ИЗВЕСТИЯ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ
ЗАВЕДЕНИЙ

# Радиоэлектроника

ТОМ XVI
8
1973

ИЗДАНИЕ
КИЕВСКОГО ОРДЕНА ЛЕНИНА
ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА
ИМЕНИ 50-ЛЕТИЯ ВЕЛИКОЙ
ОКТЯБРЬСКОЙ СОЦИАЛИСТИЧЕСКОЙ
РЕВОЛЮЦИИ

УДК 621.391.822

*А. П. ТРИФОНОВ*

# ОЦЕНКА ПАРАМЕТРА СИГНАЛА ПРИ ПРИЕМЕ НА ФОНЕ ШУМА С НЕИЗВЕСТНОЙ ФУНКЦИЕЙ КОРРЕЛЯЦИЙ

Неизвестная функция корреляции априорно аппроксимируется отрезком ряда по ортонормированным функциям. Приемное устройство производит совместную оценку неизвестного параметра сигнала и коэффициентов разложения функции корреляции. Определены характеристики оценки параметра сигнала.

При решении задач оптимального приема часто полагают, что статистические характеристики помех априори полностью известны. Вместе с тем в условиях, близких к реальным, полные сведения о характеристиках помех отсутствуют. Однако в большинстве случаев можно считать, что эти помехи являются нормальными и в течение времени приема сигнала $[0, T]$ стационарны. В [1] рассмотрена квазиоптимальная система оценки неэнергетического параметра сигнала на фоне нормального шума с неизвестной функцией корреляции. Результаты [1] получены в предположении, что сигнал и шум дифференцируемы требуемое число раз. В то же время, в ряде прикладных задач помеху нельзя считать многократно дифференцируемой, а оцениваемый параметр — неэнергетическим. Поэтому определенный интерес представляет определение системы оценки при менее жестких ограничениях на классы помех и оцениваемых параметров, чем в [1].

Положим вначале, что корреляционная функция аддитивного стационарного нормального шума содержит неизвестный параметр $\lambda$, который в течение времени приема не изменяется. Принимаемую реализацию смеси сигнала и помехи запишем в виде

$$x(t) = s(t, l_0) + n(t), \qquad 0 \leqslant t \leqslant T, \tag{1}$$

где $s(t, l_0)$ — полезный сигнал, неизвестный параметр $l_0$ которого подлежит оценке; $n(t)$ — реализация нормального шума с нулевым средним значением $\langle n(t) \rangle = 0$. Функция корреляции шума $\langle n(t)\, n(t+\tau) \rangle = K(\tau, \lambda_0)$ зависит от априори неизвестного параметра $\lambda_0$.

В большинстве задач априорные распределения параметров $l_0$ и $\lambda_0$ неизвестны, поэтому для нахождения оценки параметра $l$ воспользуемся методом максимального правдоподобия. Логарифм функционала отношения правдоподобия с точностью до постоянных слагаемых можно записать как [2]

$$M(l, \lambda) = \int_0^T \int_0^T \left\{ s(t_1, l)\, x(t_2) - \frac{1}{2} \left[ x(t_1)\, x(t_2) + s(t_1, l)\, s(t_2, l) \right] \right\} \times$$
$$\times \Theta(t_1, t_2, \lambda)\, dt_1 dt_2 - \frac{1}{2} D(\lambda). \tag{2}$$

Здесь $\Theta(t_1, t_2, \lambda)$ — решение интегрального уравнения

$$\int_0^T K(t_1-t,\lambda)\,\Theta(t,t_2)\,dt=\delta(t_1-t_2), \tag{3}$$

а $D(\lambda)$ — детерминированная функция параметра $\lambda$, которая может быть определена различными способами [2—4]. Для наших целей удобно определить эту функцию через ее производную [2]

$$\frac{dD(\lambda)}{d\lambda}=\int_0^T\int_0^T \frac{\partial K(t_1-t_2,\lambda)}{\partial\lambda}\,\Theta(t_1,t_2,\lambda)\,dt_1dt_2. \tag{4}$$

Формула (2) определяет структуру приемного устройства для оценки параметра $l$. Приемник должен вырабатывать $M(l,\lambda)$ для всевозможных значений $l$ и $\lambda$. Оценка $l_m$ неизвестного параметра сигнала $l_0$ определяется по положению точки $(l_m,\lambda_m)$, в которой функция $M(l,\lambda)$ достигает абсолютного максимума. Параметр $\lambda$ при этом рассматривается как несущественный.

