

Ц845

Б-24

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



2719/2-73

23/VI-73

10 - 7185

М.К. Баранчук, А.С. Буров, В.М. Евсин,
А.Д. Злобин, А.А. Корнейчук, Э.Д. Лалчик,
В.Н. Морозова, И.И. Скрыль, А.И. Филиппов,
В.Н. Шкунденков

ИЗМЕРИТЕЛЬ РАЗМЕРОВ СВЕТОВОГО ПЯТНА
ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ТРУБКИ

1973

**ЛАБОРАТОРИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ
ТЕХНИКИ И АВТОМАТИЗАЦИИ**

10 - 7185

М.К. Баранчук, А.С. Буров, В.М. Евсин,
А.Д. Злобин, А.А. Корнейчук, Э.Д. Лапчик,
В.Н. Морозова, И.И. Скрыль, А.И. Филиппов,
В.Н. Шкунденков

ИЗМЕРИТЕЛЬ РАЗМЕРОВ СВЕТОВОГО ПЯТНА
ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ТРУБКИ

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Для получения необходимого разрешения и точности обмера фотоснимков с трековых камер на сканирующем устройстве электроно-лучевой трубки (ЭЛТ) требуется контролировать размеры светового пятна ЭЛТ. Такая задача возникает, например, при отладке схемы динамической фокусировки электронного пучка ЭЛТ для получения достаточно малого светового пятна на большой площади экрана трубки. Схема описываемого устройства для измерения размеров светового пятна ЭЛТ приведена на рис. 1.

Световое пятно с экрана ЭЛТ проецируется объективом с десятикратным увеличением на диск, вращающийся со скоростью 100 ± 20 об./сек. Диск имеет две параллельные щели шириной 100 мкм и длиной 2 мм каждая. Расстояние между серединами щелей — 2 мм. За диском стоит фотоэлектронный умножитель. Измеритель рассчитан на работу со световыми пятнами размером от 10 до 100 мкм.

При пересечении светового луча каждой щелью на экране осциллографа появляется импульс, по ширине " τ " которого на уровне 0,5 от максимума рассчитывается размер светового пятна " d " в направлении вращения диска (в микронах):

$$d = 200 \cdot \frac{1}{L} \quad (I)$$

Здесь L - расстояние между максимумами импульсов на экране осциллографа.

В (I) учтено десятикратное увеличение объектива и масштабный коэффициент, равный $\frac{D}{L}$ ($D = 2$ мм - расстояние между щелями).

Наличие двух щелей позволяет калибровать масштаб изображения на экране осциллографа и исключить из (I) скорость вращения диска.

Общий вид измерителя приведен на рис.2.

Мотор, диск и ФЭУ находятся внутри барабана, ось которого совпадает с оптической осью объектива. Для совмещения светового пятна с оптической осью объектива барабан может перемещаться по горизонтали и вертикали в пределах 200 мм с помощью винтовых передач. Поворачивая барабан, можно измерять размеры светового пятна в любом направлении. Для отсчета угла, при котором производится измерение, на торец барабана нанесена шкала с отсчетами через 10^0 .

На рис.3. приведены осциллограммы, полученные при измерении размеров светового пятна под разными углами. На рис.4 пунктиром показана реконструкция светового пятна по результатам этих измерений. Для сравнения реконструированное пятно совмещено с его увеличенным изображением.

Как следует из (I), точность измерения размеров пятна определяется качеством измерения параметров импульсов по экрану осциллографа. Очевидно, что на форму и амплитуду этих импульсов влияет ширина щели. Оценим это влияние.

При пересечении светового луча щелью шириной Δ , движущейся вдоль оси X , амплитуда сигнала на выходе ФЭУ:

$$A(t) = k \cdot \frac{I}{\Delta} \int_x^{x+\Delta} \int_{-\infty}^{\infty} S(x,y,t) \cdot J(x,y) dx dy, \quad (2)$$

где $S(x,y,t)$ - функция, описывающая закон перемещения щели во времени.

$J(x,y)$ - распределение яркости по площади светового пятна, которое в дальнейшем считаем гауссовым $/I/$.

k - коэффициент пропорциональности.

Поскольку длина щели значительно превышает размеры проекции пятна на диск, то в (2) пределы интегрирования по Y положены бесконечными и $S(x,y,t) = S(x,t)$.

С учетом последнего равенства нетрудно (2) привести к виду

$$A(t) = k' \cdot \frac{1}{\Delta} \int_x^{x+\Delta} S(x,t) e^{-ax^2} dx,$$

где при преобразованиях положено $J(x,y) = e^{-(ax^2+by^2)}$,
 a, b, c - константы.

