Из выражений (6) и (7) найдем

$$\sigma^2 = \lambda_0 \int_0^\infty h^2(\tau)\, d\tau.$$

Это означает, что в рассматриваемом случае в общей погрешности преобладает погрешность, обусловленная статистической природой источника излучения (с учетом ограничения (4)).

Аналогично [2] формулы (8), (9) можно обобщить на случай независимых флюктуаций амплитуд импульсов на входе фильтра. Используя выражения (2), (5), (5′), сравнительно легко можно найти центральные моменты любого порядка процесса $Y(t)$.

## ЛИТЕРАТУРА


1. Л. К. Таточенко. Радиоактивные изотопы в приборостроении. М., Атомиздат, 1960.
2. В. И. Тихонов. Статистическая радиотехника. М., «Советское радио», 1966.
3. И. А. Большаков. Статистические проблемы выделения потока сигналов из шума. М., «Советское радио», 1968.


*Поступило в редакцию 16 апреля 1973 г.*

---

УДК 538.56

**В. А. ГЕРАНИН, А. К. ЕГОРОВ, И. И. КОЗЛОВ**

(*Киев*)

# ТОЧНОСТЬ КОРРЕЛОМЕТРИИ НЕСТАЦИОНАРНЫХ СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ НАЛИЧИИ ПОМЕХ

Результаты измерений вероятностных характеристик случайных процессов нередко искажены помехами. При этом существенны закон распределения помехи и характер воздействия последней на анализируемый процесс.

Исследуем влияние на точность измерения корреляционной функции нестационарного случайного процесса (НСП) $S(t)$ гауссовой помехи $N(t)$.

Рассмотрим случаи аддитивной и мультипликативной помех.

В качестве модели НСП примем эргодический (по отношению к корреляционной функции) случайный процесс

$$S(t) = \varphi(t) Z(t), \tag{1}$$

где $\varphi(t)$ — детерминированный процесс; $Z(t)$ — стационарный гауссов процесс с нулевым математическим ожиданием. Полагаем, что экспериментатор располагает единственной реализацией $S(t)$. В качестве оценки $\widetilde{R}_S(t_0, \tau)$ корреляционной функции $R_S(t_0, \tau)$ НСП $S(t)$ примем случайную функцию

$$\widetilde{R}_S(t_0, \tau) = \int_{t_0-T}^{t_0} X(t)\, X(t-\tau)\, h(t_0-t)\, dt = \int_0^T X(t_0-t)\, X(t_0-t-\tau)\, h(t)\, dt, \tag{2}$$

где $h(t)$ — весовая функция фильтра, сглаживающего корреляционное произведение; $X(t)$ — результат воздействия помехи $N(t)$ на исследуемый НСП.

Аддитивная помеха. В этом случае

$$X(t) = S(t) + N(t); \tag{3}$$

$$\widetilde{R}_S(t_0, \tau) = \int_0^T h(t)\, [S(t_0-t) + N(t_0-t)]\, [S(t_0-t-\tau) + N(t_0-t-\tau)]\, dt. \tag{4}$$

В качестве критерия точности оценки (4) воспользуемся полной погрешностью измерения

$$\varepsilon\left[\widetilde{R}_S(t_0, \tau)\right] = \left\{\Delta^2\left[\widetilde{R}_S(t_0, \tau)\right] + \sigma^2\left[\widetilde{R}_S(t_0, \tau)\right]\right\}^{\frac{1}{2}}, \tag{5}$$

где $\Delta[\widetilde{R}_S(t_0, \tau)$ и $\sigma^2[\widetilde{R}_S(t_0, \tau)]$ — смещение и дисперсия оценки $\widetilde{R}_S(t_0, \tau)$.

На рис. 1—3 представлены графики $\varepsilon[\widetilde{R}_S(t_0, \tau)]$, полученные на ЦВМ для взаимно-некоррелированных $S(t)$ и $N(t)$ при $\langle N(t)\rangle = 0$:

$$h(t) = \frac{1}{T}\operatorname{rect}\left(\frac{t - \frac{T}{2}}{T}\right); \tag{6}$$