По определению оценка $l_m$ находится из решения системы уравнений:

$$\left\{\frac{\partial}{\partial l}\,[S(l,\lambda)+N(l,\lambda)]\right\}_{l_m,\lambda_m}=0;\quad \left\{\frac{\partial}{\partial\lambda}\,[S(l,\lambda)+N(l,\lambda)]\right\}_{l_m,\lambda_m}=0, \tag{5}$$

где обозначено: $S(l,\lambda)=\langle M(l,\lambda)\rangle$, $N(l,\lambda)=M(l,\lambda)-S(l,\lambda)$. Положим, что отношение сигнал/шум для принятого сигнала и время наблюдения достаточно велики, чтобы обеспечить высокую апостериорную точность оценки. Тогда можем получить из (5) систему уравнений для случайных ошибок измерения $\Delta l=l_m-l_0$ и $\Delta\lambda=\lambda_m-\lambda_0$. Для этого разложим $S(l,\lambda)$ и $N(l,\lambda)$ в ряд Тейлора в окрестности истинных значений параметров $(l_0,\lambda_0)$. Сохраняя только члены разложения низших порядков малости, получаем [2]:

$$\left[\frac{\partial^2 S(l,\lambda)}{\partial l^2}\,\Delta l+\frac{\partial^2 S(l,\lambda)}{\partial l\partial\lambda}\,\Delta\lambda\right]_{l_0,\lambda_0}=-\left[\frac{\partial N(l,\lambda)}{\partial l}\right]_{l_0,\lambda_0},$$

$$\left[\frac{\partial^2 S(l,\lambda)}{\partial l\partial\lambda}\,\Delta l+\frac{\partial^2 S(l,\lambda)}{\partial\lambda^2}\,\Delta\lambda\right]_{l_0,\lambda_0}=-\left[\frac{\partial N(l,\lambda)}{\partial\lambda}\right]_{l_0,\lambda_0}. \tag{6}$$

Решая систему уравнений (6) относительно ошибки измерения параметра $l$, находим

$$\Delta l=-\left[\frac{\dfrac{\partial N(l,\lambda)}{\partial l}\,\dfrac{\partial^2 S(l,\lambda)}{\partial\lambda^2}-\dfrac{\partial N(l,\lambda)}{\partial\lambda}\,\dfrac{\partial^2 S(l,\lambda)}{\partial l\partial\lambda}}{\dfrac{\partial^2 S(l,\lambda)}{\partial l^2}\,\dfrac{\partial^2 S(l,\lambda)}{\partial\lambda^2}-\left[\dfrac{\partial^2 S(l,\lambda)}{\partial l\partial\lambda}\right]^2}\right]_{l_0,\lambda_0}. \tag{7}$$

Вычислим производные функции $S(l,\lambda)$ в формуле (7). Подставляя принимаемую смесь сигнала и помехи (1) в формулу для $M(l,\lambda)$ (2) и выполняя усреднение, можем записать

$$S(l,\lambda)=\int_0^T\int_0^T\Big\{s(t_1,l)\,s(t_2,l_0)-\frac{1}{2}\,[K(t_1-t_2,\lambda_0)+s(t_1,l)\,s(t_2,l)+$$

$$+s(t_1,l_0)\,s(t_2,l_0)]\Big\}\,\Theta(t_1,t_2,\lambda)\,dt_1dt_2-\frac{1}{2}\,D(\lambda).$$

Выполнив дифференцирование с учетом (3) и (4), получаем

$$\left[\frac{\partial^2 S(l,\lambda)}{\partial l^2}\right]_{l_0,\lambda_0} = -\left[\int_0^T\int_0^T \frac{\partial s(t_1,l)}{\partial l}\frac{\partial s(t_2,l)}{\partial l}\Theta(t_1,t_2,\lambda)\,dt_1dt_2\right]_{l_0,\lambda_0};$$

$$\left[\frac{\partial^2 S(l,\lambda)}{\partial \lambda^2}\right]_{l_0,\lambda_0} = \frac{1}{2}\left[\int_0^T\int_0^T \frac{\partial K(t_1-t_2,\lambda)}{\partial \lambda}\frac{\partial \Theta(t_1,t_2,\lambda)}{\partial \lambda}dt_1dt_2\right]_{\lambda_0};$$

$$\left[\frac{\partial^2 S(l,\lambda)}{\partial l\partial \lambda}\right]_{l_0,\lambda_0} = 0.$$

