

$$p(y) = (1/y) (1/\ln(Y_{\max}/Y_{\min})).$$

По аналогии нетрудно показать, что добавление константы  $C$  к сигналу  $y$  приводит к преобразованию, описываемому формулой гиперболизации гистограммы [4, 6]. Для сигнала  $y = \exp B - C$  имеем

$$Y(A) = (C + Y_{\min}) [(C + Y_{\max}) / (C + Y_{\min})]^{i - A_{\min}} - C.$$

Здесь  $A \in [A_{\min}, A_{\max}]$ ,  $Y \in [Y_{\min}, Y_{\max}]$  — диапазоны значений видеосигнала на исходном изображении и на выходе устройства соответственно;  $p_i$  — распределение значений видеосигнала на исходном изображении (частота появления значений видеосигнала, равных  $i$ ).

Интересно отметить, что в [7], где формула гиперболизации гистограммы получена впервые для случая  $B_{\min} = 0$ ,  $B_{\max} = 1$ , константа  $C$  рассматривалась как неформализуемая величина, зависящая от условий наблюдения объекта (его размеров, отражения фона и т. д.), и выбиралась экспериментально:  $C = 200$ . В работах [4, 6] эта константа использовалась в качестве управляющего параметра преобразования, позволяющего менять условия наблюдения объекта на сложном фоне в задачах препарирования изображений.

В более общем случае сигнал на выходе монитора определяется величиной внешней засветки экрана  $C$  и передаточной характеристикой кинескопа  $y$  [8]:

$$y = kE^\gamma + C.$$

Здесь  $E = \alpha B + \beta$ , где  $B$  — значение видеосигнала;  $\alpha$  и  $\beta$  — параметры, задаваемые вращением ручек регуляции контраста и яркости монитора соответственно,  $k$ ,  $\gamma$  — константы. Для типовых электронно-лучевых трубок  $\gamma = 2 \div 2,5$  [8].

Таким образом, во всех случаях, когда результат преобразования исходного изображения к изображению со стандартной гистограммой предназначен для визуального контроля или анализа, следует формулировать задачу о нахождении требуемого преобразования так, чтобы учесть последующие изменения, вносимые устройством визуализации или регистрации, и получить изображение с заданным видом гистограммы распределения элементов изображения по величине видеосигнала на выходе используемого устройства.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ярославский Л. П. Введение в цифровую обработку изображений. — М.: Сов. радио, 1979.
2. Pratt W. K. Digital image processing. — N. Y.: Wiley, 1978.
3. Rosenfeld A., Kak A. C. Digital picture processing. — N. Y.: Academic Press, 1976.
4. Беликова Т. П. Исследование некоторых методов цифрового препарирования изображений. — В кн.: Цифровая обработка сигналов и ее применения. М.: Наука, 1981.
5. Ярославский Л. П. Устройства ввода-вывода изображений для ЭЦВМ. — М.: Энергия, 1968.
6. Беликова Т. П., Ярославский Л. П. Препарирование изображений в диалоговом режиме в задачах медицинской диагностики и исследования природных ресурсов. — Автометрия. 1980. № 4.
7. Frie W. Image enhancement by histogram hiperbolization. — Computer Graphics and Image Processing, 1977, vol. 6, N 3, p. 286—294.
8. Нетравали А. И., Лимб Д. О. Кодирование изображений. Обзор. — ТИИЭР, 1980, т. 68, № 3.

Поступило в редакцию 12 марта 1982 г.

УДК 621.384.3

С. М. БЕНЗА, Б. В. УХОВ

(Азов)

#### ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОГО ТРАКТА СКАНИРУЮЩИХ СИСТЕМ ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ТОЧЕЧНЫХ ОБЪЕКТОВ

В работе [1] приводятся оптимальные значения верхней граничной частоты полосы пропускания  $f_b = (0,36 \div 0,80)/\tau$  для сканирующих оптико-электронных систем (ОЭС) в случае, когда на выходе безынерционного фотоприемника (ФП) имеются два прямоугольных импульса длительностью  $\tau = a/v$ , разделенные временным

промежутком  $\tau$ , где  $v$  — скорость сканирования в плоскости изображений объектива,  $a$  — размер чувствительной площадки ФП в направлении сканирования.

