

УДК 623.46.001:621.532

В.В. КУЛАЛАЕВ

*Национальный аэрокосмический университет им Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина*

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ ПРОЦЕССА СРЫВА СОПРОВОЖДЕНИЯ ЦЕЛИ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ САМОНАВЕДЕНИЯ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ОРГАНИЗОВАННЫХ ПОМЕХОВЫХ ОПТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ УСТРОЙСТВА ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ

Представлен метод расчета времени процесса срыва сопровождения цели оптической системой самонаведения при облучении ее помеховыми, специально организованными, оптическими сигналами устройства противодействия (УП). Получены аналитические зависимости для расчета параметров взаимодействия помехового излучения с оптико-электронным трактом управления системы самонаведения.

**оптика, самонаведение, помеха, срыв сопровождения,**

### Введение

Защита летательных аппаратов от поражения зенитными управляемыми ракетами (ЗУР) с оптическими головками самонаведения (ОГС), в том числе и авиалайнеров гражданской авиации, объявлена научной и технической проблемой XXI века [1, 2]. Обзор работ данного научного направления можно найти в [3 – 5], где отмечено, что в настоящее время развитые страны вкладывают огромные средства в создание УП ОГС ЗУР. Работы данного направления в СССР выполнялись по Решению Правительства. С 1991 года, в Украине, автор проводит исследования по собственной инициативе, при поддержке негосударственных структур.

Целью данной работы является разработка модели процесса срыва автоматического самонаведения ОГС ЗУР и определение промежутка времени данного процесса, в результате которого ЗУР утрачивает способность выполнять целевую задачу.

Известно [6], что при решении задач автоматического самонаведения современных ЗУР с ОГС наиболее рациональным является метод пропорционального сближения. Проведем детальное исследование этого метода с учетом воздействия помехового сигнала УП на оптико-электронный тракт управления ЗУР с ОГС.

Предлагаемая модель процесса срыва системы самонаведения представлена на рис. 1.

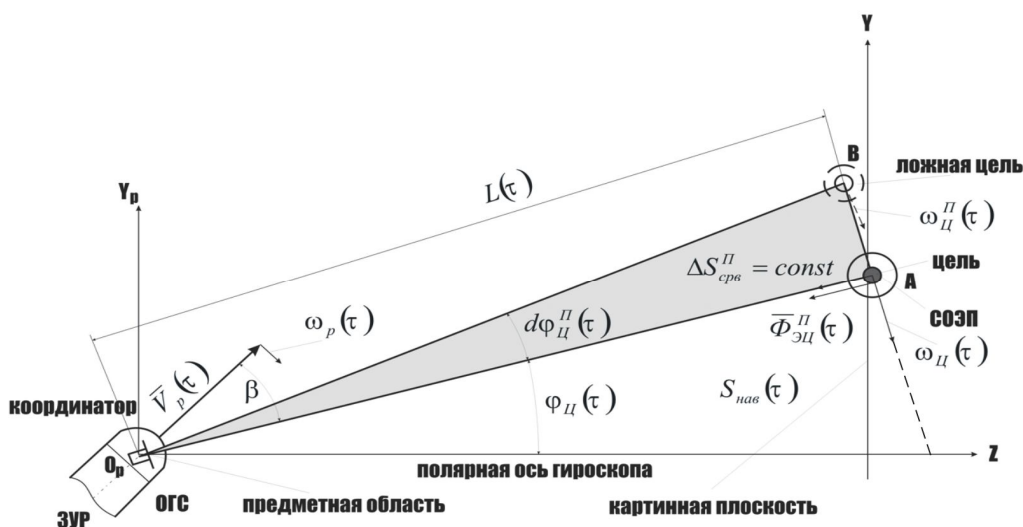


Рис. 1. Модель процесса срыва автоматического самонаведения ОГС ПЗРК

На рис. 1  $L$  – расстояние до цели (объекта самонаведения);  $\Delta S_{срв}^{\Pi} = 1/2 \cdot L^2 \Delta \varphi_{\Pi}^{\Pi}(\tau)$  – «площадь», образованная параметрами срыва процесса самонаведения;  $S_{нав}(\tau) = 1/2 \cdot L^2 \varphi_{\Pi}(\tau)$  – «площадь», образованная параметрами процесса автоматического самонаведения;  $\overline{\Phi}_{\Delta\Pi}^{\Pi}(\tau) = 1 + K_{\Pi} F_{\Pi}(*, \tau)$  – приведенный лучистый поток от цели, пространственно совмещенной с УП;  $F_{\Pi}(*, \tau)$  – закон модуляции помехи;  $*$  –  $x, y, z$  – координаты;  $\tau$  – текущее время;  $K_{\Pi} = \Phi_{\Delta\Pi} / \Phi_{\Delta 0}$  – коэффициент интенсивности излучения помехи УП;  $\Phi_{\Delta\Pi}, \Phi_{\Delta 0}$  – лучистый поток от помехи и цели, соответственно;  $V_p$  – скорость ЗУР; СОЭП – система оптоэлектронного противодействия.