Аналогичным образом находим производную $[\partial N(l,\lambda)/\partial l]_{l_0,\lambda_0}$. Подставляя значения производных в (7), получаем выражение для случайной ошибки измерения параметра $l$

$$\Delta l = \left[\frac{\int_0^T\int_0^T \frac{\partial s(t_1,l)}{\partial l}\,n(t_2)\,\Theta(t_1,t_2,\lambda_0)\,dt_1dt_2}{\int_0^T\int_0^T \frac{\partial s(t_1,l)}{\partial l}\frac{\partial s(t_2,l)}{\partial l}\Theta(t_1,t_2,\lambda_0)\,dt_1dt_2}\right]_{l_0}. \tag{8}$$

Используя (8), находим, что оценка параметра $l$ несмещенная, а дисперсия ее равна

$$\sigma^2 = \left[\int_0^T\int_0^T \frac{\partial s(t_1,l)}{\partial l}\frac{\partial s(t_2,l)}{\partial l}\Theta(t_1,t_2,\lambda_0)\,dt_1dt_2\right]_{l_0}^{-1}. \tag{9}$$

Дисперсия (9) полностью совпадает с дисперсией оценки максимального правдоподобия параметра $l$ при приеме на фоне нормального шума с известной функцией корреляции. Формула (9) справедлива асимптотически, при выполнении условий

$$T\to\infty,\ Q\to\infty, \tag{10}$$

где $Q=\int_0^T\int_0^T s(t_1,l_0)\,s(t_2,l_0)\,\Theta(t_1,t_2,\lambda_0)\,dt_1dt_2$ — отношение сигнал/шум лля принятого сигнала.

Пусть теперь функция корреляции шума известна с точностью до конечного числа $p$ параметров $\vec{\lambda}=[\lambda_1,\lambda_2,\ldots,\lambda_p]$, т. е. $\langle n(t)\,n(t+\tau)\rangle = K(\tau,\vec{\lambda}_0)$. Априори неизвестные параметры $\vec{\lambda}_0$ в течение времени приема предполагаются постоянными. Логарифм функционала отношения правдоподобия параметров $\vec{L}=[l,\lambda_1,\ldots,\lambda_p]$ будет иметь вид:

$$M(\vec{L}) = \int_0^T\int_0^T\left\{s(t_1,l)\,x(t_2) - \frac{1}{2}[x(t_1)\,x(t_2)+s(t_1,l)\,s(t_2,l)]\right\}\times$$
$$\times\Theta(t_1,t_2,\vec{\lambda})\,dt_1dt_2 - \frac{1}{2}D(\vec{\lambda}). \tag{11}$$

Функция $\Theta(t_1, t_2, \vec{\lambda})$ является решением уравнения, аналогичного (3), а $D(\vec{\lambda})$ определяется соотношениями:

$$\frac{\partial D(\vec{\lambda})}{\partial \lambda_i} = \int_0^T\int_0^T \frac{\partial K(t_1 - t_2, \vec{\lambda})}{\partial \lambda_i} \Theta(t_1, t_2, \vec{\lambda})\, dt_1 dt_2, \qquad i = 1, 2, \ldots, p.$$

Согласно (11) приемное устройство должно вырабатывать функцию $M(\vec{L})$ для всевозможных значений параметров $l, \lambda_1, \ldots, \lambda_p$ и определять точку абсолютного максимума $\vec{L}_m$. Следовательно, оценка $l_m$ неизвестного параметра сигнала может быть найдена из системы уравнений

$$\left[\frac{\partial M(\vec{L})}{\partial L_i}\right]_{\vec{L}_m} = 0, \qquad i = 0, 1, \ldots, p. \tag{12}$$

Если выполняются условия высокой апостериорной точности оценки (10), то, аналогично (6), можем из (12) получить систему уравнений для случайных ошибок измерения $\Delta L_k = L_{mk} - L_{0k}$

$$-\sum_{k=0}^{p}\left[\frac{\partial^2 S(\vec{L})}{\partial L_i \partial L_k}\right]_{\vec{L}_0} \Delta L_k = \left[\frac{\partial N(\vec{L})}{\partial L_i}\right]_{\vec{L}_0}, \quad i = 0, 1, \ldots, p. \tag{13}$$

