения антенны, отсчитывается от ее центра.

При использовании нормированного комплексного множителя системы  $\dot{I}(\psi)$  имеем

$$|\dot{\rho}_n|^2 = |\dot{K}|^2 / DD_1, \quad (2)$$

где,

$$D = \langle |\dot{i}|^2 \rangle, \quad D_1 = \langle |\dot{i}_1|^2 \rangle - \quad (3)$$

дисперсии;

$$\dot{K} = \langle \dot{i}_1^* \rangle - \quad (4)$$

взаимный корреляционный момент множителей системы основной и вспомогательной антенн.

При определении корреляционных моментов (3) и (4) будем использовать линейный закон убывания коэффициента корреляции фазовых флуктуаций

$$r_\varphi(x-s) = \frac{\langle \varphi(x)\varphi(s) \rangle}{\sigma_\varphi^2} = \begin{cases} 1 - |x-s|/\rho_\varphi & \text{при } |x-s| \leq L/2; \\ 0 & \text{при } |x-s| > L/2, \end{cases} \quad (5)$$

где  $\sigma_\varphi^2$  – дисперсия;  $\rho_\varphi$  – радиус корреляции фазовых флуктуаций.

Выбор такого закона связан с незначительным изменением корреляции в пределах антенны ( $\rho_\varphi \gg L$ ).

С использованием методов статистической теории антенн [5] при принятом коэффициенте корреляции (5) дисперсия множителя системы основной антенны во всех рассмотренных далее случаях определяется соотношениями

$$D(\psi) = e^{-2a} F^2(\psi) + \frac{2a - e^{-2a}}{2(\psi^2 + a^2)} + \frac{\psi^2 - a^2}{2(\psi^2 + a^2)^2}; \quad (6)$$

где  $F(\psi) = \frac{\psi \sin \psi - a \cos \psi}{\psi^2 + a^2}$ ;  $\tilde{a} = \sigma_\varphi^2 / \rho_\varphi$  – параметр,

характеризующий искажения фронта помеховой волны;  $a = \tilde{a}L/2$  – параметр, определяющий влияние искажений фронта помеховой волны на эффективность подавления помехи, что будет показано ниже.

Дисперсия множителя системы вспомогательной антенны  $D_1$  и коэффициент корреляции множителей системы основной и вспомогательной антенн  $\dot{K}$  зависят от их размеров, взаимного расположения и настройки. Рассмотрим несколько типовых случаев.

Проанализируем сначала случай, когда диаграмма направленности антенны вспомогательного канала не согласована с направлением прихода помеховой волны. Ограничимся частным случаем совпадения главных максимумов диаграмм направленности антенн основного и вспомогательного каналов с равномерными амплитудными распределениями. В этом случае для дисперсии множителя системы антенны вспомогательного канала справедливо вы-

ражение (6) при заменах:  $L \rightarrow L_1$ ,  $\psi \rightarrow \psi_1 = bL_1/2$ ,  $a \rightarrow a_1 = \tilde{a}L_1/2$ , где  $L_1$  – длина вспомогательной антенны.

Для корреляционного момента множителей системы в этом случае получим:

$$\dot{K} = \frac{\exp\{-a\}}{(\psi^2 + a^2)^2} \left[ (\psi^2 - a^2) \left( \cos \psi \cos \psi_1 a \frac{\text{sha}_1}{a_1} + \sin \psi \text{cha}_1 \psi \frac{\sin \psi}{\psi_1} \right) + 2a\psi \left( \sin \psi \cos \psi_1 a \frac{\text{sha}_1}{a_1} \times \right. \right. \quad (7)$$

$$\left. \left. \times \cos \psi \text{cha}_1 \psi \frac{\sin \psi_1}{\psi_1} \right) \right] + \frac{a}{\psi^2 + a^2}.$$

