

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ АФС МЕТЕОРНЫХ РЕГИСТРАТОРОВ

Ю. И. Волощук, В. А. Нечитайленко

В работах [1, 2] описана система запрета продолжительных радиоэхо от метеорных следов в метеорных радиолокаторах. Отмечено, что основная трудность заключается в нахождении оптимальных параметров антифединговой схемы (АФС), определяющей конец пакета отраженных импульсов при наличии нижепороговых флуктуаций сигнала. Продолжительность нижепороговой флуктуации τ_{ϕ} зависит от длительности флуктуации t_{ϕ} , соотношения сигнал-шум q , относительного порога V и относительной глубины замирания сигнала m . АФС должна обеспечить принятие решения о конце пакета отраженных импульсов на основании статистических характеристик сигнала. При этом возможны ошибки двух видов: повторный запуск регистратора, когда АФС не обеспечивает перекрытия ϵ_{ϕ} , и эффект «замазывания», т. е. перекрытие интервала между следующими друг за другом во времени пакетами отраженных сигналов с дальностями, отличающимися на величину, меньшую разрешающей способности регистратора.

Не рассматривая детали построения схем АФС, отметим основные требования, которым они должны удовлетворять:

а) в случае отсутствия сигналов на выходе дискриминатора в течение τ_{ϕ} АФС должна обеспечить такую длительность перекрытия T_{α} , чтобы вероятность повторного запуска при $\tau_{\phi} > T_{\alpha}$ не превышала некоторой допустимой величины;

б) при наличии нерегулярного сигнала в интервале τ_{ϕ} АФС должна обеспечить перекрытие в течение всего времени, когда выполняется условие

$$F \gg k F_{\text{д}}, \quad (1)$$

F — частота импульсов на выходе дискриминатора;

$F_{\text{д}}$ — средняя частота шумовых выбросов, прошедших дискриминатор при данном V ;

k — коэффициент, определяющий возможное отклонение случайной величины $F_{\text{д}}$ от среднего значения и особенности работы конкретной схемы АФС.

Простейшей схемой АФС, удовлетворяющей этим условиям, является комбинация ждущего релаксатора и схемы усреднения, объединенных по схеме И-ИЛИ. При большой величине T_{α} и малом k , в особенности при работе с низким уровнем дискриминации и при наличии интенсивных нестационарных помех, может иметь место отмеченный выше эффект «замазывания». Требование обеспечить допустимую вероятность

«замазывания», особенно в случае высокочувствительного метеорного регистратора, может привести к необходимости повышения величины V .

Как следует из сказанного выше, решение задачи сводится к определению величины T_α на основании известных вероятностных характеристик шумов и сигналов на входе регистратора при известной допустимой вероятности повторных запусков и предельно реализуемой чувствительности регистратора при заданной вероятности «замазывания».

Нижняя граница $T_{\alpha \min}$. Зависимость τ_ϕ от t_ϕ и q при $m = 1$ в первом приближении выражается соотношением

$$\tau_\phi = \frac{t_\phi}{\pi} \arccos \left(1 - \frac{2}{q_0} \right), \quad (2)$$

где $q_0 = \frac{q}{V}$.

Считая функцию $\eta = \arccos \left(1 - \frac{2}{q_0} \right)$ определенной на интервале $(0 \div \pi)$, что соответствует значениям $1 \leq q < \infty$, для функции плотностей вероятности случайной величины η , имеем

$$W_\eta(\eta) = W_q(q) \cdot \frac{2V \sin \eta}{(1 - \cos \eta)^2}, \quad (3)$$

где $W_q(q)$ — одномерная функция плотностей вероятности случайной величины q .

Можно показать, что одномерная функция плотностей вероятности случайной величины τ_ϕ выражается следующим образом:

$$W_\tau(\tau_\phi) = \int_0^\infty W_t \left(\frac{t_\phi}{\pi} \right) W_\eta \left(\frac{\tau_\phi \pi}{t_\phi} \right) \frac{1}{t_\phi} dt_\phi. \quad (4)$$

Искомая величина $T_{\alpha \min}$ может быть найдена из соотношения

$$\int_{T_{\alpha \min}}^\infty W_\tau(\tau_\phi) d\tau_\phi = P_f, \quad (5)$$

где P_f — допустимая вероятность повторного запуска регистратора.