При воздействии оптического помехового сигнала УП, в рабочих оптических диапазонах ОГС ЗУР и при пропускиании этих сигналов оптико-электронным фильтром ЭБ ЗУР, возникает помеховая составляющая угла рассогласования цели

$$\Delta \varphi^{\Pi}(\tau) = K_{ЭБ} \frac{1}{\Delta \tau_{\Pi}} \Phi_{\Delta\Pi} K_{\Pi} F_{\Pi}(*, \tau) f_{ОГС}(\tau), \quad (1)$$

где  $\overline{\Delta \tau_{\Pi}} = \frac{\Delta \tau_{\Pi}}{\tau_{\Gamma}}$  – приведенный коэффициент дискретного времени, определяющий время воздействия помехового сигнала УП на оптико-электронный тракт управления ОГС ЗУР;

$K_{ЭБ}$  – коэффициент пропорциональности оптико-электронного блока ОГС.

Величину  $\overline{\Delta \tau_{\Pi}}$  можно найти с использованием процедуры вычисления функции Lambert  $W$ , где  $W(\overline{\Delta \tau_{\Pi}})$  [8]. В результате расчетов получена зависимость, которая имеет два действительных корня  $W_0(\overline{\Delta \tau_{\Pi}})$  и  $W_{-1}(\overline{\Delta \tau_{\Pi}})$ , причем

$$W(\overline{\Delta \tau_{\Pi}}) = K_{\Pi} \beta(\tau), \quad (2)$$

где

$$\beta(\tau) = \frac{\omega_0 \tau_{\Gamma}}{\xi_0} \left( 1 - \exp \left\{ - \frac{\tau}{\tau_{\Gamma}} \right\} \right); \quad (3)$$

$\omega_0$  – угловая скорость цели при «захвате» ОГС;  $\xi_0$  – паспортное значение погрешности определе-

ния угла рассогласования цели координатором ОГС ЗУР.

В общем случае коэффициент  $\overline{\Delta \tau_{\Pi}}$  можно назвать обобщенным приведенным интервалом дискретности помехового излучения УП, которое определено законом  $F(*, \tau)$  и имеет важнейшее значение при определении эффективности системы защиты различных объектов от ЗУР с ОГС. При этом дискретность помехового излучения УП функционально связана с законом обработки сигналов в анализаторе изображения ОГС  $f_{ОГС}(\tau)$ , т.е. с дискретностью работы его электронного блока по зависимости, полученной автором

$$F(*, \tau) f_{ОГС}(\tau) = 1, 0. \quad (4)$$

Помеховая составляющая  $\Delta \varphi^{\Pi}(\tau)$  определяет ложное значение угловой скорости разворота вектора скорости ЗУР в сторону цели гироскопической системой координатора ОГС, которое определяется соотношением

$$\Delta \omega_{\Pi} = k_{\omega} \cdot \Delta \omega_p^{\Pi}(\tau) = \frac{k_{\omega}}{\tau_{\Gamma}} \Delta \varphi^{\Pi}(\tau), \quad (5)$$

где  $\frac{\Delta \varphi^{\Pi}(\tau)}{\tau_{\Gamma}} = \Delta \omega_{пр}^{\Pi}(\tau)$  – погрешность угловой скорости прецессии полярной оси гироскопа координатора ОГС, полученной из известного соотношения [6, стр.454]

$$\omega_{пр} = \frac{\varphi_{\Pi}}{\tau_{\Gamma}}. \quad (6)$$

В соотношениях (5) и (6)  $k_{\omega}$  – гравитационный коэффициент (3 – 5), [6, 7];  $\tau_{\Gamma}$  – постоянная времени ОЭБ оптической головки самонаведения;  $\omega_{пр}$  – угловая скорость прецессии полярной оси системы гироскопов.

Используя соотношения (1) и (5), определим погрешность изменения угла рассогласования цели по времени, с учетом помехи УП в системе управления оптическими головками самонаведения

$$\begin{aligned} \frac{d\varphi(\tau)}{d\tau} &= \Delta\omega_{\text{пр}}^{\text{П}}(\tau) - \Delta\omega_{\text{ц}}^{\text{П}}(\tau) = \\ &= \Delta\omega_{\text{пр}}^{\text{П}}(\tau) \left( 1 - \frac{1}{K_{\text{пр}}} \right), \end{aligned} \quad (7)$$

где  $K_{\text{пр}} = \frac{\Delta\omega_{\text{пр}}}{\Delta\omega_{\text{ц}}} > 1,0$  – коэффициент превышения

угловой скорости прецессии полярной оси гироскопа ОГС над угловой скоростью цели в абсолютном пространстве, определенный в условиях воздействия помехового сигнала УП в данный момент.