Здесь $S(\vec{L}) = \langle M(\vec{L})\rangle$, $N(\vec{L}) = M(\vec{L}) - S(\vec{L})$. Определяя из (13) ошибку измерения параметра $l$, имеем

$$\Delta l = \Omega^{-1} \sum_{i=1}^{p}\left[\frac{\partial N(\vec{L})}{\partial L_i}\right]_{\vec{L}_0} A_{i0}, \tag{14}$$

где $\Omega$ — определитель порядка $p+1$ с элементами

$$\omega_{ik} = -\left(\frac{\partial^2}{\partial L_i \partial L_k}\left[\int_0^T\int_0^T \left\{s(t_1, l)\, s(t_2, l_0) - \frac{1}{2}[K(t_1 - t_2, \vec{\lambda}_0) + \right.\right.\right.$$

$$\left.\left.\left. + s(t_1, l_0)\, s(t_2, l_0) + s(t, l)\ \ s(t_2, l)]\right\} \Theta(t_1, t_2, \vec{\lambda})\, dt_1 dt_2 - \frac{1}{2} D(\vec{\lambda})\right]\right)_{\vec{L}_0},$$

$$i, k = 0, 1, \ldots, p, \tag{15}$$

а $A_{i0}$ — алгебраические дополнения $i$-го элемента первого столбца определителя $\Omega$. Выполняя дифференцирование в (15), получаем

$$\omega_{00} = \left[\int_0^T\int_0^T \frac{\partial s(t_1, l)}{\partial l} \frac{\partial s(t_2, l)}{\partial l} \Theta(t_1, t_2, \vec{\lambda}_0)\, dt_1 dt_2\right]_{l_0},$$

$\omega_{i0} = \omega_{0i} = 0$ при $i \neq 0$. Следовательно, $\Omega = \omega_{00} A_{00}$ и выражение (14) перепишется как

$$\Delta l = \omega_{00}^{-1}\left[\frac{\partial N(l, \vec{\lambda}_0)}{\partial l}\right]_{l_0},$$

что совпадает с (8). Следовательно, если функция корреляции шума содержит конечное число неизвестных параметров, то оценка параметра сигнала при выполнении условий (10) несмещенная и имеет дисперсию (9).

Рассмотрим случай, когда функция корреляции шума полностью неизвестна. Будем считать, что априори неизвестная функций корреляции на интервале $[-T, T]$ может быть представлена в виде ряда по системе ортонормированных функций $b_k(t)$, т. е.

$$K(\tau) = \sum_{k=1}^{\infty} a_k b_k(\tau); \quad a_k = \int_{-T}^{T} K(\tau)\, b_k(\tau)\, d\tau. \tag{16}$$

Положим, что система функций $b_k(t)$ является полной и ряд (16) сходится в среднем. Задавшись достаточно большим числом $p$ членов разложения в (16), можем записать приближенное равенство

$$K(\tau) \simeq K_p(\tau, \vec{a}) = \sum_{k=1}^{p} a_k b_k(\tau), \tag{17}$$

где $\vec{a} = [a_1, a_2, ..., a_p]$ — неизвестные коэффициенты разложения функции корреляции. Логарифм функционала отношения правдоподобия параметров $\vec{L} = [l, a_1, ..., a_p]$ аналогично (11) имеет вид

$$M(\vec{L}) = \int_0^T\int_0^T \left\{ s(t_1, l)\, x(t_2) - \frac{1}{2} [x(t_1)\, x(t_2) + s(t_1, l)\, s(t_2, l)] \right\} \times$$
$$\times\, \Theta_p(t_1, t_2, \vec{a})\, dt_1 dt_2 - \frac{1}{2} D_p(\vec{a}).$$

Здесь $\Theta_p(t_1, t_2, \vec{a})$ — решение уравнения

$$\int_0^T K_p(t_1 - t, \vec{a})\, \Theta_p(t_1, t_2, \vec{a})\, dt = \delta(t_1 - t_2), \tag{18}$$

а $D_p(\vec{a})$ определяется соотношениями

$$\frac{\partial D_p(\vec{a})}{\partial a_k} = \int_0^T\int_0^T b_k\ (t_1 - t_2)\, \Theta_p(t_1, t_2, \vec{a})\, dt_1 dt_2.$$

Считаем, что решение уравнения (18) существует при любых $p$.