При идеальной оптической системе (ОС) приемной головки подобный сигнал на выходе безынерционного ФП (с равномерной чувствительностью по площадке) формируется при сканировании под прямым углом двух бесконечно длинных параллельных нитей, изображения которых находятся в плоскости изображений объектива на расстоянии  $2a$  друг от друга.

По аналогии с [1—3] импульсную реакцию электронного тракта, состоящего из последовательно соединенных инерционного звена, эквивалентного ФП излучения, и инерционного звена, эквивалентного усилителю, определяем соотношением  $h(t) = \alpha\beta(e^{-\alpha t} - e^{-\beta t})/(\beta - \alpha)$ . Здесь  $\tau_{пр} = 1/\beta$  — постоянная времени инерционного ФП с импульсной реакцией  $\varphi_1(t) = \beta e^{-\beta t}$ ,  $\tau_{ус} = 1/\alpha$  — постоянная времени усилителя с импульсной реакцией  $\varphi_2(t) = \alpha e^{-\alpha t}$ .

Для одной нити в случае идеальной ОС приемной головки временной сигнал на выходе такой цепи имеет вид

$$\varphi\left(\frac{t}{\tau}\right) = \begin{cases} \left[ \beta\tau \left(1 - e^{-\alpha\tau\frac{t}{\tau}}\right) - \alpha\tau \left(1 - e^{-\beta\tau\frac{t}{\tau}}\right) \right] / (\beta\tau - \alpha\tau), & 0 \leq \frac{t}{\tau} \leq 1; \\ \left[ \beta\tau (e^{\alpha\tau} - 1) e^{-\alpha\tau\frac{t}{\tau}} - \alpha\tau (e^{\beta\tau} - 1) e^{-\beta\tau\frac{t}{\tau}} \right] / (\beta\tau - \alpha\tau), & \frac{t}{\tau} \geq 1. \end{cases} \quad (1)$$

Для получения изображения сигнал с выхода усилителя подается на фоторегистрирующее устройство (ФРУ). Предположим, что функция рассеяния ОС приемной головки и распределение энергии в записывающем пятне ФРУ аппроксимируются гауссовидами, а ФРУ имеет линейную амплитудную характеристику и пренебрежимо малые собственные шумы.

Считаем, что выходной сигнал ФРУ получен при идеальном (т. е. не вносящем никаких искажений и шумов) микрофотометрировании фотопленки с записью изображения отдельной строки, осуществляемом с той же скоростью  $v_1$ , что и запись. Пусть

$$h(x, x') = K \exp\left\{-\frac{\gamma^2}{2}(x - x')^2\right\} \text{ и } h_1(x_1, x'_1) = K_1 \exp\left\{-\frac{\gamma_1^2}{2}(x_1 - x'_1)^2\right\} \quad (2)$$

— функции рассеяния ОС и ФРУ соответственно [4]; здесь  $\gamma = k/D$ ,  $\gamma_1 = k_1/d$  ( $D$  — диаметр кружка рассеяния ОС приемной головки;  $d$  — диаметр эффективного кружка рассеяния ФРУ;  $k, k_1$  — безразмерные коэффициенты пропорциональности, причем  $k = k_1 = 2,35$ , если  $D$  и  $d$  определяются по уровню 0,5;  $K, K_1$  — нормирующие множители).

При равенстве скоростей записи и микрофотометрирования выходной сигнал ФРУ представляется так:

$$U\left(\frac{t}{\tau}\right) = \frac{s}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} \varphi\left(\frac{\theta}{\tau}\right) \exp\left\{-\frac{s^2}{2}\left(\frac{\theta}{\tau} - \frac{t}{\tau}\right)^2\right\} d\theta, \quad (3)$$

где  $s = \delta\varepsilon_1/\sqrt{\delta^2 + \varepsilon_1^2}$ ;  $a_1 = av_1/v$ ;  $\delta = \gamma a = ka/D$ ;  $\varepsilon_1 = \gamma_1 a_1 = k_1 a_1/d$  — безразмерные параметры;  $\varphi(t/\tau)$  — сигнал на выходе усилителя.