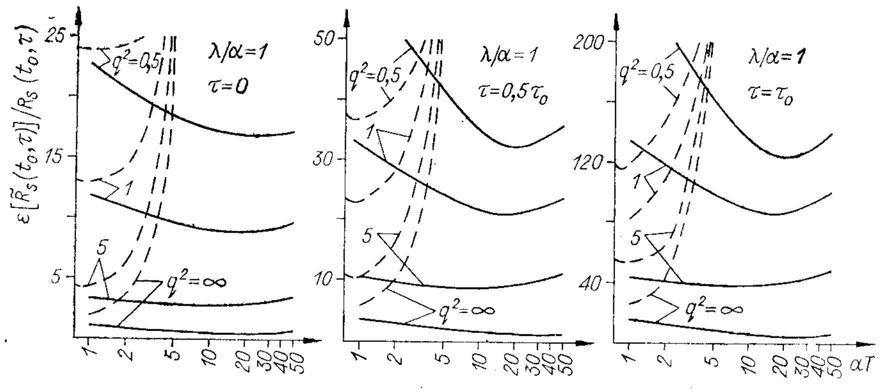


*Рис. 1.*

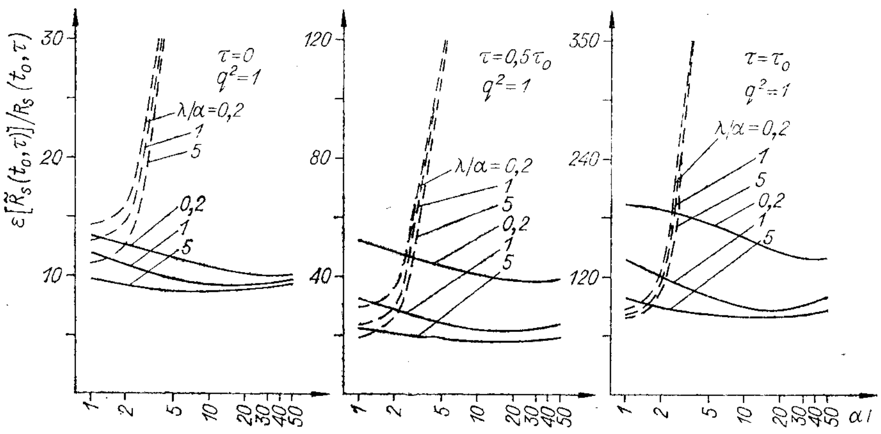


**Рис. 2.**

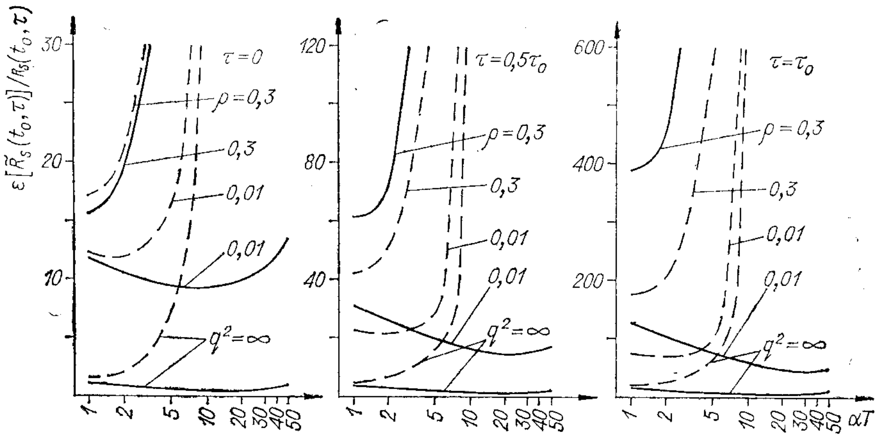


*Рис. 3.*

$$R_S(t,\tau)=\sigma_Z^2\, e^{-2\beta t+\beta\tau-\alpha|\tau|}; \tag{7}$$

$$R_N(t,\tau)=\sigma_N^2\, e^{-2\mu t+\mu\tau-\lambda|\tau|}. \tag{8}$$

На рис. 1, 2 $\mu=0$ (стационарная помеха): $\beta t_0=1$; $q^2=\sigma_Z^2/\sigma_Y^2$; $\gamma=\beta/\alpha=0{,}01$ — сплошные кривые; $\gamma=0{,}5$ — штриховые. На рис. 3 $\mu\neq 0$ (нестационарная помеха); $\rho=\mu/\alpha$; $q^2=1$; $\lambda/\alpha=1$; $(\beta-\mu)t_0=1$; $\gamma=0{,}01$ — сплошные кривые; $\gamma=0{,}3$ — штриховые. Величина $\tau_0$ определяется из условия $R_Z(\tau_0)=0{,}05R_Z(0)$.