Записав систему уравнений правдоподобия и полагая, что выполняются условия высокой апостериорной точности оценки (10), аналогично (14) получаем выражение для случайной ошибки измерения параметра $l$

$$\Delta l = \left[ \frac{\displaystyle\int_0^T\int_0^T \frac{\partial s(t_1, l)}{\partial l}\, n(t_2)\, \Theta_p(t_1, t_2, \vec{a})\, dt_1 dt_2}{\displaystyle\int_0^T\int_0^T \frac{\partial s(t_1, l)}{\partial l}\, \frac{\partial s(t_2, l)}{\partial l}\, \Theta_p(t_1, t_2, \vec{a})\, dt_1 dt_2} \right]_{l_0}. \tag{19}$$

Согласно (19) оценка параметра $l$ несмещенная, а дисперсия оценки определяется выражением

$$\sigma_p^2=\left\{\frac{\int\limits_0^T\int\limits_0^T\int\limits_0^T\int\limits_0^T \frac{\partial s(t_1,\, l)}{\partial l}\,\frac{\partial s(t_3,\, l)}{\partial l}\,K(t_2,\, t_4)\,\Theta_p(t_1,\, t_2,\, \vec{a})\,\Theta_p(t_3,\, t_4,\, \vec{a})\prod_{i=1}^{4} dt_i}{\left[\int\limits_0^T\int\limits_0^T \frac{\partial s(t_1,\, l)}{\partial l}\,\frac{\partial s(t_2,\, l)}{\partial l}\,\Theta_p(t_1,\, t_2,\, \vec{a})\,dt_1dt_2\right]^2}\right\}_{l_0}. \tag{20}$$

Покажем, что ,если ряд (16) сходится в среднем и выполняются условия высокой апостериорной точности оценки (10), то

$$\lim_{p\to\infty}\sigma_p^2=\sigma_0^2, \tag{21}$$

где

$$\sigma_0^2=\left[\int\limits_0^T\int\limits_0^T \frac{\partial s(t_1,\, l)}{\partial l}\,\frac{\partial s(t_2,\, l)}{\partial l}\,\Theta(t_1,\, t_2)\,dt_1dt_2\right]_{l_0}^{-1}$$

— дисперсия оценки максимального правдоподобия параметра $l$ при приеме на фоне нормального шума с априори известной функцией корреляции $K(\tau)$, а $\Theta(t_1,\, t_2)$ — решение интегрального уравнения

$$\int\limits_0^T K(t_1-t)\,\Theta(t,\, t_2)\,dt=\delta(t_1-t_2). \tag{22}$$

Обозначим $\Delta K_p(\tau)=K(\tau)-K_p(\tau,\, \vec{a})$, $\Delta\Theta(t_1,\, t_2)=\Theta(t_1,\, t_2)-\Theta_p(t_1,\, t_2,\, \vec{a})$ и перепишем выражение (20) в виде:

$$\sigma_p^2=\frac{\sigma_0^{-2}+A_p-2B_p}{\left|\sigma_0^2-B_p\right|^2},$$

$$A_p=\left[\int\limits_0^T\int\limits_0^T\int\limits_0^T\int\limits_0^T \frac{\partial s(t_1,\, l)}{\partial l}\,\frac{\partial s(t_3,\, l)}{\partial l}\,K(t_2,\, t_4)\,\Delta\Theta(t_1,\, t_2)\,\Delta\Theta(t_3,\, t_4)\prod_{i=1}^{4} dt_i\right]_{l_0},$$

$$B_p=\left[\int\limits_0^T\int\limits_0^T \frac{\partial s(t_1,\, l)}{\partial l}\,\frac{\partial s(t_2,\, l)}{\partial l}\,\Delta\Theta(t_1,\, t_2)\,dt_1dt_2\right]_{l_0}.$$

Подставляя в (22) $\Theta(t_1,\, t_2)=\Theta_p(t_1,\, t_2,\, \vec{a})+\Delta\Theta(t_1,\, t_2)$ и $K(\tau)=K_p(\tau,\, \vec{a})+\Delta K_p(\tau)$, получаем, используя (18), что

$$\int\limits_0^T K(t_1-t)\,\Delta\Theta(t,\, t_2)\,dt=-\int\limits_0^T \Delta K_p(t_1-t)\,\Theta_p(t,\, t_2,\, \vec{a})\,dt. \tag{23}$$

Умножим равенство (23) на функцию

$$\left[\frac{\partial s\,(t_2,\,l)}{\partial l}\,\frac{\partial s\,(t_3,\,l)}{\partial l}\,\Delta\Theta\,(t_1,\,t_2)\right]_{l_0}$$