Верхняя граница $T_{\alpha \max}$. Как было отмечено, верхняя граница $T_{\alpha \max}$ зависит от интервала между отражениями с дальностями, отличающихся на величину, меньшую разрешающей способности системы запрета.

Отметим, что для оптимальной (в смысле обнаружения) полосы пропускания приемников «дрожание» пороговой точки приводит к неопределенности в записи при квантовании непрерывного процесса. Это в свою очередь заметно увеличивает вероятность повторных запусков и величину коэффициента k . Частичная компенсация достигается расширением стробов системы запрета [1, 2], что приводит к уменьшению разрешающей способности системы запрета по дальности. Лучшим решением является расширение полосы до величины оптимальной в смысле эффективной работы системы запрета.

Для интервалов между появлением соседних во времени отражений имеем следующий закон распределения:

$$W(T) = \frac{1}{T_{cp}} e^{-\frac{T}{T_{cp}}}, \quad (6)$$

где T_{cp} — математическое ожидание интервала между появлением метеоров в стробе, равном разрешающей способности системы запрета по дальности. Для интервалов времени между отражениями

$$t = T - \tau,$$

где τ — продолжительность отражения.

Можно записать

$$W_A(t) = \int_0^{\infty} W_T(T) W_{\tau}(T-t) dt, \quad (7)$$

где $W_{\tau}(\tau)$ — одномерный закон распределения отражений по длительностям. Для комплекса отражений, регистрируемых на метеорных РЛС средней эффективной чувствительности, $W_A(t)$ с достаточной точностью описывается выражением (6).

Интеграл

$$\int_0^{T_{\alpha \max}} W_A(t) dt = P_c \quad (8)$$

определяет вероятность «замазывания» для АФС с фиксированным T_{α} . Если будет выполняться соотношение $T_{\alpha \max} < T_{\alpha \min}$, то при данной чувствительности регистратора нельзя одновременно удовлетворить требуемым значениям P_f и P_c .

Величина T_{α} найдена для случая, когда во время флуктуации полностью отсутствуют отдельные выбросы шумов и сигналов, поскольку реально они всегда бывают, для исключения роста P_f необходимо, чтобы АФС вырабатывала интервал, равный $T_{\alpha \max}$. Увеличение при этом требуемого количества параллельно работающих каналов запрета [2] указывает на предпочтительность, особенно в случае высокочувствительных РЛС, использования схемы АФС с переменным верхним пределом $T_{\alpha \max}$.

Будем считать, что интервал перекрытия, формируемый АФС, представляет сумму $T_{\alpha \min}$ и временного интервала T_c , в течение которого выполняется условие (1). В этом случае вероятность «замазывания» определится как вероятность того, что разность случайных величин $T_{\alpha} = T_{\alpha \min} + T_c$ и t окажется положительной, т. е. $T_{\alpha} - t > 0$. Найдем эту величину.

Средняя частота шумовых выбросов на выходе схемы ШД определяется известной формулой:

$$F_{шд} = \frac{\delta\omega}{V\sqrt{2}\pi} \cdot V e^{-\frac{V^2}{2}} e^{-\frac{t_{пор}^2}{2}}. \quad (9)$$

Здесь $\delta\omega$ — действующий спектр помехи;

V — относительный пороговый уровень;

$$t_{пор} = \frac{\tau_{пор}}{\tau_s};$$

$\tau_{пор}$ — порог широтного дискриминатора;

$\tau_s = \frac{2}{\delta\omega V}$ — средняя длительность выбросов огибающей.

Средняя частота шумовых выбросов на входе АФС

$$F_a = F_n p_a, \quad (10)$$

где F_n — частота зондирования;
 p_a — вероятность попадания импульса в интервал;

$$\Delta t = \frac{n}{F_{\text{кв}}};$$

$F_{\text{кв}}$ — частота квантования;

n — коэффициент, зависящий от полосы пропускания приемника.

Для полосы оптимальной в смысле эффективности запрета $n=1$.

Число импульсов, поступающих на АФС за время T_c , можно найти из следующего соотношения:

$$Z_a = F_n T_c \frac{F_{\text{шд}}}{F_{\text{кв}}} \cdot e^{-\frac{F_{\text{шд}}}{F_{\text{кв}} n}}. \quad (11)$$

Считая случайную величину T_c подчиняющейся биномиальному закону распределения, для плотности вероятностей можно записать

$$W(Z) = C Z_{\text{max}}^Z p^Z (1-p)^{Z_{\text{max}} - Z}, \quad (12)$$

где $p = \frac{F_a}{F_n}$.