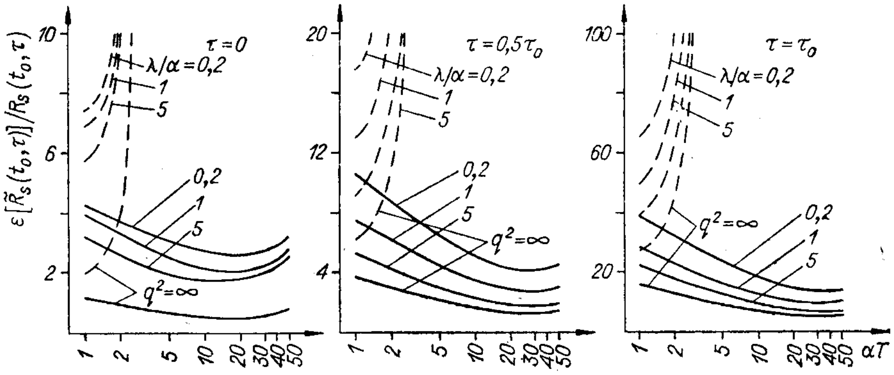


*Рис. 4.*

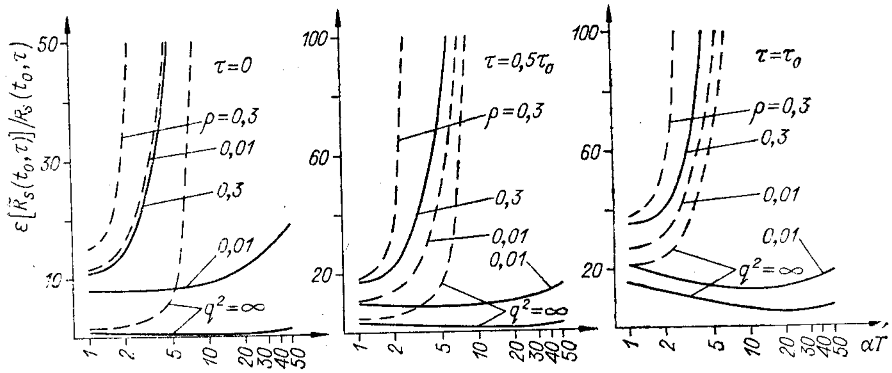


*Рис. 5.*

Мультипликативная помеха. При таком воздействии помехи $N(t)$ на исследуемый процесс $S(t)$

$$X(t)=S(t)\ [1+N(t)]. \tag{9}$$

В результате

$$\widetilde{R}_S(t_0,\tau)=\int_0^T h(t)\,S(t_0-t)[1+N(t_0-t)]\,S(t_0-t-\tau)[1+N(t_0-t-\tau)]\,dt. \tag{10}$$

Полная погрешность оценки (10) вычислена для $\sigma_Y^2=1$ при $h(t)$, $R_S(t,\tau)$ и $R_N(t,\tau)$ вида (6), (7) и (8) соответственно и некоррелированных $S(t)$ и $N(t)$. Она представлена на рис. 4 при $\mu=0$, где сплошные кривые соответствуют $\gamma=0{,}01$, штриховые — $\gamma=0{,}5$, и на рис. 5 при $\mu\neq0$, $(\beta-\mu)t_0=1$, $\lambda/\alpha=1$, $\mu t_0=1$, где сплошные кривые — $\gamma=0{,}01$, штриховые — $\gamma=0{,}3$. Для сравнения на рис. 1, 3—5 приведены графики $\varepsilon[\widetilde{R}_S(t_0,\tau)]$ при отсутствии помехи ($q^2=\infty$).

Приведенные результаты выявляют специфику влияния нестационарности помехи на точность измерения корреляционной функции НСП $S(t)$. Последняя особенно четко проявляется в ситуации, когда $N(t)$ — процесс с быстрой нестационарностью (например, $\rho=0{,}3$, как на рис. 3 и рис. 5), а исследуемый процесс — медленнонестационарный ($\gamma=0{,}01$). В этом случае оптимальное значение интервала сглаживания $T_{опт}$, соответствующее минимуму полной погрешности измерения, оказывается меньше, чем в отсутствие помехи. Причем $T_{опт}$ тем меньше, чем быстрее нестационарность помехи (больше $\rho$).

Отметим, что с убыстрением нестационарности $N(t)$ растет полная погрешность измерения $R_S(t_0,\tau)$.

*Поступило в редакцию 20 июня 1972 г.*