После преобразования (7) получим дифференциальное уравнение в виде

$$\frac{d\varphi}{d\tau} = \frac{\Delta\varphi^{\text{П}}}{\tau_{\Gamma}} \beta_{\text{пр}}, \quad (8)$$

где  $\beta_{\text{пр}} = 1 - \frac{1}{K_{\text{пр}}} < 1,0$  – коэффициент, определяющий погрешность определения угловой скорости

$\omega_{\text{ц}}(\tau)$  системой ОГС в инерционной системе координат (ИСК), за счет воздействия сигналов устройства противодействия.

Введем критерий срыва процесса сопровождения цели ОГС в виде

$$\begin{aligned} K_{\text{срв}} &= \frac{\varphi^{\text{П}}}{\varphi} = \frac{\varphi + \Delta\varphi^{\text{П}}}{\varphi} = 1 + \frac{\Delta\varphi^{\text{П}}}{\varphi} = \\ &= 1 + \frac{\tau_{\Gamma}}{\Delta\tau_{\text{П}}} K_{\text{П}} F_{\text{П}}(*, \tau). \end{aligned} \quad (9)$$

Значение  $\Delta\varphi^{\text{П}}$ , находим из формулы (9):

$$\Delta\varphi^{\text{П}} = \varphi (K_{\text{срв}} - 1) = \varphi \frac{\tau_{\Gamma}}{\Delta\tau_{\text{П}}} K_{\text{П}}, \quad (10)$$

где  $K_{\text{срв}} = 1 + \frac{\tau_{\Gamma}}{\Delta\tau_{\text{П}}} K_{\text{П}}$ , определяемый при

$F_{\text{П}}(*, \tau) = 1,0$ .

После несложных преобразований уравнения (8), с учетом (10), получим дифференциальное уравнение вида

$$\frac{d\varphi}{d\tau} = \varphi \frac{\beta_{\text{пр}}}{\Delta\tau_{\text{П}}} K_{\text{П}} \quad (11)$$

или

$$\int_{\varphi}^{\varphi^{\text{П}}} \frac{d\varphi}{\varphi} = \frac{\beta_{\text{пр}}}{\Delta\tau_{\text{П}}} K_{\text{П}} \int_{\tau_{\text{П}}}^{\tau_{\text{срв}}} dt. \quad (12)$$

Решая уравнение (12), получаем формулу для определения времени процесса срыва сопровождения следующего вида:

$$\Delta\tau_{\text{срв}} = \frac{\Delta\tau_{\text{П}} \ln\left(\frac{\varphi^{\text{П}}}{\varphi}\right)}{\beta_{\text{пр}} \cdot K_{\text{П}}}. \quad (13)$$

С учетом того, что

$$\begin{aligned} \ln\left(\frac{\varphi^{\text{П}}}{\varphi}\right) &= \ln\left(\frac{\varphi + \Delta\varphi^{\text{П}}}{\varphi}\right) = \ln(K_{\text{срв}}) = \\ &= \ln\left(1 + \frac{\tau_{\Gamma}}{\Delta\tau_{\text{П}}} K_{\text{П}}\right), \end{aligned}$$

зависимость (13) принимает вид

$$\Delta\tau_{\text{срв}} = \frac{\Delta\tau_{\text{П}}}{\beta_{\text{пр}} K_{\text{П}}} \ln\left(1 + \frac{\tau_{\Gamma}}{\Delta\tau_{\text{П}}} K_{\text{П}}\right). \quad (14)$$

Запишем формулу для определения промежутка времени процесса срыва в режиме автоматического самонаведения ОГС, при воздействии на нее, специально организованных, помеховых оптических сигналов УП в виде

$$\begin{aligned} \overline{\Delta\tau_{\text{срв}}} &= \frac{\Delta\tau_{\text{срв}}}{\Delta\tau_{\text{П}}} = \\ &= \frac{1}{\beta_{\text{пр}} K_{\text{П}}} \ln\left(1 + \frac{\tau_{\Gamma}}{\Delta\tau_{\text{П}}} K_{\text{П}}\right) \end{aligned} \quad (15)$$

или окончательно получим следующую формулу удобную для расчетов:

$$\overline{\Delta\tau_{\text{срв}}} = \ln\left(1 + \frac{\tau_{\Gamma}}{\Delta\tau_{\text{П}}} K_{\text{П}}\right)^{\frac{1}{\beta_{\text{пр}} K_{\text{П}}}}. \quad (16)$$

Во всех зависимостях, определяющих  $\Delta\tau_{\text{срв}}$ , принято  $F_{\text{П}}(*, \tau) = 1,0$ .

