

ВЕРОЯТНОСТЬ ПРОПУСКАНИЯ ОРГАНИЗОВАННЫХ ПОМЕХОВЫХ СИГНАЛОВ СОГЛАСОВАННЫМ ФИЛЬТРОМ ЭЛЕКТРОННОГО БЛОКА В ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ САМОНАВЕДЕНИЯ

В.В. Кулалаев

(представил д.т.н., проф. В.И. Карпенко)

Предложена модель расчета вероятности пропуска организованных помеховых сигналов согласованным фильтром электронного блока в оптических системах самонаведения. Приведены количественные показатели, влияющие на вероятность прохождения организованной помехи.

Введение. По взглядам зарубежных военных экспертов [1], при разработке высокоточного оружия (ВТО), в том числе переносных зенитных ракетных комплексов (ПЗРК) с оптическими головками самонаведения (ОГС), основной проблемой является не поражение целей, а проблема обнаружения, распознавания и измерения координат оптическими системами самонаведения [2]. Возможность применения ПЗРК с ОГС террористами для поражения авиалайнеров гражданской авиации [3] делает проблему борьбы с системами наведения ВТО особенно актуальной [4].

В СССР научные работы данного направления велись по решениям правительства. С 1991 г. в Украине автор проводит работы самостоятельно, при поддержке негосударственных структур.

Целью данной работы является разработка модели расчета вероятности пропуска специально организованных, устройством противодействия (УП), помеховых сигналов согласованным фильтром электронного блока (ЭБ) ОГС зенитных управляемых ракет (ЗУР) для определения их влияния на возможный срыв процесса самонаведения, когда ЗУР утрачивает способность выполнять целевую задачу в течении требуемого времени.

Известно [5], что согласованный фильтр ЭБ ОГС максимизирует отношение сигнала к шуму в заданный момент времени $\tau_m = T$:

$$\left(\frac{S}{N}\right) \rightarrow \left(\frac{S}{N}\right)_{\max}, \quad (1)$$

где S – полезный сигнал; N – сигнал шума.

В системах самонаведения [6] и слежения для надежной работы ОГС отношение (1) определяется величинами

$$\left(\frac{S}{N}\right)_0 = 3 \div 8. \quad (2)$$

Назовем эту величину паспортной для систем обнаружения и автоматического самонаведения.

Помеховый оптический модулированный сигнал от УП ОГС воспринимается совместно с полезным стационарным оптическим сигналом от цели и находится по формуле

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{\Pi} \rightarrow \left(\frac{S}{N_0}\right) (1 + K_{\Pi} F_{\Pi}(*, \tau)), \quad (3)$$

где $K_{\Pi} = \frac{\Phi_{\text{ЭП}}}{\Phi_{\text{Э0}}}$ – коэффициент излучения ИК-помехового сигнала УП;

$F_{\Pi}(*, \tau)$ – закон пространственной модуляции помехового сигнала, $* = x, y, z$.

Естественно, что вероятность ошибки сопровождения и наведения ОГС ЗУР, при воздействии помехового сигнала УП, будет существенно зависеть от вероятности пропускаемого согласованным фильтром ЭБ ОГС оптического помехового сигнала УП, после электронного преобразования. Для теоретического исследования этого вопроса используем математическую модель процесса взаимодействия лучистого потока от цели, совмещенной с УП с оптической системой ОГС, связанными пространственным кинематическим звеном обратной связи между ЗУР и целью в виде

$$r(T) = k\Phi_{\text{Э0}} + n_{\Pi}(T), \quad (4)$$

где $n_{\Pi}(T) = k\Phi_{\text{ЭП}} F(*, \tau)$ – преобразованный в электронном блоке (ЭБ) анализатора изображения ОГС модулированный оптический сигнал УП (помеховый сигнал); k – коэффициент пропорциональности ЭБ ОГС;

$$k\Phi_{\text{Э0}} = S_0(\tau_m) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} |S(\omega)|^2 d\omega, \quad (5)$$

где $S_0(\tau_m)$ – преобразованный пиковый сигнал от цели без помехового сигнала УП на выходе согласованного фильтра ЭБ ОГС; $S(\omega)$ – преобразование Фурье основного сигнала $S(\tau)$.

