

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ РАДИОМЕТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ САМОНАВЕДЕНИЯ

В.Ю. Косухин
(представил проф. А.М. Сотников)

Получены аналитические выражения для оценки точности радиометрических систем самонаведения.

Постановка проблемы. Радиометрические системы (РМС) применяются для наведения и самонаведения снарядов, ракет, тактического оружия; получения изображений наземных объектов; нахождения минных заграждений; маловысотной навигации летательных аппаратов (ЛА); наблюдения за полем боя; изучения контрастов разно-яркостной температуры (РЯТ) наземных объектов; радиоастрономических исследований; космических исследований; глобального наблюдения и контроля земной поверхности; составления каталогов излучательной способности земной поверхности и объектов на ней. Основной характеристикой РМС является точность системы. С учетом особенностей применения радиометрических систем самонаведения (РМССН), а также характера оперативно-тактической обстановки, для исследования точностных характеристик рассматриваемой системы необходимо располагать аналитическими выражениями, позволяющими получить количественные оценки точности самонаведения.

Анализ литературы. Анализ литературы [1 – 4] показал, что в настоящее время отсутствуют аналитические выражения, позволяющие производить оценку точности РМССН. В литературе [2 – 4] приведены выражения, на основании которых можно провести оценку точности радиотехнических систем, определяемой только отношением сигнал/шум. Однако для оценки точности РМССН необходимо произвести некоторые уточнения, связанные с особенностями самой системы.

Цель статьи. Оценить точность РМССН, которая позволяет учесть качественные взаимосвязи между элементами системы и получить на основе подхода, используемого в теории оценок параметров сигналов, выражение для точности РМССН для дальнейшей разработки ССН перспективных высокоточных боеприпасов.

Одной из основных характеристик, предъявляемых к РМССН, является точность самонаведения высокоточного оружия на цель. Поэтому

для оценки точности систем самонаведения необходимо располагать аналитическими выражениями, позволяющими получить требуемые количественные оценки. Для получения выражения, позволяющего производить оценку точности РМССН, воспользуемся неравенством Рао-Крамера [1, 2] для нижней границы дисперсии ошибки

$$\sigma_{\tau}^2 = \left[-2q \frac{\partial^2}{\partial \tau^2} |\psi(\tau)|_{\tau=0} \right]^{-1}, \quad (1)$$

где $2q$ – отношение сигнал/шум; $\psi(\tau)$ – корреляционная функция.

Из выражения (1) следует, что для оценки точностных характеристик РМССН необходимо располагать корреляционной функцией сигнала на выходе системы и отношением сигнал/шум принимаемого сигнала. Известно [3], что корреляционная функция $K(t)$ процесса и его спектральная плотность $S(\omega)$ связаны соотношением

$$K(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S(\omega) e^{j\omega t} d\omega. \quad (2)$$

В соответствии с тем, что радиометр в первом приближении представляет собой линейную стохастическую систему, спектр принимаемого сигнала представим следующим образом:

$$S_T(\omega) = G_p(\omega) S_s(\omega), \quad (3)$$

где $G_p(\omega)$ – частотная характеристика (ЧХ) радиометра.

Исходя из выражения (3), для оценки точности РМССН необходимо располагать частотными характеристиками антенны и ФНЧ радиометра.

Известно, что пространственная ЧХ антенны радиометра $G_A(\omega)$ определяется как преобразование Фурье нормированной ДН по мощности $C_A(x)$ [4]. В свою очередь, ДН антенны радиометра в области главного лепестка может быть аппроксимирована гауссовой кривой

$$C_A(x) = C_0 \exp\left(-\pi x^2 / \Delta_a^2\right), \quad (4)$$

где $\Delta_a = 2h \operatorname{tg}(\theta_a/2) \approx h\theta_a$ – линейное разрешение антенны; h – высота полета ВТАРБ; θ_a – ширина ДН антенны радиометра.

Коэффициент C_0 в выражении (4) может быть найден из соотношения

$$C_0 \approx \sqrt{G} \approx 1/\Delta_a, \quad (5)$$

где G – КНД антенны.

Переходя от пространственных частот к физическим путем замены в выражении (4) параметра X на произведение скорости полета высокоточного боеприпаса V и времени визирования t , а также учтя выражение (5), найдем ЧХ антенны преобразованием Фурье от (4):

$$G_{\Lambda}(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\Delta_a} \exp \left[-\pi \left(\frac{V_t}{\Delta_a} \right)^2 \right] \exp(-j\omega t) dt - \frac{1}{V} \exp \left(-\frac{\omega^2 \Delta_a^2}{4\pi V^2} \right). \quad (6)$$

ЧХ ФНЧ также может быть аппроксимирована гауссовой кривой [4]

$$G_{\Phi}(\omega) = G_0 \exp \left(-\omega^2 / \Delta F^2 \right), \quad (7)$$

где ΔF – полоса пропускания (ПП) ФНЧ.