Если главный максимум диаграммы направленности антенны вспомогательного канала направлен на источник помехи, то при равномерном амплитудном распределении и размере  $L_1 \leq L$  дисперсия ее множителя системы определяются соотношением (6) при  $\psi = 0$ ,  $L = L_1$  и  $a = a_1$

$$D_1 = \frac{1}{2a_1^2} (e^{-2a_1} + 2a_1 - 1). \quad (8)$$

Для этого случая взаимный корреляционный момент множителей системы антенн каналов определяется соотношением

$$\dot{K}(l) = \frac{1}{LL_1} \int_{-L/2}^{L/2} e^{-jbs} \left( \int_{-L/2}^{L/2} e^{-\tilde{a}|x-s|+jbx} dx \right) ds.$$

Здесь  $l$  – расстояние между фазовыми центрами основной и вспомогательной антенн. При совмещении фазовых центров антенн ( $l = 0$ ) получим:

$$\dot{K}(0) = BF + A, \quad (9)$$

где  $B = e^{-a} \frac{\text{sha}_1}{a_1}$ ,  $A = \frac{a}{\psi^2 + a^2} \frac{\text{sha}_1}{a_1}$ .

При разнесении фазовых центров антенн в пределах  $0 \leq l \leq (L - L_1)/2$  (апертуры основной и вспомогательной антенн перекрываются полностью) имеем:

$$\dot{K}(l) = BF \text{ch} \tilde{a}l + A \cos bl - j(BG \text{sh} \tilde{a}l - A \sin bl), \quad (10)$$

где

$$G = \frac{\psi \cos \psi + a \sin \psi}{\psi^2 + a^2}.$$

При разнесении фазовых центров антенн в пределах  $(L - L_1)/2 \leq l \leq (L + L_1)/2$  (апертуры антенн перекрываются частично) получим:

$$\dot{K}(l) = e^{-a} \frac{\text{sh}[(a + a_1 - \tilde{a}l)/2]}{a_1} \times \left\{ \text{ch}[(a - a_1 + \tilde{a}l)/2] F - j \text{sh}[(a - a_1 + \tilde{a}l)/2] G \right\} + \frac{a}{\psi^2 + a^2} \frac{\sin[(\psi + \psi_1 - bl)/2]}{\psi_1} e^{j(\psi - \psi_1 + bl)/2} + e^{-(a+a_1+\tilde{a}l)/2} \frac{\text{sh}(-a + a_1 + \tilde{a}l)}{a_1} \frac{\text{sh}(a + j\psi)}{a + j\psi}. \quad (11)$$

При разнесении фазовых центров антенн на расстояния  $l \geq (L + L_1)/2$  (апертуры антенн; не перекрываются) получим выражение:

$$\dot{K}(l) = e^{(-\tilde{a}l)/2} \frac{\text{sh}(a + j\psi) \text{sha}_1}{a + j\psi a_1}. \quad (12)$$

Соотношения (1) – (4) и (6) – (12) позволяют сделать численные оценки  $\xi$  ограничений эффективности подавления помехи компенсатора, обусловленных влиянием внешних факторов.

Наряду с этими точными соотношениями имеет смысл получить их упрощенные приближения, учитывая реальные значения используемых параметров и позволяющие более наглядно выявить основные закономерности.

Значения  $\sigma_\phi^2$  и  $\rho_\phi$  в тропосфере таковы [3, 4, 6, 7], что обычно можно полагать  $\tilde{a} \ll 1$ . При воздействии помехи по боковым лепесткам диаграммы направленности основной антенны можно считать  $\psi \gg a$ .

При этих допущениях с погрешностью порядка  $a^2$  справедливы более простые соотношения.

Для дисперсии множителя системы антенны основного канала вместо (6) можно использовать

$$D(\psi) = \left( \frac{\sin \psi}{\psi} \right)^2 (1 + 2a \text{ctg}^2 \psi). \quad (13)$$

Это же соотношение при заменах  $a \rightarrow a_1$ ,  $\psi \rightarrow \psi_1 = bL_1/2$  справедливо для дисперсии множителя системы вспомогательной антенны, если она направлена так же, как и основная антенна.