Поэтому вопрос о том, прошел ли помеховый сигнал $n_{\Pi}(T)$ совместно с $k\Phi_{\text{Э0}} = S_0(\tau_m)$, решается наличием прохождения выходного сигнала ЭБ ОГС в блок управления рулями ЗУР в момент времени $\tau = T$,

т.е. когда выполняется условие (4). Очевидно, что составляющая помехового сигнала $p_{\Pi}(T)$ УП приводит к ложному отклонению рулей ЗУР и величина $r(T)$ в любом случае определяет ошибку процесса автоматического самонаведения ОГС.

Принимаем следующие предположения, что если $r(T) > \alpha$, помеховый сигнал прошел фильтр ЭБ ОГС, если $r(T) < \alpha$, то помеховый сигнал УП не оказывает воздействия на тракт управления ЗУР. Для прохождения помехового сигнала УП следует найти значение $\alpha = \alpha_{кр}$, когда данный параметр принимает критическое значение и приводит к ошибкам нахождения координат цели ОГС. Принимаем также, что организованные оптические «шумы» УП подчиняются Гауссовской кривой [5], тогда распределение $p(x)$ выражается функцией плотности вероятности амплитуды x в виде (рис. 1):

$$p(x) = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma_x^2}\right), \quad (6)$$

где $\sigma_x^2 = \tilde{N}^2$ среднее значение квадрата оптического организованного «шума» – излучение УП.

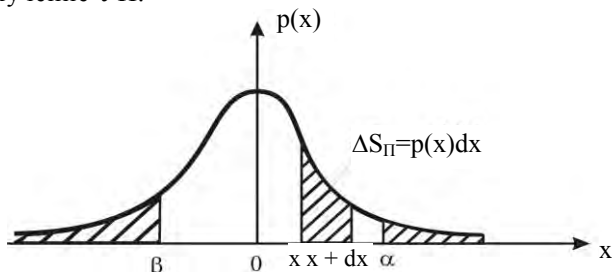


Рис. 1. Определение функции плотности вероятности помехового излучения УП

Из рис. 1 видно, что плотность вероятности представляет собой относительную частоту появления заданного организованного оптического помехового сигнала УП. Функция $p(x)$ нормирована таким образом, что площадь ΔS_{Π} определяет вероятность того, что помеховый сигнал УП находится на интервале $(x; x + dx)$ в течении времени

$$dT = \sum_{i=1}^{\infty} dt_i$$

и проходит фильтр с относительной частотой в указанном интервале, равной

$$\bar{f}_{\Pi} = dT/T,$$

тогда

$$p(x) = \sum_{i=1}^{\infty} \frac{d\tau_i}{T}. \quad (7)$$

Вероятность события прохождения помехи УП определяется площадью под кривой $P(x)$ в заданном интервале $(x_1; x_2)$, которая находится как

$$P(x_1 < x < x_2) = \int_{x_1}^{x_2} p(x) dx.$$

Переход к принятым обозначениям $x > \alpha$ и $x < \beta$ (рис.1) приводит к следующим формулам:

$$P(x > \alpha) = \int_{-\infty}^{\infty} p(x) dx; \quad P(x < |\beta|) = \int_{-\infty}^{\infty} p(x) dx.$$

Если принять, что среднее значение квадрата шума согласованного фильтра ЭБ ОГС равно [5, стр. 30]:

$$n_0^2(\tau_m) = Nk\Phi_{\text{Э}0} / 2,$$

где N – спектральная плотность мощности белого шума ЭБ ОГС, тогда плотность распределения вероятности прохождения помехового сигнала через фильтр составит

$$P(\dot{x}) = P_x = \left(\frac{1}{\sqrt{\pi N k \Phi_{\text{Э} \Pi}}} \exp \left\{ -\frac{x^2}{N k \Phi_{\text{Э} \Pi}} \right\} \right). \quad (8)$$

Если также на входе в фильтр ЭБ ОГС основной сигнал управления $k\Phi_{\text{Э}0}$ отсутствует, то на его выходе наблюдается помеховый сигнал УП $n_{\Pi}(T)$ с плотностью распределения вероятности, определяемой формулой (8). Пусть $r = n_{\Pi}(T)$. Тогда, если сигнал от цели $k\Phi_{\text{Э}0}$ присутствует и определен соотношением (5), распределение вероятностей смещается на постоянную величину $k\Phi_{\text{Э}0}$ и принимает вид

$$P(r) = \frac{1}{\sqrt{\pi N k \Phi_{\text{Э}0}}} \exp \left\{ -\frac{(r - k\Phi_{\text{Э}0})^2}{N k \Phi_{\text{Э}0}} \right\}. \quad (9)$$