и проинтегрируем его по $t_1$, $t_2$, $t_3$. Придем к выражению

$$A_p = -\left[\int_0^T\!\!\int_0^T\!\!\int_0^T\!\!\int_0^T \Delta K_p\,(t_1 - t_4)\,\Theta_p\,(t_4,\,t_2,\,\vec{a})\,\frac{\partial s\,(t_2,\,l)}{\partial l}\,\frac{\partial s\,(t_3,\,l)}{\partial l}\,\Delta\Theta\,(t_1,\,t_3)\prod_{i=1}^{4} dt_i\right]_{l_0}. \tag{24}$$

Умножая затем правую и левую части (23) на функцию

$$\left[\frac{\partial s\,(t_2,\,l)}{\partial l}\,\frac{\partial s\,(t_3,\,l)}{\partial l}\,\Theta\,(t_1,\,t_3)\right]_{l_0}$$

и интегрируя полученное равенство по $t_1$, $t_2$, $t_3$, можем записать, учитывая (22), что

$$B_p = -\left[\int_0^T\!\!\int_0^T\!\!\int_0^T\!\!\int_0^T \Delta K_p\,(t_1 - t_4)\,\Theta_p\,(t_4,\,t_2,\,\vec{a})\,\frac{\partial s\,(t_2,\,l)}{\partial l}\,\frac{\partial s\,(t_3,\,l)}{\partial l}\,\Theta\,(t_1,\,t_3)\prod_{i=1}^{4} dt_i\right]_{l_0}. \tag{25}$$

Выполним в (24) и (25) замену переменной интегрирования $t_4 = t_1 - \tau$. Получим

$$A_p = \int_{-T}^{T} \Delta K_p(\tau)\,\Psi_1\,(\tau)\,d\tau,\quad B_p = \int_{-T}^{T} \Delta K_p(\tau)\,\psi_2\,(\tau)\,d\tau, \tag{26}$$

где

$$\psi_1\,(\tau) = -\left[\int_0^T\!\!\int_0^T\!\!\int_0^T \Theta_p(t_1 - \tau,\,t_2,\,\vec{a})\,\frac{\partial s\,(t_2,\,l)}{\partial l}\,\frac{\partial s\,(t_3,\,l)}{\partial l}\,\Delta\Theta\,(t_1,\,t_3)\,dt_1 dt_2 dt_3\right]_{l_0},$$

$$\psi_2\,(\tau) = -\left[\int_0^T\!\!\int_0^T\!\!\int_0^T \Theta_p\,(t_1 - \tau,\,t_2,\,\vec{a})\,\frac{\partial s\,(t_2,\,l)}{\partial l}\,\frac{\partial s\,(t_3,\,l)}{\partial l}\,\Theta\,(t_1,\,t_3)\,dt_1 dt_2 dt_3\right]_{l_0}.$$

Следовательно, если ряд (16) сходится в среднем, то согласно (26) $\lim\limits_{p\to\infty} A_p = \lim\limits_{p\to\infty} B_p = 0$, что доказывает справедливость (21).

Таким образом, если выполняются условия высокой апостериорной точности оценки, то, увеличивая число $p$ членов в разложении (17), можем сделать дисперсию оценки параметра $l$ при приеме на фоне нормального шума с неизвестной функцией корреляции достаточно близкой к дисперсии оценки максимального правдоподобия при приеме сигнала на фоне нормального шума с известной функцией корреляции.

В заключение отметим, что время приема в случае шума с неизвестной функцией корреляции целесообразно выбирать максимально возможным, хотя бы и значительно превосходящим длительность полезного сигнала. При оптимальном приеме сигнала на фоне шума с известной функцией корреляции увеличение времени приема сверх длительности полезного сигнала нецелесообразно [5].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Куликов Е. И., Трифонов А. П., Квазиоптимальная оценка параметра сигнала при приеме на фоне нормальных шумов с неизвестной функцией корреляции, Радиотехника, 1969, 24, № 10.

2. Фалькович С. Е., Оценка параметров сигнала, Изд-во «Советское радио», 1970.

3. Левин Б. Р., Теоретические основы статистической радиотехники, Изд-во «Советское радио», 1968, 2.

4. Сысоев П. П., Оценки параметров, обнаружение и различение сигналов, Изд-во «Наука», 1969.

5. Тихонов В. И., Статистическая радиотехника, Изд-во «Советское радио», 1966.

Поступила в редакцию
6 XII 1971 г.,
после переработки
5 V 1972 г.