Для дисперсии множителя системы антенны вспомогательного канала, если направление главного лепестка ее диаграммы направленности совпадает с направлением прихода помеховой волны, вместо (8) можно использовать

$$D_1(0) = 1 - 2a_1/3. \quad (14)$$

Для взаимного корреляционного момента множителей системы основной антенны и так же направленной вспомогательной антенны с совпадающими фазовыми центрами вместо (7) получаем

$$\dot{K}(0) = \frac{\sin \psi}{\psi} \frac{\sin \psi_1}{\psi_1} (1 - a). \quad (15)$$

Для взаимного корреляционного момента множителей системы основной антенны и направленной на источник помехи вспомогательной антенны вместо (9) – (12) можно использовать соотношения:

$$\dot{K}(l) = \frac{\sin \psi}{\psi} \{1 - a[1 + \xi(l)]\}; \quad (16)$$

$$\xi(l) = \begin{cases} 0 & \text{при } 0 \leq l \leq (L - L_1)/2; \\ \frac{L}{4L_1} \left(1 - \frac{L_1}{L} - \frac{2l}{L}\right)^2 & \text{при } (L - L_1)/2 \leq l \leq (L + L_1)/2; \\ \frac{2l}{L-1} & \text{при } l \geq (L + L_1)/2. \end{cases} \quad (17)$$

Используя формулы (1), (2), (13) – (17), получим достаточно точные, простые и наглядные соотношения для оценки ограничений ослабления помехи, обусловленных флуктуациями фронта ее волны.

При совмещении фазовых центров основной и вспомогательной антенн и одинаковом направлении главных максимумов их диаграмм направленности имеем

$$\xi = \frac{2a(1 + \text{ctg}^2 \psi + \text{ctg}^2 \psi_1)}{1 + 2a(\text{ctg}^2 \psi + \text{ctg}^2 \psi_1)}. \quad (18)$$

При произвольном значении величины  $l$  разности фазовых центров основной и вспомогательной антенн и направленности последней на источник помехи получаем

$$\xi = \frac{2a}{1 + 2a \text{ctg}^2 \psi} \left[ 1 + \text{ctg}^2 \psi - \frac{L}{3L} + \xi(l) \right]. \quad (19)$$

Предельные возможности компенсации внешней активной помехи, обусловленные искажением фронта ее волны, можно оценить, используя результаты анализа оптимальной обработки сигналов на фоне собственных шумов и внешней помехи с искаженным фазовым фронтом. Для принятых выше допущений о некоррелированности по времени и пространству собственных шумов, и некоррелированности по времени, но коррелированности по пространству внешней помехи с коэффициентом корреляции фазовых флуктуации (5), оптимальная пространственная обработка сводится к следующему.

Пространственная обработка в основном канале по-прежнему согласована с направлением прихода полезного сигнала и определяется соотношениями (6) и (13).

Пространственная обработка во вспомогательном канале должна быть согласована с направлением прихода внешней помехи, но используется неравномерное зависящее от интенсивности внешней помехи амплитудное распределение вдоль апертуры вспомогательной антенны. Размеры апертуры основной и вспомогательной антенн должны быть равными, а их фазовые центры совмещены. Нормированное значение комплексного множителя системы вспомогательной антенны описывается соотношениями:

$$\dot{I}_1 = \frac{1}{L} \int_{-L/2}^{L/2} \text{ch} \tilde{\alpha} x e^{j\phi(x)} dx;$$

$$\tilde{\alpha} = \sqrt{\tilde{a}\chi + \tilde{a}^2}; \quad \chi = \frac{\sigma_{n1}^2}{\sigma_{ш1}^2}$$

отношение дисперсий флуктуаций помехи и собственного шума во вспомогательном канале. Дисперсия  $\dot{I}_1$  определяется соотношениями:

$$D_1 = \frac{1}{\chi} \left[ \frac{e^{-a}}{c} \left( \frac{\alpha}{a} \sin \alpha \text{cha} - \text{ch} \alpha \text{sha} \right) - \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{\text{sh} 2\alpha}{2\alpha} \right) \right],$$

где  $c = \frac{\chi}{\text{ch}\alpha + \frac{\alpha}{a}\text{sh}\alpha}$ ,  $\alpha = \bar{a}L/2$ .