В момент времени решения процесса фильтрации $\tau_m = T$ картина плотности вероятности колебаний на выходе согласованного фильтра имеет вид, схематично показанный на рис. 2. Как принято выше, помеховый сигнал УП проходит (да), если $r > \alpha$ и приводит к ошибке сопровождения цели

ОГС при $r \geq \alpha_{кр}$, и не проходит (нет) при $r < \alpha$. Из рис. 2 видно, что помеховый сигнал в любом случае проходит при $r > \alpha$, т.к. он преобразуется в анализаторе изображения цели ОГС по закону обработки сигнала, который определяется законом $f_{ОГС}(\tau)$ и не зависит от основного сигнала $k\Phi_{Э0}$.

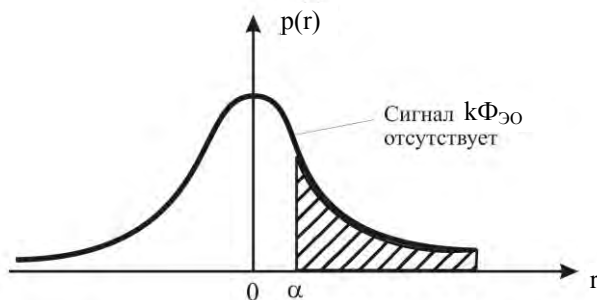


Рис. 2. Распределение плотности вероятности помехового сигнала на выходе согласованного фильтра ЭБ ОГС в момент решения

В общем случае решение $r > \alpha$ в момент времени $\tau_m = T$ приводит к ошибкам самонаведения ОГС (ложные тревоги [5]). В нашем случае организации пространственно-модулированных помех УП «ложные тревоги» вносятся постоянно в тракт управления ЭБ ЗУР через входной зрачок ОГС и в случае $r \geq \alpha_{кр}$ приводят к ошибкам сопровождения цели в картинной плоскости (плоскости предметов), что в конечном итоге определяет вероятность невыполнения задачи ЗУР – $P_{срв}$.

Как видно из графиков на рис. 3 (а, б), помеховый сигнал УП проходит всегда, независимо от прохождения основного сигнала от цели $k\Phi_{Э0}$, и плотность вероятности его прохождения $p_{П}(T)$ определяется заштрихованными участками на графиках.

Вероятность прохождения ошибки (сигнала УП) сопровождения цели максимальна, если сумма двух заштрихованных площадей на графиках распределения плотностей вероятностей будет максимальной (рис. 3, б) и выполняется условие

$$r \geq \alpha_{кр},$$

что в конечном итоге определяется критериями срыва, которые определяются тактико-техническими характеристиками УП.

Вероятность прохождения ошибки сопровождения цели в ЭБ координатора ОГС максимальна при выполнении условия

$$\alpha_{кр} \geq \frac{k\Phi_{Э0}}{2}. \quad (10)$$

Выражение, определяющее максимальную вероятность сопровождения цели с ошибкой, совмещенной пространственно с УП, с учетом формулы (10) приводится к виду

$$\alpha_{кр} \geq k\Phi_{ЭП} F_{\Pi}(*, \tau). \quad (11)$$

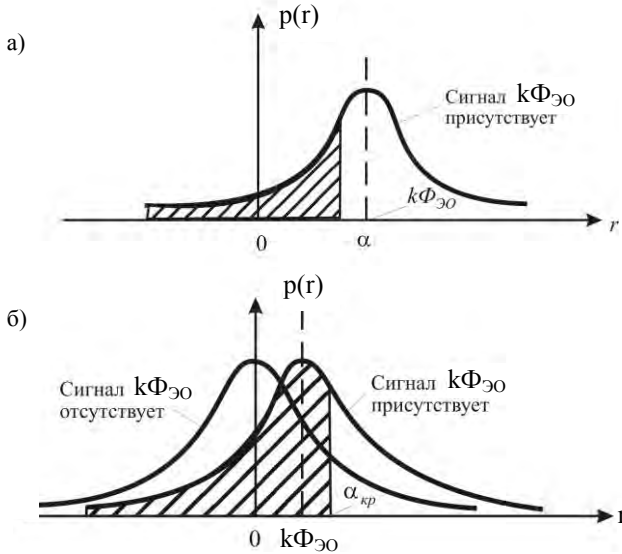


Рис. 3. Определение критического порога срыва сопровождения цели ОГС ЗУР при воздействии оптического помехового сигнала УП (средняя вероятность срыва максимальна при $\alpha_{кр} > \frac{1}{2}k\Phi_{Э0}$)