Средняя частота в интервале T_c имеет закон распределения

$$W(F) = \frac{F T_c}{C} \left(\frac{p}{1-p} \right)^{F T_c} (1-p)^{F_n T_c} T_c. \quad (13)$$

Отсюда вероятность того, что в течение времени T_c средняя частота шумовых выбросов на входе АФС будет превышать некоторую критическую частоту $F' = F_a \cdot k$,

$$p(F \geq F') = \sum_{F=F'}^{F_n} \frac{F T_c}{C} \left(\frac{p}{1-p} \right)^{F T_c} (1-p)^{F_n T_c} T_c. \quad (14)$$

Заметим, что последнее выражение в нормированном виде описывает одномерный закон распределения случайной величины T_c , т. е. интервалов времени, в течение которых выполняется условие (1), и АФС формирует интервал перекрытия.

Выше было отмечено, что вероятность «замазывания» равна вероятности того, что случайная величина $\Theta = T_a - t$ окажется положительной, т. е.

$$P_c = p(\Theta > 0) = \int_0^{\infty} W(\Theta) d\Theta, \quad (15)$$

где

$$W(\Theta) = \int_0^{\infty} W_a(T_a) W_t(T_a - \Theta) dT_a = \int_0^{\infty} W_c(T_a - T_{a \min}) W_t(T_a - \Theta) dT_a.$$

Формула (15) определяет вероятность «замазывания», соответствующую принятой вероятности повторных запусков и чувствительности регистратора. Если P_c больше допустимой величины, уменьшить ее можно, только снизив чувствительность регистратора.

Некоторые результаты

Найдем величину $T_{\alpha \min}$ и вероятность «замазывания», обеспечиваемую АФС системы запрета радиолокационного комплекса [3]. Для этого рассмотрим некоторые статистические характеристики сигналов, регистрируемых на этой аппаратуре.

Одномерная функция плотностей вероятности длительности флук-

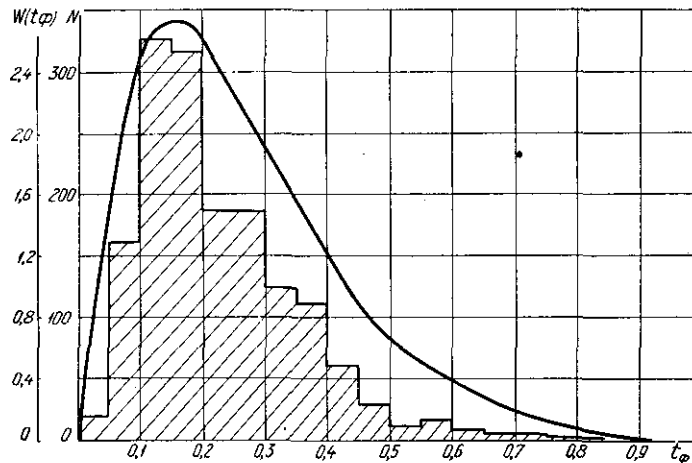


Рис. 1. Гистограмма распределения длительности флуктуаций и график функции (16).

туаций t_{ϕ} , полученная в результате обработки около полутора тысяч отражений, может быть аппроксимирована выражением

$$W(t_{\phi}) = 7,14 \left(\frac{t_{\phi}}{0,12} \right)^{1,3} e^{-\frac{t_{\phi}}{0,12}} \quad (16)$$

Распределение отражений по амплитудам подчиняется закону

$$W_q(q) = 0,76(q + 1)^{-1,76},$$

тогда

$$W_q(q_0) = 0,76 V(Vq_0 + 1)^{-1,76}, \quad (17)$$

соответственно

$$W_{\eta}(\eta) = \frac{1,52 V \sin \eta}{(1 - \cos \eta)^{0,24} (2V + 1 - \cos \eta)^{1,76}}.$$

Гистограммы распределения длительности флуктуаций и график функции (16) представлены на рис. 1, график функции (17) для случая $V = 1$ — на рис. 2. Интеграл $W_{\tau}(\tau_{\phi})$ не может быть выражен в элементарных функциях. Численным интегрированием получаем зависимости $W_{\tau}(\tau_{\phi})$ (рис. 3) и $P_f(T_{\alpha})$ (рис. 4).