Параметры  $\delta' = 1/\delta = D/ka$  и  $\varepsilon'_1 = 1/\varepsilon_1 = d/(k_1 a_1)$  можно рассматривать как относительные размеры диаметров кружка рассеяния ОС приемной головки и записывающего пятна ФРУ соответственно.

Запишем выражение для сигнала на выходе ФРУ при сканировании ОС приемной головки двух бесконечно длинных нитей, расстояния между которыми в плоскости изображений  $2a$ :

$$U_{\text{вых}}(t/\tau) = U(t/\tau) + U(t/\tau - 2) \quad (4)$$

(здесь  $U(t/\tau)$  — выходной сигнал ФРУ при сканировании одной нити, определяемый из соотношения (3) с учетом (1)).

Доопределив нулем функцию  $\varphi(t/\tau)$  при  $-\infty < t/\tau \leq 0$  и подставив (1) в (3), запишем  $U(t/\tau)$  в следующей форме:

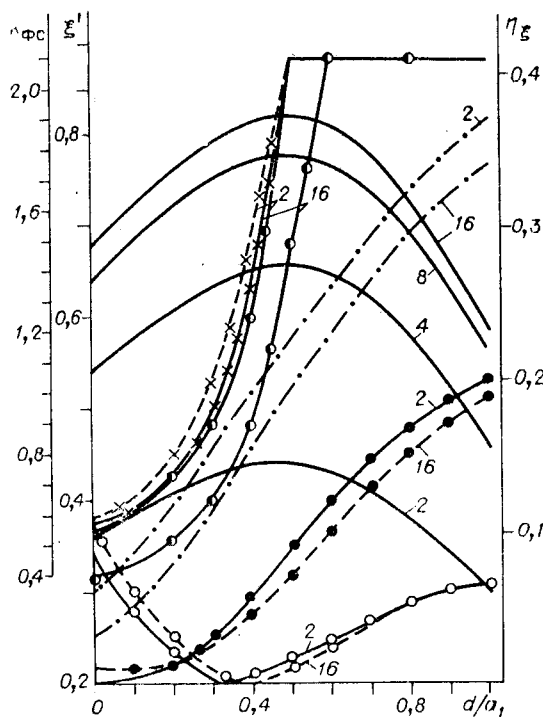
$$U(t/\tau) = \{\beta\tau\sigma(t/\tau, \alpha\tau, s) - \alpha\tau\sigma(t/\tau, \beta\tau, s)\} / (\beta\tau - \alpha\tau), \quad (5)$$

где  $\sigma(t/\tau, z, s) = (\Psi_0 - \Psi_{-1})/2$ ;  $\Psi_n = \Phi[s(t/\tau + n)] - \{1 - \Phi[z/s - s(t/\tau + n)]\} \exp\{z^2/$

$$12s^2 - z(t/\tau + n)\}; \quad \Phi(u) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^u \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt.$$

Рис. 1. Графики зависимости от  $d/a_1$ :

относительного «качества»  $\xi'$  при  $\alpha\tau = \alpha\tau_{\text{опт}}$  для  $D/a = 0,6$  (сплошная кривая); оптимального коэффициента формы сигнала КФС для  $D/a = 0$  (кривые с полукружками),  $D/a = 1,0$  (кривые с крестиками); функции отклонения  $\eta_g$  для  $D/a = 0,6$  при  $\alpha\tau = 6,28$  (кривые с кружками),  $\alpha\tau = 3,77$  (кривые с точками),  $\alpha\tau = 2,36$  (штрихпунктирные кривые). Цифры у кривых равны значениям  $\beta\tau$ .



