

## КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 621.385.7

Ю. Н. КОРОНИН, С. А. СТАРОСТИН

(Новосибирск)

### ОБЪЕКТИВНЫЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ ЭЛЕКТРОННО-ОПТИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

В настоящее время аппаратура на основе электронно-оптических преобразователей (ЭОП) находит широкое применение в научных исследованиях и разработках. ЭОП дают возможность усиливать яркость изображения, преобразовывать спектральный состав излучения, регистрировать быстротекущие свеговые процессы. Один из наиболее важных параметров ЭОП — пространственная разрешающая способность. Для измерения этого параметра в промышленности используются установки контроля параметров (УКП). При этом производится визуальная оценка разрешающей способности по стандартным штриховым мирам ГОИ. Недостаток этого метода — субъективность: результат зависит от остроты зрения, степени тренированности и других качеств оператора, производящего измерения.

Более перспективными представляются объективные методы измерения и контроля.

Один из методов объективного контроля [1] заключается в том, что на фотокатод ЭОП подается изображение точечного источника света и исследуется сигнал, получаемый при сканировании изображения считывающим лучом ортиска. Этот метод позволяет оценить величину  $D$  — «ширину» аппаратной функции на половинной высоте. Получено эмпирическое соотношение между величиной  $D$  и разрешающей способностью  $N$ :

$$D = 1,2/N. \quad (1)$$

Аналогичные идеи использованы в макете установки для измерения пространственной разрешающей способности ЭОП по дисперсии аппаратной функции [2]. Установлено также [3], что при работе ЭОП в линейном режиме распределение интенсивности в плоскости изображения (при проектировании на фотокатод  $\delta$ -образного источника) хорошо описывается функцией Гаусса:

$$E(x) = E_{\max} \exp(-x^2/2\sigma_{\text{ап}}^2), \quad (2)$$

где  $E_{\max}$  — максимальная освещенность в изображении,  $\sigma_{\text{ап}}^2$  — дисперсия,  $x$  — текущая координата.

Параметр  $X_0$  связан с  $\sigma_{\text{ап}}$  выражением

$$\frac{2 \exp[-(X_0/2)^2/2\sigma_{\text{ап}}^2]}{1 + \exp(-x_0^2/2\sigma_{\text{ап}}^2)} = 0,8,$$

отсюда  $X_0 = 2,7\sigma_{\text{ап}}$ .

Анализ других литературных данных дает следующую оценку для пространственной частоты, разрешаемой визуально по штриховой мире:

$$N_{\text{в}} = 1/X_0 = \frac{1}{(2,5 \div 2,7) \sqrt{D_{\text{ап}}}} \text{ (мм}^{-1}\text{)}. \quad (3)$$

Разброс значений коэффициента в знаменателе объясняется тем, что визуально различаемая разница контраста в изображении меняется в больших пределах: от 3 до 20% в зависимости от условий наблюдения и тренированности наблюдателя.

Из (3) видно, что для определения  $N_{\text{в}}$  необходимо оценивать дисперсию. Дисперсия  $E(x)$  определяется как

$$D = \sigma^2 = \alpha_2/\alpha_0 - (M_1/\alpha_0)^2 = \alpha_2/\alpha_0 = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} x^2 E(x) dx}{\int_{-\infty}^{\infty} E(x) dx},$$

где  $M_1 = \int_{-\infty}^{\infty} (x - m_x) E(x) dx$  — первый момент распределения, равный 0 для центрированного распределения;  $\alpha_0$  и  $\alpha_2$  — нулевой и второй начальные моменты  $E(x)$ .

Измерив эти величины, можно оценить дисперсию, а затем найти визуальное разрешение. Для измерения моментов можно воспользоваться методом масок [2]: форма маски для нахождения  $\alpha_0$  — прямоугольник, для  $\alpha_2$  — парабола (рис. 1). Выбор полной ширины маски производится на основании того, что на участке  $\pm 3\sigma$  сосредоточен практически весь световой поток.

На рис. 1 приведена функциональная схема, а на рис. 2 — макет установки объективного контроля разрешающей способности ЭОП.

Пучком света от источника 1 через матовое стекло 2 и нейтральный фильтр 3 освещается щелевая маска 4, которая объективом 5 проецируется на фотокатод 6 испытываемого ЭОП. Конструктивно детали 1—5 расположены в узле коллиматора установки контроля параметров. Изображение с экрана 7 проецируется объективом 8 на параболическую маску 9. Перемещением этой маски в плоскости фокусировки находится максимум интенсивности на выходе (используются фотоприемник 11 и индикатор 13). Далее световой поток проходит через маску 10, имеющую прямоугольное отверстие. Эта маска устанавливается на место маски 9 (с помощью блока перемещения масок 12) симметрично по отношению к максимуму интенсивности. Блок перемещения масок позволяет устанавливать центры масок с точностью порядка 0,01 мм. Изменяя освещенность щели 4 (путем изменения выходного напряжения источника питания 14), добиваемся того, чтобы сигнал, пропорциональный нулевому моменту, оставался постоянным. Этой операцией исключается различие коэффициентов преобразования