При  $\alpha \ll 1$  соотношение для  $D_1$  упрощается до вида

$$D_1 = (1-a) \left( \frac{\alpha \text{sh}\alpha}{\chi a} \right)^2. \quad (20)$$

Взаимный корреляционный момент нормированных множителей системы основной и вспомогательной антенн описывается соотношениями

$$\begin{aligned} \dot{K} \langle \dot{ii}_1^* \rangle &= \frac{1}{\chi} e^{-a} \left( \frac{\alpha}{a} \text{sh}\alpha \text{ch}\alpha - \text{ch}\alpha \text{sh}\alpha \right) F + \\ &+ \frac{a}{a^2 + \psi^2} \frac{\alpha \text{sh}\alpha \text{ch}\psi + \psi \text{ch}\alpha \text{sh}\psi}{\alpha^2 + \psi^2}. \end{aligned}$$

При  $\alpha \ll 1$  и  $\alpha \ll \psi$  это соотношение упрощается до вида

$$\dot{K} = (1-a) \frac{\alpha \text{sh}\alpha}{\chi a} \frac{\sin \psi}{\psi}. \quad (21)$$

Используя соотношения (1), (2), (13), (20) и (21) для оценки предельно возможного ослабления внешней помехи, получаем

$$\xi = a \frac{1 + 2\text{ctg}^2 \psi}{1 + 2\text{actg}^2 \psi}. \quad (22)$$

Основные закономерности влияния флуктуаций фронта помеховой волны на конечный результат ее компенсации в корреляционном компенсаторе, определяемые соотношениями (18), (19) и (22), проиллюстрированы графиками, приведенными на рис. 2 – 5.

На рис. 2 для случая оптимальной обработки изображены зависимости относительного ослабления мощности помехи  $\sigma_\Sigma^2 / \sigma_n^2$  от обобщенного параметра, при фиксированных значениях отклонений  $\Delta\psi$  обобщенного угла  $\psi$  от направления максимума бокового лепестка.

Зависимости, обозначенные цифрами 1, 2, 3 и 4, соответствуют  $\Delta\psi = 60, 45, 30$  и  $0^\circ$ . Относительное ослабление мощности помехи практически пропорционально (а), составляет единицы (а) и зависит

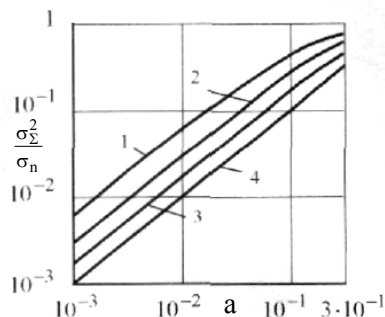


Рис. 2. Влияния флуктуаций фронта помеховой волны на конечный результат ее компенсации

Зависимость относительного ослабления помехи от разнеса фазовых центров основной и вспомогательной антенн для двух размеров  $L_1$  вспомогательной антенны  $L_1 \ll L$  и  $L_1 = L$  проиллюстрирована на рис. 3. Амплитудное распределение в обоих случаях полагалось равномерным, а фазовое распределение вспомогательной антенны соответствовало направлению прихода помехи. Из рисунка видно, что влияние разнеса фазовых центров антенн становится существенным тогда, когда апертуры антенн перестают перекрывать друг друга.

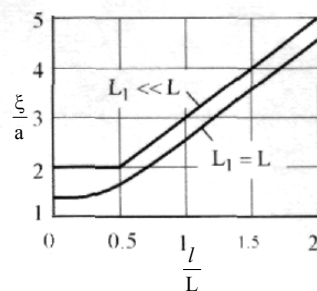


Рис.3 Зависимость относительного ослабления помехи от разнеса фазовых центров основной и вспомогательной антенн

Представление о зависимости относительного ослабления мощности помехи от обобщенного угла прихода помехи для случая слабо направленной диаграммы вспомогательной антенны, несогласованной с направлением прихода помехи (18), приведена на рис. 4.