Функция  $U_{\text{вых}}(t/\tau)$  в случае разрешения двух сканируемых нитей имеет два максимума  $U_1$ ,  $U_3$  и минимум между ними  $U_2$ . Величину относительного провала  $g$ , характеризующую разрешающую способность сканирующих ОЭС, вводим аналогично [1] и [4]:  $g = 2((U_1 + U_3)/2 - U_2)/(U_1 + U_3)$ .

Если на вход усилителя с ФП поступает белый шум со спектральной плотностью  $m/2$ , то приведенные величины, соответствующие отношению сигнал/шум  $\mu$  и «качеству»  $\xi$  ОЭС на выходе ФРУ, можно представить в виде

$$\mu = (1/2)(U_1 + U_3)/\sigma_{\text{ш}}; \quad \xi = g\mu = (1/2)(U_1 + U_3 - 2U_2)/\sigma_{\text{ш}},$$

где  $\sigma_{\text{ш}} = \sqrt{\alpha\tau \exp\{(\alpha\tau/\epsilon_1)^2\} [1 - \Phi_1(\alpha\tau/\epsilon_1)]}$ ;  $\Phi_1(x) = \Phi(\sqrt{2}x)$ .

По графикам зависимости относительной величины «качества»  $\xi' = \xi/\xi_0$  от  $\alpha\tau$  для фиксированных значений  $\beta\tau$ ,  $D/a$ ,  $d/a_1$  ( $2 \leq \beta\tau \leq 16$ ;  $0 \leq D/a \leq 1$ ;  $0 \leq d/a_1 \leq 1$ ) нетрудно установить, что все эти кривые имеют максимальные значения. Здесь  $\xi_0 = 0,539$  — максимальное значение приведенного «качества»  $\xi(\alpha\tau)$  для  $\beta\tau \rightarrow +\infty$ ,  $d/a_1 = D/a = 0$ , достигаемое при  $\alpha\tau = 2,28$  [1], где  $d/a_1 = 2,35/\epsilon_1$ ,  $D/a = 2,35/6$  — относительные диаметры соответственно записывающего пятна ФРУ и кружка рассеяния ОС приемной головки, определяемые по уровню 0,5.

При малых кружках рассеяния ФРУ ( $d/a_1 \leq 0,4$ ) кривые  $\xi' = \xi'(\alpha\tau)$  имеют явно выраженные экстремумы, которые с ростом  $d/a_1$  достигаются при больших  $\alpha\tau$ . Значение  $\alpha\tau = \alpha\tau_{\text{опт}}$ , обеспечивающее максимум  $\xi'(\alpha\tau)$ , считаем оптимальным.

При  $d/a_1 \geq 0,5$ ;  $0 \leq D/a \leq 1$ ;  $2 \leq \beta\tau \leq 16$  функция  $\xi'(\alpha\tau)$  имеет пологие максимумы, и существует такое  $\alpha\tau = \alpha\tau_{\text{кр}}$ , что увеличение  $\alpha\tau$  выше  $\alpha\tau_{\text{кр}}$  не приводит к заметному росту  $\xi'(\alpha\tau)$ . Тогда за  $\alpha\tau_{\text{опт}}$  можно принимать  $\alpha\tau_{\text{кр}}$ . Для  $2 \leq \beta\tau \leq 16$ ,  $0 \leq D/a \leq 1$  и  $d/a_1 \geq 0,5$  значения  $\xi'(\alpha\tau)$ , вычисленные при  $\alpha\tau = \alpha\tau_{\text{кр}} = 13,5$ , не более чем на 1% меньше  $\xi'(\alpha\tau_{\text{опт}})$ .

Следовательно, при изменении  $\beta\tau$ ,  $D/a$ ,  $d/a_1$  в указанных промежутках  $\alpha\tau_{\text{опт}} = \alpha\tau_{\text{кр}} = 13,5$ .