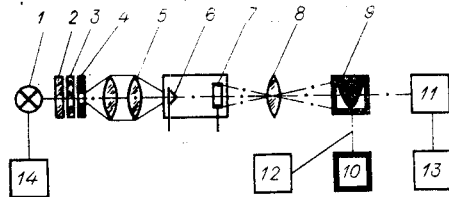


Рис. 1. Функциональная схема установки объективного контроля разрешающей способности ЭОП:

1 — источник света, 2 — матовое стекло, 3 — нейтральный фильтр, 4 — щелевая маска, 5 — объектив «Юпитер-3», 6 — фотокатод ЭОП, 7 — экран ЭОП, 8 — объектив, 9 — параболическая маска, 10 — прямоугольная маска, 11 — фотоприемник (ФЭУ-15), 12 — механизм перемещения масок, 13 — индикатор (М-95), 14 — регулируемый источник питания.

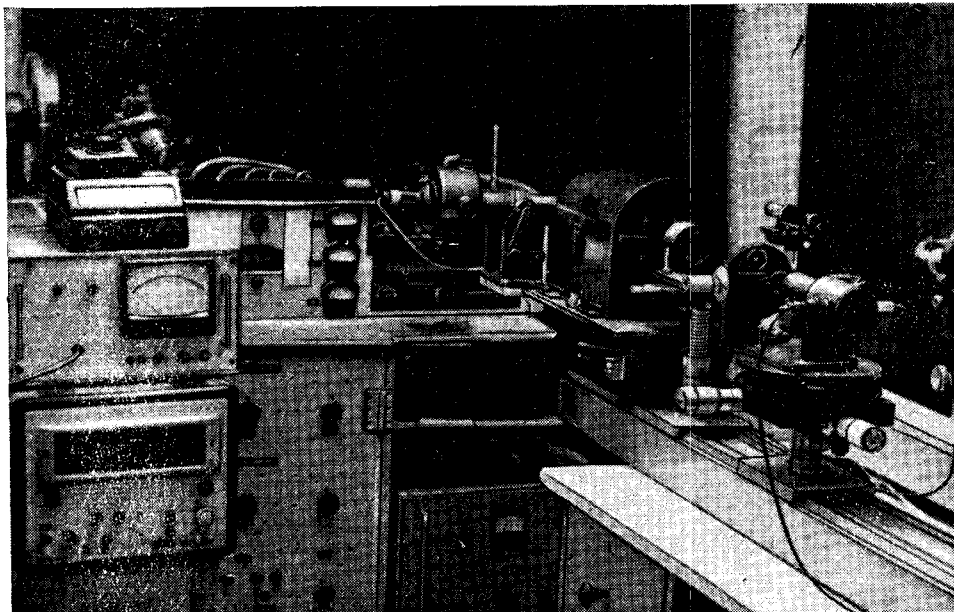


Рис. 2. Общий вид установки.

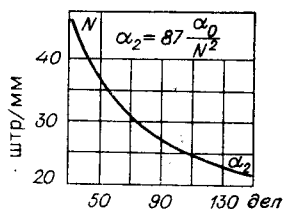


Рис. 3. Градуировочная кривая шкалы прибора М-95.

ЭОП находится под высоким потенциалом; щелевая маска с шириной щели 12 мкм; коллиматор с общим увеличением 0,37 $\times$ .

При известных параметрах установки визуальное разрешение ЭОП находится по формуле

$$N_m = (\Gamma_{\text{ЭОП}} \Gamma_{\text{об}}) / K \sqrt{\alpha_2 / \alpha_0} \quad (4)$$

где  $\Gamma_{\text{об}}$  и  $\Gamma_{\text{ЭОП}}$  — оптическое увеличение объектива и ЭОП соответственно;  $K$  — градуировочный коэффициент, определяемый из условия  $N_m = N_v$  следующим образом. Берутся несколько ЭОП с известным визуальным разрешением, усредненным по нескольким наблюдателям, затем измеряются моменты  $\alpha_2$  и  $\alpha_0$  и все необходимые величины подставляются в формулу (4). По результатам многих измерений значение градуировочного коэффициента равно 2,7.

На рис. 3 показана градуировочная кривая шкалы прибора М-95 для определения разрешающей способности, рассчитанная по формуле

$$\alpha_2 = (1,25/2,7 \cdot N_v)^2 \alpha_0,$$

где  $\alpha_0 = 800$  — постоянное значение нулевого момента, выбранное таким, чтобы при  $N_v = 41,3$  штр/мм показание прибора М-95 было равно 41 делению (на пределе измерения 1 мкА).

Из сравнения результатов измерений масочным и визуальным методами по формуле вычислялась относительная погрешность

$$\gamma = (N_v - N_m) / N_v \cdot 100\%.$$

По результатам измерений максимальная относительная погрешность определения разрешающей способности в диапазоне 25—46 штр/мм не превышала 6%, а среднее значение относительной погрешности составило 3%.