Графики, представленные на рис. 5, позволяют сравнить влияние различных факторов на относительное ослабление мощности помехи. На нем кривая 1 соответствует оптимальной обработке, кривые 2 и 3 – направленной вспомогательной антенне соответственно при  $L_1 \ll L$  и  $L_1 = L$  кривая 4 – ненаправленной вспомогательной антенне.

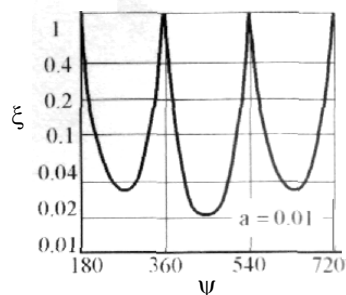


Рис.4. Зависимости относительного ослабления мощности помехи от обобщенного угла прихода помехи

В литературе (например, [6, 7]) имеются необходимые для оценки возможных значений параметра (а), теоретические соотношения и экспериментальные данные. Для дисперсии  $\sigma_\phi^2$  и радиуса коге-

рентности  $\rho_\phi$  фазовых флуктуаций сферической волны справедливы соотношения:

$$\sigma_\phi^2 = 0,065C_\epsilon^2 k^2 r L_0^{5/3};$$

$$\rho_\phi = (0,27C_\epsilon^2 k^2 r)^{-3/5};$$

$$C_\epsilon^2 = 2\sigma_\epsilon^2 / L_0^{2/3},$$

где  $r$  – путь волны;  $k = 2\pi/\lambda$  – волновое число;  $\lambda$  – длина волны;  $\sigma_\epsilon^2$  – дисперсия флуктуаций относительной диэлектрической проницаемости среды,  $L_0$  – ее внешний масштаб турбулентности.

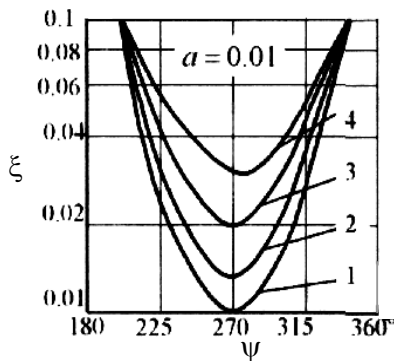


Рис. 5. Влияние различных факторов на относительное ослабление мощности помехи

Используя эти отношения, имеем

$$\tilde{a} = \frac{\sigma_\phi^2}{\rho_\phi} = 32L_0^{3/5} \sigma_\epsilon^{16/5} \left( \frac{r}{\lambda^2} \right)^{8/5}.$$

Принимая за внешний масштаб турбулентности  $L_0$  высоту полета помехоносителя 1 км и экспериментальные оценки [3, 4, 6, 7] среднеквадратического отклонения диэлектрической проницаемости тропосферы  $\sigma_\epsilon = (0.5 \div 3)10^{-6}$ , полученные экспериментально в условиях существования тропосферных радиоволноводов над Черным морем в диапазоне высот от поверхности моря до двух километров, а также используя единицы измерения  $m^{-1}$  для  $\tilde{a}$  и сантиметры для  $\lambda$  и километры для  $r$ , получим соотношение

$$\tilde{a}[m^{-1}] = (4,7 \cdot 10^{-6} \dots 1,5 \cdot 10^{-3}) \left( \frac{r[км]}{\lambda^2[см]} \right)^{8/5},$$

позволяющее для конкретного размера антенны оценить параметр  $a = \tilde{a}L/2$ . Чтобы получить единую оценочную зависимость (а) от длины волны  $\lambda$  для различных антенн используем приближенную связь  $L[м] \approx 1 \sqrt{\lambda[см]}$ .

В этом выражении  $l$  имеет размерность  $[м см^{-1/2}]$ . Отметим, что при такой оценке используется сравнительно небольшие размеры антенн.