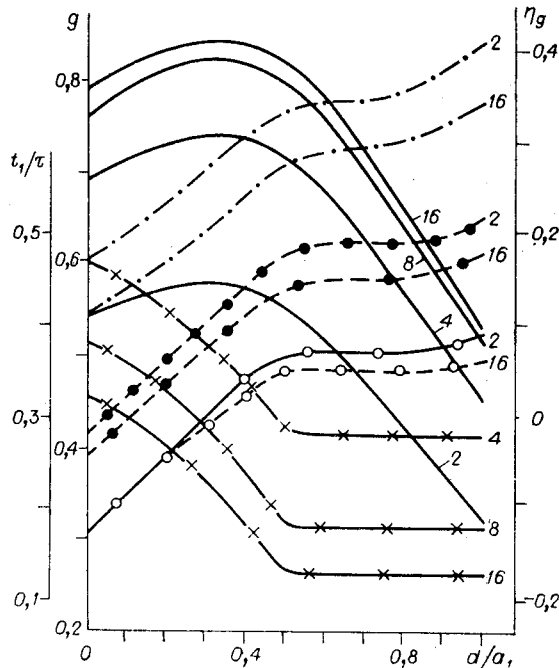


Рис. 2. Графики зависимостей от  $d/a_1$ :

относительного провала  $g$  при  $\alpha\tau = \alpha\tau_{\text{опт}}$  для  $D/a = 0,6$  (сплошные кривые); функции отклонения  $\eta_g$  для  $D/a = 0,6$  при  $\alpha\tau = 6,28$  (кривые с кружками),  $\alpha\tau = 3,77$  (кривые с точками),  $\alpha\tau = 2,36$  (штрихпунктирные кривые); временного сдвига изображения  $t_1/\tau$  при  $\alpha\tau = \alpha\tau_{\text{опт}}$  для  $D/a = 0,6$  (кривые с крестиками). Цифры у кривых равны значениям  $\beta\tau$ .

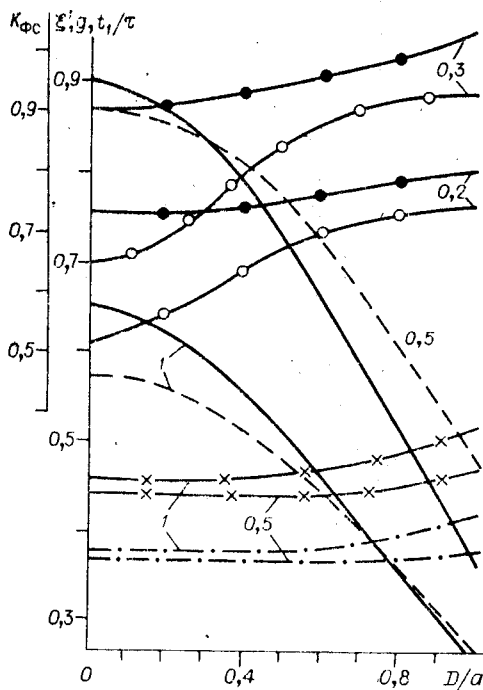


Рис. 3. Графики зависимости от  $D/a$ :

оптимального коэффициента формы сигнала  $K_{Фс}$  для  $\beta\tau=2$  (кривые с точками),  $\beta\tau=16$  (кривые с кружками); относительного «качества»  $\xi'$  при  $\beta\tau=4$  и  $\alpha\tau=\alpha\tau_{опт}$  (сплошные кривые); относительного провала  $g$  при  $\beta\tau=4$  и  $\alpha\tau=\alpha\tau_{опт}$  (штриховые кривые); временного сдвига изображения  $t_1/\tau$  для  $\beta\tau=4$  при  $\alpha\tau=6,28$  (штрихпунктирные кривые),  $\alpha\tau=3,77$  (кривые с крестиками). Цифры у кривых равны значениям  $d/a_1$ .