Движение щели на участке, равном размерам проекции пятна, можно считать равномерным и прямолинейным. Тогда при линейной развертке и надлежащем выборе ее скорости импульс на экране осциллографа будет описываться функцией

$$A(x, \Delta) = k' \cdot \frac{1}{\Delta} \int_x^{x+\Delta} e^{-a\tau^2} d\tau.$$

Очевидно, при $\Delta \rightarrow 0$ импульс будет иметь гауссову форму. При Δ , отличном от нуля, возникают искажения формы импульса. Он становится асимметричным, уплощается, и его максимум сдвигается в сторону меньших X . Это приведет к дополнительным ошибкам измерения. Однако, чтобы исключить влияние шумов ФЭУ, желательно увеличивать Δ , что приведет к увеличению амплитуды сигнала на выходе ФЭУ.

В дальнейшем условимся за эффективную ширину пятна в направлении X принимать величину

$$d_{\text{эф}}(\Delta) = \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} A(x, \Delta) dx}{\max\{A(x, \Delta)\}}, \quad (3)$$

т.е. основание прямоугольника высотой $\max\{A(x, \Delta)\}$ и площадью, равной площади импульса $A(x, \Delta)$.

Очевидно, $d_{\text{эф}}(0) = \sqrt{\frac{\pi}{a}}$. Примем эту величину за исходную при анализе ошибок, т.к. она является теоретически идеальным результатом измерения по (3). Поскольку в дальнейшем рассчитываются относительные погрешности, можно положить $a = 1$.

В реальных условиях измеряется $d_{0,5}(\Delta)$ — ширина импульса по уровню 0,5 от максимума. При расчете ошибок $d_{0,5}(\Delta)$ определялась как модуль разности корней уравнения

$$\int_x^{x+\Delta} e^{-f^2} d\xi = \frac{1}{2} \cdot \max\left\{\int_x^{x+\Delta} e^{-f^2} d\xi\right\}$$

Очевидно, $d_{0,5}(0) = 2\sqrt{\ln 2}$, что в идеальном случае ($\Delta = 0$) приводит к систематической ошибке

$$\delta_e = \frac{d_{0,5}(0)}{d_{\text{эф}}(0)} = \frac{2\sqrt{\ln 2}}{\sqrt{\pi}} \approx 0,94,$$

т.е. результат измерения занижается примерно на 6%.

Относительная ошибка

$$\delta_{0,5}(\Delta) = \frac{d_{0,5}(\Delta)}{\sqrt{\pi}}$$

была рассчитана на ЭВМ БЭСМ-4. Результаты этого расчета приведены на рис.5 в виде графика, где по оси абсцисс отложена относительная ширина щели $\frac{\Delta}{\sqrt{\pi}}$. Разброс точек на графике рис.5 объясняется ошибкой интерполяции.

Ошибка $\delta_{0,5}(\Delta)$ также систематическая. Как следует из графика рис.5, увеличение ширины щели приводит к завышению результатов измерений относительно идеального случая и при $\frac{\Delta}{\sqrt{\pi}} \approx 0,48$ ошибка δ_e компенсируется. Таким образом, ширина щели должна быть примерно вдвое меньше эффективной ширины проекции пятна. Поэтому в измерителе и выбрана ширина щели $\Delta = 100 \mu\text{м}$. Поскольку заранее размеры пятна известны очень приблизительно, компенсации погрешностей ожидать не следует, однако ошибка всегда остается небольшой. Так, например, если ожидаемая величина $\frac{\Delta}{\sqrt{\pi}}$ лежит в пределах $0,2 + 0,6$, то ошибка не превышает $\pm 5\%$. К ней добавляется погрешность измерений по экрану осциллографа, оценить которую теоретически очень трудно. Поэтому результирующая точность измерителя была оценена после его калировки. Для этой цели было изготовлено несколько искусственных световых пятен-отверстий в фольге размером от 20 до 60 $\mu\text{м}$. Листки фольги помещались в фокальной плоскости

объектива и подсвечивались извне. Затем отверстия в фольге были измерены на микроскопе. Результаты калибровки приведены на рис.6, где диапазон разброса измерений на описываемом устройстве отмечен вертикальными штрихами. Как следует из рис.6, относительная погрешность измерителя не превышает $\pm 7,5\%$, что достаточно для настройки сканирующего устройства на ЭЛТ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Миллер В.А., Куракин Л.А.