Приближенная оценка (а) для широкого диапазона размеров антенн в этом случае описывается соотношением

$$a(2,3 \cdot 10^{-6} \dots 7,2 \cdot 10^{-4})r^{1/6}[\text{км}]\lambda^{-2,7}[\text{см}].$$

Определяемая им численная связь между  $r$ ,  $\lambda$  и (а) иллюстрируется рис. 6 – 8 для максимального, среднего и минимального среднеквадратических значений флуктуаций диэлектрической проницаемости тропосферы.

Зависимости 1, 2 и 3 построены для значений  $\xi = 10^{-1}, 10^{-2}$  и  $10^{-3}$ , соответствующих порядкам значений ослабления мощности помехи

$$\xi = \sigma_\Sigma^2 / \sigma_n^2 \sim 1, 10^{-1} \text{ и } 10^{-2}.$$

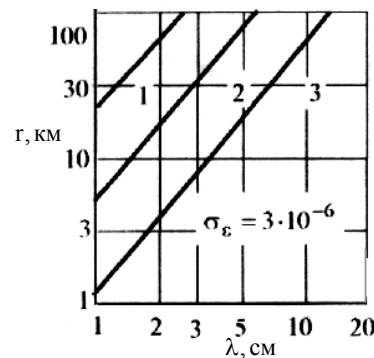


Рис. 6. Численная связь между путем волны  $r$  и длиной волны  $\lambda$

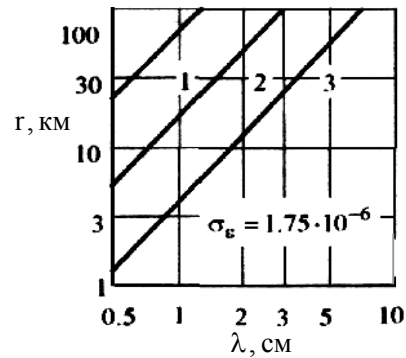


Рис. 7. Численная связь между путем волны  $r$  и длиной волны  $\lambda$

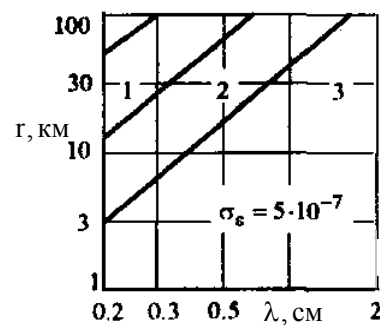


Рис. 8. Численная связь между путем волны  $r$  и длиной волны  $\lambda$

## Выводы

Приведенные численные оценки указывают на определяющую роль метеорологических условий в сантиметровом диапазоне длин волн. В этом диапазоне условия распространения помеховой волны не влияют на эффективность ее подавления в спокойной тропосфере и могут быть определяющими в условиях воздействия помеховых сигналов обусловленных возникновением над морем тропосферных волноводов.

Среднеквадратическое значение флуктуаций диэлектрической проницаемости может изменяться на порядок в течение суток. Оно максимально весной и осенью.

В дециметровом диапазоне длин волн флуктуации диэлектрической проницаемости не оказывают существенного влияния при рассмотренных уровнях подавления помехи.

В миллиметровом диапазоне длин волн это влияние значительно при любом состоянии тропосферы.

Из изложенного следует также, что при анализе результатов пространственной обработки в корреляционных компенсаторах помех даже при небольших размерах антенн необходим статистический подход [5].