При условии, что

$$\Phi_{ЭП} F_{\Pi}(*, \tau) \geq \frac{1}{2} \Phi_{Э0} \quad (12)$$

или, принимая $F_{\Pi}(*, \tau) = 1,0$ (максимальное значение помехового сигнала УП), окончательно получаем

$$\Phi_{ЭП} \geq \frac{1}{2} \Phi_{Э0} \quad (13)$$

или

$$K_{\Pi} = \frac{\Phi_{ПЭ}}{\Phi_{Э0}} \geq \frac{1}{2}. \quad (14)$$

Вывод. Из анализа изложенного выше материала следует:

1) организованный оптический помеховый сигнал, после преобра-

зования в анализаторе изображения, проходит согласованный электронный фильтр ОГС всегда. Однако, его помеховая эффективность не зависит от формы сигнала, а определяется его мощностью, т.е. коэффициентом K_{Π} (ΔS_{Π} , рис.1). Ошибки самонаведения ОГС будут максимальными, если диапазон оптического излучения помехи и цели самонаведения будут одинаковыми и совпадать с рабочими диапазонами ОГС, т.е. $\Delta\lambda_{\Pi_i} = \Delta\lambda_{\Pi_i} = \Delta\lambda_{\text{ОГС}_i}$;

2) анализ зависимости (14) показывает, что максимальная вероятность прохождения ошибки сопровождения возникает при помеховом сигнале УП, определяемом коэффициентом излучения помехи K_{Π} , равном 0,5 и выше, при $F_{\Pi}(*, \tau) = 1,0$;

3) следует учитывать, что срыв сопровождения цели ОГС определяется и другими важными параметрами, как время процесса срыва $\Delta\tau_{\text{срв}}$, с; время воздействия помехи на ОГС ЗУР – $\Delta\tau_{\Pi}$, с, $\Delta\tau_{\Pi} = n\Delta\tau_{\text{им}}$ ($n = 1, 2, 3, \dots$); время импульса помехи $\Delta\tau_{\text{им}}$, с, определяемое законом пространственной модуляции УП – $F_{\Pi}(*, \tau)$ и энергетическими характеристиками системы защиты K_{Π} .

ЛИТЕРАТУРА

1. Каваносян С.В., Рудаков И.А., Черей Г.И. Анализ основных факторов, влияющих на развитие зарубежных ракетных комплексов (обзор). – М.: ЦНИИМаш, 1995. – 76 с.
2. Соколов Н.С. Разработка бортовых средств РЭБ в Европе // *Новости зарубежной науки и техники (системы авиационного вооружения)*. – 1989. – № 14. – С. 8 – 22.
3. Кулалаев В.В., Кулалаев А.В., Науменко П.О. Состояние и перспективы разработок систем защиты самолетов гражданской авиации от террористических пусков ракет с тепловыми головками самонаведения // *Авіаційно-космічна техніка і технологія*. – 2003. – Вип. 40/5. – С. 13 – 18.
4. Ольгин С. Проблемы оптоэлектронного противодействия (по взглядам зарубежных военных специалистов) // *ЗВО*. – 2002. – № 9. – С. 35 – 40.
5. Латхи Б.П. Системы передачи информации. – М.: Связь, 1971. – 319 с.
6. Лазарев Л.П. Инфракрасные и световые приборы самонаведения и наведения летательных аппаратов. – М.: Машиностроение, 1976. – 568 с.

Поступила 22.03.2004

КУЛАЛАЕВ Виктор Валентинович, к.т.н., доцент, докторант ХАИ. Окончил ХАИ в 1975 году. Область научных интересов – разработка систем противодействия

устройствам оптического самонаведения.