Приемные электронно-лучевые трубки.

"Энергия" 1971 г.

Рукопись поступила в издательский отдел
25 мая 1973 года.

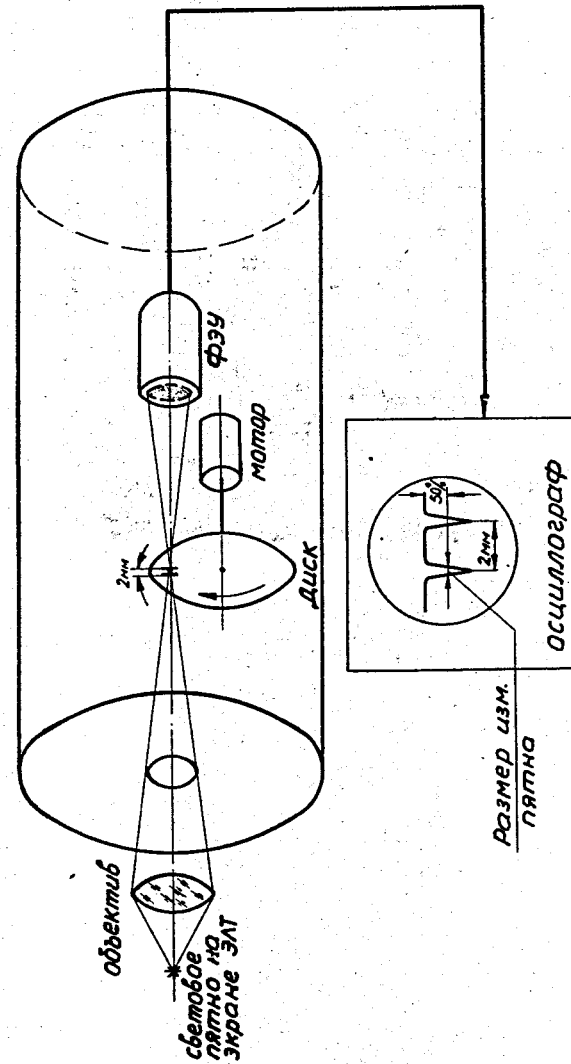


Рис. 1. Схема устройства для измерения размера светового пятна ЭЛТ.

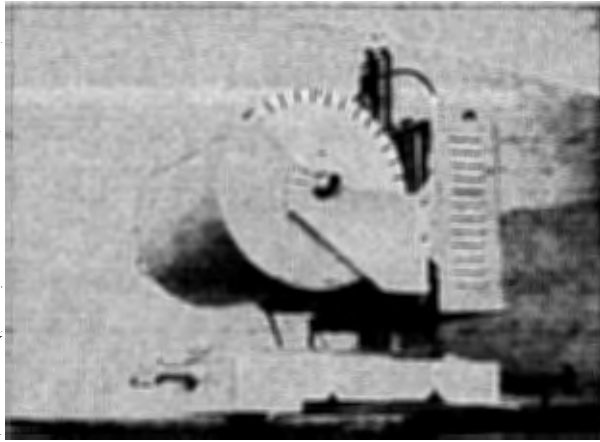


Рис.2. Общий вид измерителя.

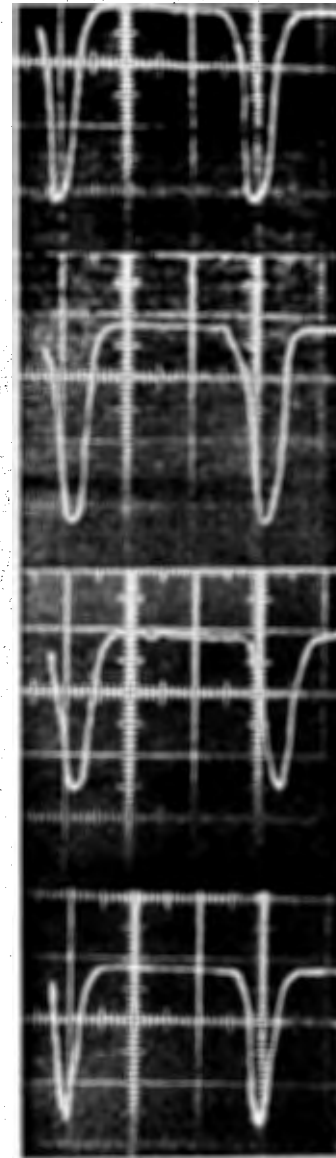


Рис.3.