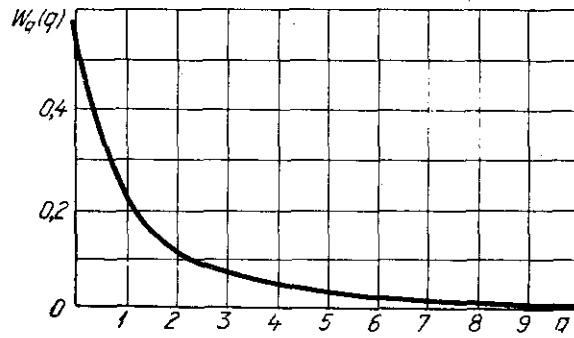


Рис. 2. График функции $W_q(q_0)$ для случая $V=1$.

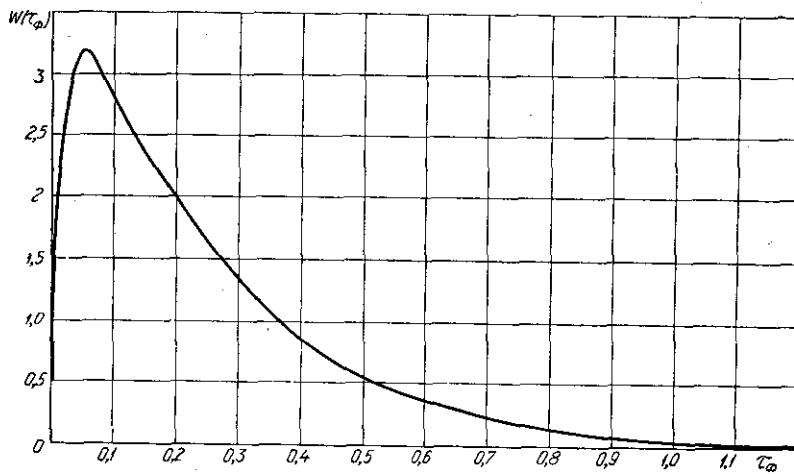


Рис. 3. График функции $W_{\tau}(\tau_{\phi})$.

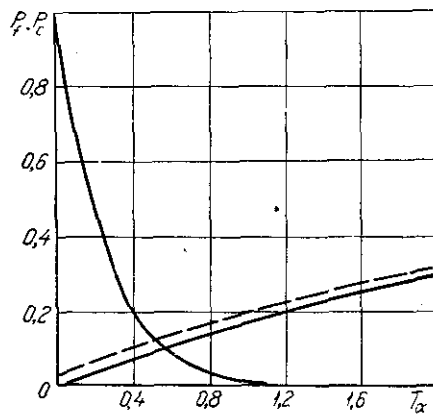


Рис. 4. Зависимость вероятности повторного запуска P_f и вероятности «замазывания» P_c от времени перекрытия T_{α} АФС.

Для комплекса аппаратуры, описанного в [3], плотность вероятностей появления соседних во времени отражений для $n = 3$

$$W(T) = \frac{1}{5,8} e^{-\frac{T}{5,8}}. \quad (18)$$

Учитывая распределение по длительностям, зависимость P_c от T_a получается как на рис. 4. При воздействии помех график $P_c(T_a)$ сдвигается влево.

Пользуясь графиком рис. 4, можно определить значение T_a , удовлетворяющее заданным P_f и P_c .

ЛИТЕРАТУРА

1. В. А. Нечитайленко. Система защиты от помех метеорной станции. Сб. «Кометы и метеоры», № 1. Изд-во АН УССР, 1966.
2. Ю. И. Волощук, В. А. Нечитайленко. Регистраторы метеорных станций высокой эффективной чувствительности. Вестник ХПИ, № 22(70), «Радиотехника», вып. 1. Изд-во ХГУ, Харьков, 1967.
3. Б. Г. Бондарь, Б. С. Дудник, А. А. Ткачук. Передающее и антенное устройства метеорной станции высокой эффективной чувствительности. Вестник ХПИ, № 22(70), «Радиотехника», вып. 1. Изд-во ХГУ, Харьков, 1967.