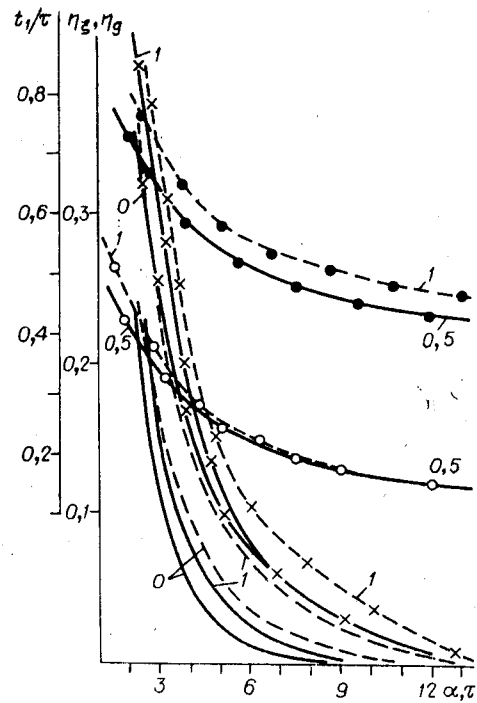


Рис. 4. Графики зависимости от  $\alpha\tau$ :

функции отклонения  $\eta_\xi$  для  $\beta\tau=8$  при  $d/a_1=0,5$  (сплошные кривые),  $d/a_1=1,0$  (кривые с крестиками); функции отклонения  $\eta_g$  для  $\beta\tau=8$  при  $d/a_1=0,5$  (штриховые кривые),  $d/a_1=1$  (штриховые кривые с крестиками); временного сдвига  $t_1/\tau$  для  $D/a=0,6$  при  $\beta\tau=2$  (кривые с точками),  $\beta\tau=16$  (кривые с кружками). Цифры у кривых  $\eta_\xi$  и  $\eta_g$  равны значениям  $D/a$ , а у кривых  $t_1/\tau$  — значениям  $d/a_1$ .

Из рис. 1 видно, что  $d/a_1$  сильно влияет на выбор оптимального коэффициента формы сигнала [1, 4]  $K_{Фс} = f_1\tau = \alpha\tau_{опт}/2\pi$ , в то время как  $D/a$ ,  $\beta\tau$  оказывают слабое влияние на указанный параметр  $K_{Фс}$  и, следовательно, на выбор оптимальной полосы пропускания усилителя.

При  $2 \leq \beta\tau \leq 16$ ,  $0 \leq D/a \leq 1$  и  $0 \leq d/a_1 \leq 0,5$  оптимальное значение  $K_{Фс}$  находится в пределах  $2,48/2\pi \leq K_{Фс} \leq 13,5/2\pi$ , а для  $d/a_1 \geq 0,5$  в качестве оптимального значения  $K_{Фс}$  целесообразно выбирать  $K_{Фс} = \alpha\tau_{опт}/2\pi = \alpha\tau_{кр}/2\pi = 13,5/2\pi = 2,15$ .

Как видно из рис. 1, 2, для  $2 \leq \beta\tau \leq 16$ ,  $0 \leq D/a \leq 1$  функции  $\xi'(\alpha\tau_{опт})$  достигают максимума при  $d/a_1 \approx 0,5$ , превышения которого над соответствующими  $\xi'(\alpha\tau_{опт})$  при  $d/a_1 = 1$  и  $d/a_1 = 0$  находятся соответственно в пределах (26—38)% и (11—19)%. Значения  $d/a_1$ , обеспечивающие максимум  $g(\alpha\tau_{опт})$ , колеблются от 0,2 до 0,5.

Следовательно, в фоторегистрирующих устройствах сканирующих ОЭС, предназначенных для обнаружения и регистрации точечных источников, запись на пленку желательнее вести с помощью пятна, размер которого по строке в два раза меньше размера по кадру ( $d/a_1 = 0,5$ ); при этом отклонение относительного провала  $g(\alpha\tau_{опт})$  от максимального значения составит не более 5%.

Как следует из рис. 3, значения  $\xi'(\alpha\tau_{опт})$  и  $g(\alpha\tau_{опт})$  уменьшаются с ростом  $D/a$ . Для  $2 \leq \beta\tau \leq 16$  и  $0 \leq d/a_1 \leq 1$  увеличение  $D/a$  от 0 до 0,4 приводит к уменьшению  $\xi'(\alpha\tau_{опт})$ ,  $g(\alpha\tau_{опт})$  соответственно не более чем на 20 и 13%. С увеличением  $D/a$  ослабевает влияние  $\beta\tau$  на выбор оптимального  $K_{Фс}$ .