Зависимость  $\overline{\Delta\tau_{\text{срв}}}$  от энергетического параметра устройства противодействия  $K_{\text{П}}$  при  $F_{\text{П}}(*, \tau) = 1,0$  показана на рис. 2.

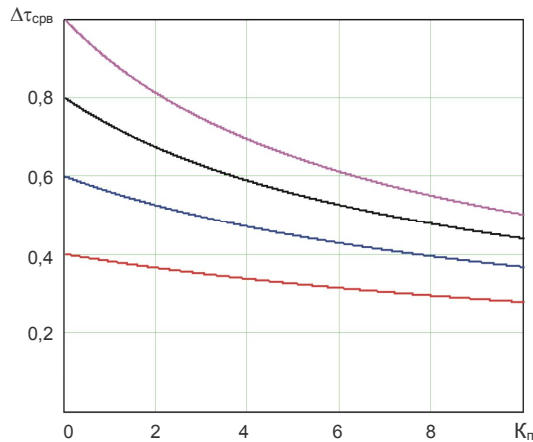


Рис. 2. Зависимость приведенного времени процесса срыва ОГС от энергетического параметра УП  $K_{\Pi}$ , здесь линии сверху вниз относятся к расчетам при  $\tau_{\Gamma}/\Delta\tau_{\Pi} = 0,25; 0,2; 0,15; 0,1$

### Выводы

1. Введенный критерий срыва процесса самонаведения определяет взаимосвязь между: эффективностью оптико-электронной системы  $\tau_{\Gamma}$  ОГС; промежутком времени воздействия помехового оптического сигнала УП  $\Delta\tau_{\Pi}$ ; энергетикой излучения помехи  $K_{\Pi_i}$ ; и в конечном итоге, промежутком времени процесса срыва самонаведения  $\Delta\tau_{срв}$ .

2. Эффективный промежуток времени воздействия помехового оптического сигнала УП аналитически может быть определен вычислением по процедуре расчетов функции Ламберта  $W$  (Lambert  $W$ ) и имеет два действительных значения  $W_0(\overline{\Delta\tau_{\Pi}})$  и  $W_{-1}(\overline{\Delta\tau_{\Pi}})$ , которые определяют величину времени  $\Delta\tau_{срв}$ .

3. В общем случае  $\Delta\tau_{срв}$  характеризует интервал дискретности помехового излучения  $\Delta\tau_{\Pi}$  и его эффективность на противодействие ОГС ЗУР в зависимости от взаимовлияния законов модуляции  $F(*, \tau)$  и  $f(\tau)$  в виде  $F(*, \tau)f_{ОГС}(\tau) = 1,0$ , а также от постоянной времени оптико-электронной системы управления ЗУР с ОГС  $\tau_{\Gamma}$ .

4. Результаты работы могут быть использованы при разработке устройств противодействия для защиты объектов различного базирования от зенитных управляемых ракет с ОГС.

### Литература

1. Ховард Б. 20 технологий будущего // PC Magazine/RE. – 2003. – № 11. – С. 3 – 7.
2. Ноулз Д. Средства инфракрасного противодействия // PC Magazine/RE. – 2003. – № 11. – <http://pc mag/ru/default/asp 26/01/2004>.
3. Кулалаев В.В., Кулалаев А.В., Науменко П.О. Состояние и перспективы разработок системы защиты самолетов гражданской авиации от террористических пусков ракет с тепловыми головками самонаведения // *Авіаційно-космічна техніка і технологія*. – Х.: Націон. аерокосм. ун-т „ХАІ”. – 2003. – Вип. 40/5. – С. 13 – 18.
4. Ольгин С. Проблемы оптоэлектронного противодействия (по взглядам зарубежных военных специалистов) // *Заруб. воен. обозрение*. – 2002. – № 9. – С. 35 – 40.
5. WWW. Special functions W:Lambert's W Function.
6. Лазарев Л.П. Инфракрасные и световые приборы самонаведения и наведения летательных аппаратов. – М.: Машиностроение, 1976. – 568 с.
7. Физика и техника инфракрасного излучения / Дж.Э. Джемисон, Р.Х. Мак-Фи, Дж.Н. Пласс, Р.Г. Грубе, О.Дж. Ричардс / Пер. с англ. под общей ред. Н.В. Васильченко. – М.: Сов. радио, 1965. – 641 с.
8. Valluri S.R., Jeffrey D.I., Corless R.M. Some applications of the Lambert W function to physics // *Canadian J. Physics*. – 2000. – Vol. 78. – P. 823 – 831.

Поступила в редакцию 05.05.2004

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.И. Карпенко, Харьковский военный университет, Харьков.