Коэффициент G_0 в выражении (7) найдем из условия нормировки

$$2\Delta F = G_0 \int_{-\infty}^{\infty} \exp \left(-\omega^2 / \Delta F^2 \right) d\omega = G_0 \sqrt{\pi} \Delta F, \quad (8)$$

откуда
$$G_0 = 2 / \sqrt{\pi}. \quad (9)$$

В результате на основании выражений (6), (7) и (8) с учетом (3) ЧХ радиометра будет иметь вид

$$G_p(\omega) = \frac{2}{\sqrt{\pi V}} \exp \left[-\omega^2 \left(\frac{1}{\Delta F^2} + \frac{\Delta_a^2}{4\pi V^2} \right) \right]. \quad (10)$$

В (10) обозначим
$$\frac{1}{\Delta F^2} + \frac{\Delta_a^2}{4\pi V^2} = \frac{1}{\Delta_{\Sigma}^2}, \quad (11)$$

где Δ_{Σ} – эквивалентная полоса пропускания радиометра.

Тогда выражение (10) примет следующий вид

$$G_p(\omega) = \frac{2}{\sqrt{\pi V}} \exp \left(-\frac{\omega}{\Delta_{\Sigma}} \right)^2. \quad (12)$$

В соответствии с выражениями (2) и (3) вторая производная корреляционной функции в нуле будет определяться следующим выражением

$$K''(0) = -\frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \omega^2 S(\omega) d\omega, \quad (13)$$

или, подставив вместо $S(\omega)$ выражение для спектра принимаемого сигнала, в соответствии с (3) получим

$$K_p''(0) = -\frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \omega^2 G_p(\omega) S_{\Sigma}(\omega) d\omega. \quad (14)$$

Выражение (14) определяет разрешающую способность радиометра. Спектр эталонного сигнала

$$S_{\Sigma}(\omega) = \frac{2V\alpha}{(V\alpha)^2 + \omega^2} \approx \frac{2V\alpha}{\omega^2}, \quad (15)$$

где α – величина, обратная интервалу корреляции принимаемого сигнала.

Теперь на основании выражений (12), (13) и (14) запишем окончательное выражение для разрешающей способности радиометра

$$K_p''(0) = -\frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} 2V\alpha \frac{2}{\sqrt{\pi}V} \exp\left(-\frac{\omega}{\Delta\Omega}\right)^2 d\omega = -\frac{2}{\pi} \alpha \Delta\Omega. \quad (16)$$

Переходя от физических частот к пространственным, а также учтя (11), выражение (16) перепишем в виде

$$K_p''(0) = -\frac{2}{\pi} \alpha \Delta\Omega \frac{1}{V} = -\frac{4}{\sqrt{\pi}} \frac{\alpha \Delta F}{\sqrt{4\pi V^2 + \Delta_a^2 \Delta F^2}}. \quad (17)$$

Исходя из полученных соотношений в соответствии с выражением (2), формула для оценки дисперсии ошибки РМССН будет иметь вид

$$\sigma_p^2 = \frac{\sqrt{\pi}}{8} \cdot \frac{T_{ш}^2}{\sum_{i=1}^n \Delta T_{я}^2} \cdot \frac{\sqrt{4\pi V^2 + \Delta_a^2 \Delta F^2}}{\alpha \Delta f}. \quad (18)$$

Выражение (18) позволяет оценить точность РМССН в зависимости от отношения сигнал/шум на выходе радиометра, скорости и высоты полета высокоточного боеприпаса.

Выводы. Полученные аналитические выражения для оценки точности РМССН позволяют оценить точностные характеристики системы в зависимости от реальных радиоярких температур объектов, используемых для привязки ССН, скорости движения ССН, а также характеристики элементов приемных трактов радиометров. Численные оценки, выполненные на основании полученных соотношений, показывают, что РМССН могут обеспечить в зависимости от района места определения точность наведения в пределах от менее единиц до десятков метров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Куликов Е.И., Трифонов А.Г. *Оценка параметров сигналов на фоне помех.* – М.: Сов. радио, 1978. – 296 с.
2. Фалькович С.Е. *Оценка параметров сигналов.* – М.: Сов. радио, 1970. – 336 с.
3. Тихонов В.Н. *Статистическая радиотехника.* – М.: Радио и связь, 1982. – 623 с.
4. Евсиков Ю.А., Папурский В.В. *Преобразование случайных процессов в радиотехнических устройствах.* – М.: Высшая школа, 1977. – 264 с.

Поступила 6.02.2004

КОСУХИН Валерий Юрьевич, научный сотрудник Научного центра (РВиА). В 1992 году окончил Харьковское ВВКИУ РВ. Область научных интересов – радиометрия.