Вводим функции

$$\eta_\xi(\alpha\tau) = \{\xi(\alpha\tau) - \xi(\alpha\tau_{опт})\} / \xi(\alpha\tau_{опт}) \quad \text{и} \quad \eta_g(\alpha\tau) = \{g(\alpha\tau) - g(\alpha\tau_{опт})\} / g(\alpha\tau_{опт}),$$

которые для фиксированных  $\beta\tau$ ,  $D/a$ ,  $d/a_1$  характеризуют отклонение величин  $\xi$  и  $g$ , вычисленных при произвольных  $\alpha\tau$ , от значений  $\xi(\alpha\tau_{опт})$ ,  $g(\alpha\tau_{опт})$ , соответствующих  $\alpha\tau = \alpha\tau_{опт}$ .

Как видно из рис. 1, 2, 4, функции  $\eta_\xi$ ,  $\eta_g$  сильно зависят от  $d/a_1$  и практически не зависят от  $\beta\tau$  и  $D/a$ .

Для  $2 \leq \beta\tau \leq 16$ ,  $0 \leq D/a \leq 1$ ,  $0 \leq d/a_1 \leq 1$ ,  $0 \leq \eta_\xi(2,36) \leq 0,4$ ,  $0 \leq \eta_\xi(3,77) \leq 0,22$ ,  $0 \leq \eta_g(6,28) \leq 0,22$ ,  $0,1 \leq \eta_g(2,36) \leq 0,44$ ,  $-0,08 \leq \eta_g(3,77) \leq 0,22$ ,  $-0,15 \leq \eta_g(6,28) \leq 0,11$ .

На рис. 4 показано, что в сканирующих оптико-электронных приборах, предназначенных для обнаружения и регистрации точечных источников, выбор верхней частоты полосы пропускания ниже  $f_b = 0,375/\tau$  явно нецелесообразен, так как уже при  $\alpha\tau = 2,36$  для  $2 \leq \beta\tau \leq 16$ ,  $0 \leq D/a \leq 1$  и  $d/a_1 \geq 0,5$  значения относительного «качества»  $\xi'$  и относительного провала  $g$  более чем на 17 и 22% соответственно ниже  $\xi'(\alpha\tau_{\text{опт}})$ ,  $g(\alpha\tau_{\text{опт}})$ . С другой стороны, увеличение  $f_b$  выше  $f_b = 1,0/\tau$ , как видно из рис. 4, ведет к незначительному росту приведенного «качества»  $\xi'$  и относительного провала  $g$ . При  $d/a_1 \geq 0,5$ ,  $2 \leq \beta\tau \leq 16$ ,  $0 \leq D/a \leq 1$  изменение  $f_b$  от  $f_b = 1,0/\tau$  до  $f_b = 2,15/\tau$  практически не сказывается на увеличении  $\xi'$  и  $g$ , а значения функций  $\eta_s(\alpha\tau)$ ,  $\eta_g(\alpha\tau)$  при изменении  $\alpha\tau$  от 6,28 до 13,5 меньше 0,1.

Узел  $t_1/\tau$ , соответствующий первому максимальному значению  $U_1$  сигнала  $U_{\text{вых}}(t/\tau)$ , можно рассматривать как временной сдвиг изображения на ФРУ.

Кривые на рис. 2 свидетельствуют, что в случае оптимальных режимов работы сканирующей ОЭС значения  $t_1/\tau$  убывают с увеличением  $d/a_1$ ,  $\beta\tau$  и существует такое  $d/a_1 \approx 0,5$ , что увеличение  $d/a_1$  выше 0,5 практически не приводит к изменению  $t_1/\tau$ .

Для фиксированных  $\alpha\tau \geq 3,77$ ,  $\beta\tau \geq 4$  прирост значений  $t_1/\tau$  не превышает 0,05, если  $0 \leq D/a \leq 1$  и  $d/a_1$  изменяется от 0,5 до 1, и менее 0,07, если  $0,4 \leq D/a \leq 1$ , а  $d/a_1$  меняется от 0 до 1.