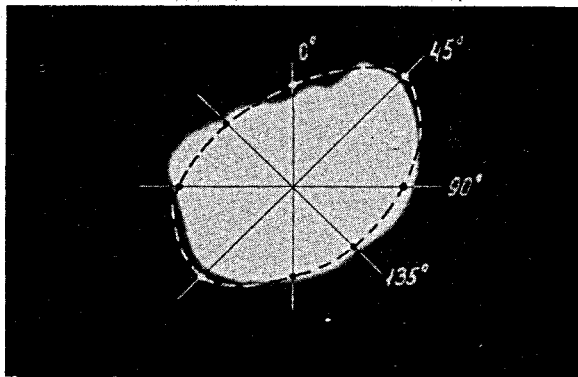


Рис. 4.

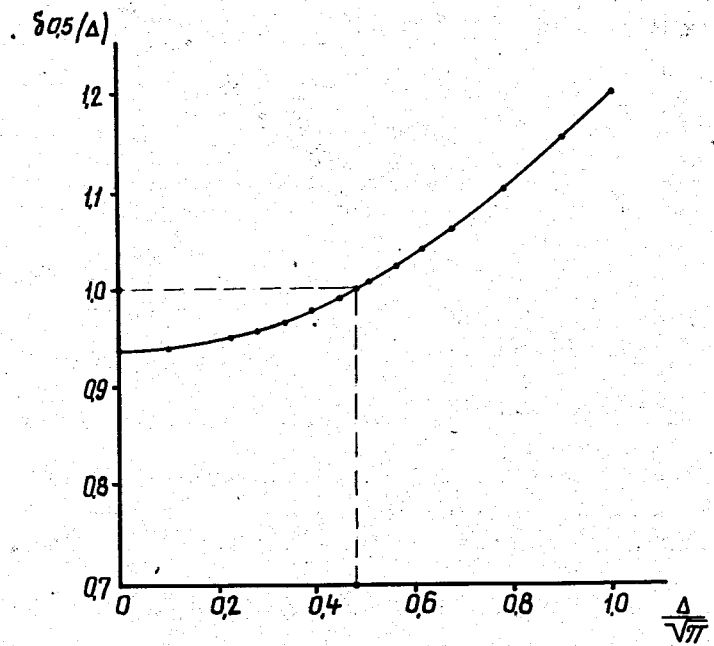


Рис. 5. График систематической ошибки.

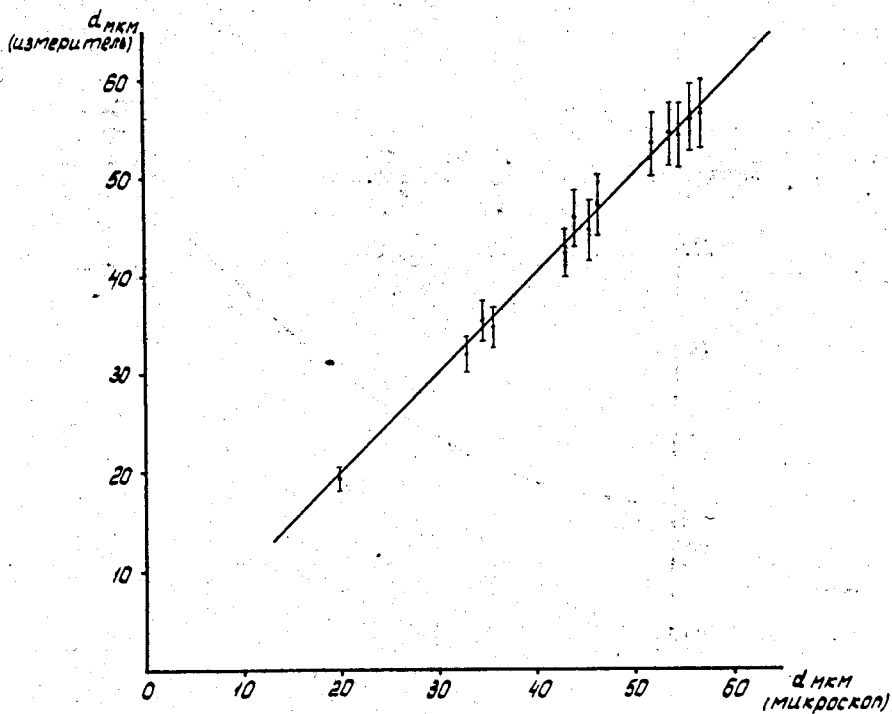


Рис. 6. Калибровочный график.