Во время работы на макете установки с каскадными ЭОП трехэлектродной системы было выяснено, что при отклонении подфокусирующего напряжения от оптимального значения, соответствующего максимальной разрешающей способности, изображение щели на экране ЭОП смещается, при этом снижается величина  $\alpha_0$  (маски при отклонении подфокусирующего напряжения от оптимального значения в каждом случае центрировались).

При определении максимальной разрешающей способности и соответственно подфокусирующих напряжений на установке контроля параметров по мирам ГОИ такие смещения не вносят ошибку в результат измерения, так как разрешаемый квадрат миры, рассматриваемый в микроскоп, не выходит за его поле зрения. Поэтому значения подфокусирующих напряжений и максимальной разрешающей способности, измеренные с помощью масок путем последовательного изменения подфокусирующего напряжения на каждой камере ЭОП и регистрации при этом минимального значения сигнала, будут несколько отличаться от значений, определенных на установке визуального контроля.

В заключение отметим, что установку объективного контроля целесообразно использовать для измерения разрешающей способности ЭОП двухэлектродной системы или для контроля ЭОП трехэлектродной системы с известными значениями подфокусирующих напряжений. Кроме того, этот метод можно рекомендовать для применения в комплексе контрольных приборов для ЭОП, имеющих высокую точность сборки элементов.

Авторы выражают благодарность А. М. Искольдскому за постановку задачи и постоянный интерес к работе.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Каскадные электронно-оптические преобразователи и их применение. Под ред. М. М. Бутслова. М., «Мир», 1965. 285 с.

2. А. М. Искольдский, М. И. Кудряшов. О восстановлении оптических сигналов в исследовании быстропротекающих процессов.— «Автометрия», 1972, № 5.  
 3. В. Д. Волосов, В. Р. Муратов, Е. В. Нилов. О разрешающей способности электронно-оптических преобразователей.— «ПТЭ», 1963, № 1.

Поступило в редакцию  
17 февраля 1975 г.

УДК 621.317.7

С. М. ДУБИНА, А. А. КАЛЕНТЬЕВ  
(Куйбышев)

### ОДНА ЗАДАЧА ОПТИМИЗАЦИИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ

В сообщении рассматриваются вопросы выбора оптимального ряда частот опроса параметров объекта при автоматическом контроле с использованием управляющей вычислительной машины (УВМ); предлагаются методы решения задачи выбора оптимального ряда частот на базе теории оптимальных покрытий (ТОП) [1].

При проведении автоматического контроля множества параметров некоторого объекта с помощью УВМ важно, чтобы, с одной стороны, опрос параметров проводился с частотой, удовлетворяющей требованию полноты информации о параметре, точности воспроизведения параметра и т. д., с другой — с целью сокращения времени проведения контроля необходимо параллельное проведение контроля нескольких параметров. Главное препятствие для сокращения времени контроля — большое многообразие частот, с которыми происходит опрос различных параметров.

Как показано в [2], основным ограничением на число параллельно проводимых испытаний с использованием вычислительных машин служит многообразие частот опроса параметров. В связи с этим для увеличения числа параллельно проводимых испытаний (а следовательно, и для уменьшения общего времени контроля технического объекта) целесообразно заменить ряд теоретических частот опроса некоторым набором частот так, чтобы, с одной стороны, достигалась бы максимальная упаковка импульсов опроса на временном отрезке контроля, с другой стороны, чтобы частоты опроса из предлагаемого набора были достаточно близки к теоретическим.

Из физических соображений предполагается, что любая теоретическая частота опроса может быть заменена только большей частотой из оптимального набора, т. е. должно выполняться условие

$$f_j \leq f_{p_j}$$

где  $f_j$  — теоретическая частота опроса  $j$ -го параметра,  $f_{p_j}$  — частота опроса  $j$ -го параметра из оптимального набора частот. Введем функцию загрузки процессора

$$F(f) = \sum_{j=1}^M f_j \tau_j.$$

Здесь  $\tau_j$  — длительность импульса опроса  $j$ -го параметра,  $M$  — число контролируемых параметров.

Критерии эффективности, по которым оценивается выбор оптимального ряда, могут быть следующими.

Критерий 1. Коэффициент перегрузки процессора

$$K_n = \rho(f, f_p) = \frac{\sum_{j=1}^m f_{p_j} \sum_{i=1}^{n_j} \tau_i}{\sum_{j=1}^M f_j \tau_j} = \frac{F(f_p)}{F(f)}, \quad (1)$$

где  $m$  — число частот оптимального набора частот;  $n_j$  — число параметров, контролируемых с теоретическими частотами опроса из интервала  $(f_{p_{j-1}}, f_{p_j}]$ .

Критерий 2. Величина  $\Delta$ , равная наименьшему общему кратному частот аппроксимирующего ряда. Возможное число одновременно проводимых проверок