Из рис. 3 видно, что для фиксированных  $\alpha\tau \geq 3,77$ ,  $\beta\tau \geq 4$ ,  $0,5 \leq d/a_1 \leq 1$  значения  $t_1/\tau$  с точностью 0,02 остаются постоянными при изменении  $D/a$  от 0 до 0,6, при этом приращение  $t_1/\tau$ , когда  $D/a$  меняется от 0 до 1, не превосходит 0,08.

Если  $t_1/\tau$ ,  $t_2/\tau$  — узлы, соответствующие максимальным значениям выходного сигнала ФРУ, то величина  $\Delta t = |t_2 - t_1|$  есть временной интервал между экстремумами  $U_1$ ,  $U_2$  результирующего отклика  $U_{\text{вых}}(t/\tau)$ , который, как показывают расчеты, не равен временному интервалу  $2\tau$  между импульсами на входе инерционного ФП для идеальной ОС приемной головки сканирующей ОЭС. Для рассматриваемой аппроксимации характеристик ОЭС величина  $\nu = (2\tau - \Delta t)/2\tau$  составляет  $0 \div 0,125$  при  $\alpha\tau \geq 3,77$ ,  $2 \leq \beta\tau \leq 16$ ,  $0 \leq d/a_1 \leq 1$ ,  $0 \leq D/a \leq 1$ . Значения  $\nu$  убывают с ростом  $\alpha\tau$  и  $\beta\tau$  при изменении  $d/a_1$  и  $D/a$  в вышеуказанных пределах. Для безынерционного ФП (т. е.  $\beta\tau \geq 16$ )  $\nu \in [0; 0,08]$  при  $\alpha\tau \geq 3,77$ ,  $0 \leq d/a_1 \leq 1$ ,  $0 \leq D/a \leq 1$ .

Полученные в работе результаты могут служить основанием для выбора основных параметров сканирующих оптико-электронных приборов, предназначенных для регистрации точечных объектов, на этапах их проектирования и настройки.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ухов Б. В., Клочкова В. Г., Красников Д. Н., Бенза С. М. О влиянии инерционности приемника излучения на основные параметры тепловизора.— ОМП, 1977, № 11.
2. Куртев Н. Д., Хахин В. И. Исследование качества тракта тепловизионной системы.— В кн.: Тепловидение/Под ред. Н. Д. Куртева. М.: МИРЭЛ, 1978, вып. 2.
3. Ухов Б. В., Клочкова В. Г., Красников Д. Н., Бенза С. М. О влиянии аббераций оптической системы на основные параметры тепловизора.— ОМП, 1978, № 11.
4. Ухов Б. В., Бенза С. М., Красников Д. Н. Влияние размеров записывающего пятна фоторегистрирующего устройства на основные параметры тепловизора.— ОМП, 1981, № 3.

Поступило в редакцию 16 сентября 1980 г.;  
окончательный вариант — 10 декабря 1982 г.

УДК 621.373.826.396.96

Ю. Н. БУГАЕВ  
(Москва)

#### ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕННОГО ПОЛОЖЕНИЯ ИМПУЛЬСНОГО СИГНАЛА ФОТОПРИЕМНИКОМ С ФЭУ

Измерение временного положения импульса приемником прямого фотодетектирования с ФЭУ имеет ряд особенностей, вызванных дискретным характером статистических распределений сигнала. Рассмотрим приемник, состоящий из ФЭУ, порогового элемента (ПЭ), схемы временной привязки (СВП) и видеоусилителя (ВУ), имеющего линейную амплитудную характеристику и импульсную характеристику, близкую к прямоугольной. Сигнал на выходе ФЭУ может быть представлен в виде потока одноэлектронных импульсов со случайной амплитудой и длительностью, которая много меньше длительности сигнального импульса. Выходное напряжение ВУ можно представить как отклик фильтра с импульсной характеристикой  $h(t)$  на последовательность  $\delta$ -функций, моменты появления которых случайны и обусловлены