## Список литературы

1. Радиоэлектронные системы. Основы построения и теория: справочник / Под ред. Я.Д. Ширмана. – М.: Радиоэлектроника, 2007. – 510 с.
2. Ширман Я.Д. Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех / Я.Д. Ширман, В.Н. Манжос. – М.: Радио и связь, 1981. – 480 с.
3. Экспериментальное исследование параметров тропосферных радиоволноводов над морем / В.Д. Карлов, Н.Н. Петрушенко, Е.В. Лукашук, А.В. Челпанов // Системы управления, навигации та зв'язку: зб. наук. пр. – К.: ЦНДІ НУ, 2008. – Вип. 3 (7). – С. 54-57.
4. К вопросу о выборе позиции радиотехнической системы приморского базирования / В.Д. Карлов, Н.Н. Петрушенко, Е.В. Лукашук, А.В. Челпанов // Системы управления, навигации та зв'язку. – К.: ЦНДІ НУ, 2008. – Вип. 2(6). – С. 10-14.
5. Шифрин Я.С. Вопросы статистической теории антенн / Я.С. Шифрин. – М.: Сов. радио, 1970. – 380 с.
6. Рытов С.М. Введение в статистическую радиофизику. Часть II. Случайные поля / С.М. Рытов, Ю.А. Кравцов, В.И. Татарский. – М.: Наука, 1978. – 460 с.
7. Кравцов Ю.А. Прохождение радиоволн через атмосферу Земли / Ю.А. Кравцов, З.И. Фейзулин, А.Г. Виноградов. – М.: Радио и связь, 1983. – 420 с.

Поступила в редколлегию 24.11.2008

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.И. Карпенко, Харьковский университет Воздушных сил им. И. Кожедуба, Харьков.

### ВПЛИВ ФЛУКТУАЦІЙ ФРОНТУ ЗАВАДОВОЇ ХВИЛІ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЇЇ ПРИДУШЕННЯ КОРЕЛЯЦІЙНИМ КОМПЕНСАТОРОМ У РАДІОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ ПРИМОРСЬКОГО БАЗУВАННЯ

М.М. Мінервін, В.Д. Карлов, М.М. Петрушенко, О.В. Лукашук, О.Я. Луковський

У статті проведена математична оцінка впливу випадкових перекручувань у тропосфері фронту завадової хвилі на ефективність її придушення кореляційним компенсатором, а також чисельна оцінка впливу флуктуацій фронту завадової хвилі на результат її компенсації в кореляційному компенсаторі. Розгляд проведений стосовно до лінійних антен з лінійними фазовими розподілами. Показано, що кореляція фазових флуктуацій у межах антени змінюється незначно. Аналізу піддавалися кореляційні компенсатори перехід стосовно до випадку збігу головних максимумів діаграм спрямованості антен основного й допоміжного каналів, а також при рознесенні їхніх фазових центрів. Отримано співвідношення що дозволяють зробити чисельні оцінки ефективності роботи компенсатора перехід як стосовно до випадку строго рішення завдання, так і стосовно до випадку інженерного підходу з урахуванням конкретних значень параметрів середньо широтної тропосфери.

**Ключові слова:** кореляційний компенсатор зовнішньої переходи, комплексна амплітуда, коефіцієнт кореляції, дисперсія, кореляційний момент.

### INFLUENCE OF FLUCTUATIONS OF FRONT POMEHOVOJ OF THE WAVE ON EFFICIENCY OF ITS SUPPRESSION BY THE CORRELATION EQUALISER IN RADIO ENGINEERING SYSTEMS OF SEASIDE BASING

N.N. Minervin, V.D. Karlov, N.N. Petrusenko, H.V. Lukashuk, O.Ya. Lukovskiy

In article the mathematical rating of influence of casual distortions in troposphere of front interfering waves on efficiency of its suppression by the correlation equaliser, and also a numerical rating of influence of fluctuations of front interfering waves on result of its indemnification in the correlation equaliser is lead. Consideration is lead with reference to linear antennas with linear phase distributions. It is shown, that correlation phase fluctuations within the limits of the aerial changes insignificantly. Correlation equalisers of handicapes with reference to a case of concurrence of the main maxima of diagrams of an orientation of aerials of the basic and auxiliary channels were exposed to the analysis, and also at separation their phase centers. Parities allowing are received to make numerical ratings of an overall performance of the equaliser of handicapes both with reference to a case is strict decisions of a problem, and with reference to a case of the engineering approach in view of concrete values of parameters of middle-latitude troposphere.

**Keywords:** correlation compensate of external noise, complex amplitude, coefficient of correlation, dispersion, correlation moment.