

**Ю. Л. КРАВЧЕНКО, Г. М. МАМОНТОВ, Ю. В. ОБИДИН,  
ПРИ МИКРОФИЛЬМИРОВАНИИ С ЭКРАНА ЭЛТ**

Проблема машинной обработки изображений и вывод результатов этой обработки на фотоматериалы — одна из наиболее часто встречающихся задач, связанных с научными исследованиями в области экспериментальной физики, голографии, биологии, картографии и других. Среди всего многообразия устройств для решения таких задач особое место занимают сканирующие системы на основе электронно-лучевых трубок (ЭЛТ) высокого разрешения как наиболее гибкие и универсальные.

В работе [1] приведено описание быстродействующего устройства вывода буквенно-цифровой информации и изображений из ЭВМ на микрофильм. В устройстве процесс построения изображения осуществляется поточно, т. е. изображение может строиться либо в виде семейства точек, либо в виде отрезков прямых линий, состоящих из последовательности световых точек. При этом из ЭВМ на вход устройства поступают коды координат, времени экспонирования, яркости и диаметра пятна, величины шага. В [2] приведен анализ зависимости суммарной яркости в произвольной точке строки, состоящей из последовательности световых пятен, от расстояния между их центрами (величины шага). В настоящей заметке рассмотрены некоторые особенности управления световым пятном (диаметром, яркостью, временем экспонирования и т. д.) на экране ЭЛТ в устройствах типа «Карат» с целью получения высококачественных снимков на микрофильмах.

Размер изображения на экране ЭЛТ составляет  $60 \times 45$  мм. Разрешающая способность ЭЛТ —  $4096 \times 3072$  управляемых точек при контрастности 60%. Эту разрешающую способность необходимо сохранить и на кадре микрофильма, что требует для объектива разрешающей способности около 150 лин/мм. Кроме того, объектив должен обладать сравнительно большой светосилой для уменьшения времени экспозиции пленки, а также хорошим светопропусканием на длине волны излучения люминофора ЭЛТ (обычно 400—450 нм).

Известно [3], что любую структуру объекта, который должен быть спроецирован на микрофильм, можно описать как распределение яркости  $B(x, y)$  в плоскости объекта. В то же время непериодическую функцию  $B(x, y)$  можно представить как последовательность синусоидальных распределений яркости на различных пространственных частотах от 0 до  $\infty$ :

$$B(x, y) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \tau(R_x, R_y) e^{2\pi i(R_x X + R_y Y)} dR_x dR_y,$$

где  $R(x, y)$  — разрешающая способность;  $\tau(R_x, R_y)$  — частотная функция в плоскости объекта, которая получается путем представления освещенности в зависимости от пространственной частоты

$$\tau(R_x, R_y) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} B(x, y) e^{-2\pi i(R_x X + R_y Y)} dx dy.$$

Аналогично частотная функция в плоскости изображения

$$\tau'(R_x, R_y) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} B'(x, y) e^{-2\pi i(R_x X + R_y Y)} dx dy.$$

Здесь  $B'(x, y)$  — распределение яркости в плоскости изображения.

Частотная функция изображения отличается от частотной функции объекта тем, что является следствием ограниченных свойств оптической системы передачи изображения:

$$\tau'(R_x, R_y) = D(R_x, R_y) \tau(R_x, R_y).$$

Функция  $D(R_x, R_y)$  — функция оптической передачи или частотно-контрастная характеристика объектива (ЧКХ). В устройстве микрофильмирования применяется объектив «Индустар-61», который используется в режиме переноса изображения на микрофильм с уменьшением в 2,5 раза для  $\lambda = 450$  нм. Экспериментально полученная ЧКХ этого объектива приведена на рис. 1. Как видно из этого рисунка, объектив не полностью реализует разрешающую способность ЭЛТ. Предельная частота объектива составляет примерно 100 лин/мм. Это означает, что на идеальном фотоносителе можно формировать линии шириной около 8 мкм.

Освещенность в плоскости изображения является функцией распределения яркости объекта  $B(x, y)$ , апертуры объектива для рассматриваемого угла изображения, поглощения и отражения в системе линз, масштаба переноса и угла изображения. На рис. 2 приведена рассчитанная нормированная кривая усредненного распределения освещенности на кадре микрофильма устройства «Карат».

Вследствие небольшого изменения освещенности размер малых объектов фотографического изображения не остается постоянным. С возрастанием яркости ширина изображения заметно увеличивается. Увеличение размера изображения обусловлено многократным отражением, преломлением и дифракцией света на зернах галоидного серебра эмульсии. Степень рассеяния света в эмульсионном слое зависит от большого числа факторов, таких как размер, форма, упаковка, ориентация зерен, длина волны, апертура светового пучка и т. д. Диаметр точечного изображения  $d$  связан с освещенностью  $E$  следующим соотношением:

$$d = a + b \lg E, \quad (1)$$

где  $a$  и  $b$  — постоянные величины.

Изменение освещенности оказывает влияние также на размытость краев линий. Известно, что размытость края определяется выражением [3]

$$\Delta l = \frac{d(\lg E)}{dS} \frac{1}{d(\lg E)/dx} \Delta S. \quad (2)$$

Здесь  $\Delta S$  — разность оптической плотности почернения;  $E(x)$  — светораспределение.

На линейном участке характеристической кривой почернения фотоматериала  $S(E)$  плотность почернения в  $i$ -й области кривой

$$S_i = \gamma \lg E_i t_i,$$

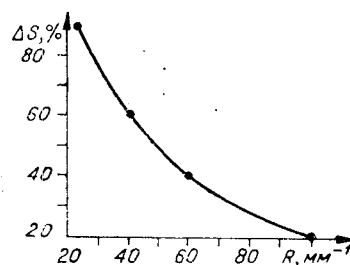


Рис. 1.

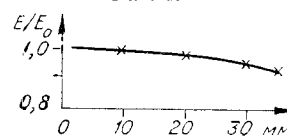


Рис. 2.

где  $t$  — время экспонирования;  $\gamma$  — коэффициент контрастности, определяющий наклон характеристической кривой. При равных значениях времени экспонирования

$$\Delta S = \gamma \lg \frac{E_1}{E_2}.$$

Тогда выражение (2) будет иметь следующий вид:

$$\Delta l = \frac{1}{\gamma} \frac{1}{d(\lg E)/dx} \Delta S. \quad (3)$$

Анализируя выражения (3), можно отметить, что размытость края будет меньше при более высоком значении коэффициента контрастности  $\gamma$ , а также при более сильной разрешающей способности объектива, которая характеризуется в выражении (3) отношением  $d(\lg E)/dx$ . Изменение освещенности приводит к тому, что разность оптической плотности почернения  $\Delta S$  и соответственно величина размытости края также изменяются. Из выражений (1) и (3) следует, что при выводе изображения из ЭВМ на микрофильм можно программно управлять шириной линии путем изменения яркости или времени экспонирования.

На рис. 3 приведена полученная экспериментально на устройстве «Карат» зависимость ширины линии от яркости (обозначена точками) и времени экспонирования (обозначена крестиками). Съемка производилась на пленку «Микрат-300».

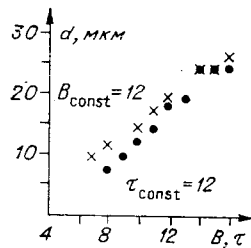


Рис. 3.

Одним из основных условий, определяющих получение оптимального качества изображения, является выбор величины освещенности и времени экспонирования. При эксплуатации устройства «Карат» эта задача сводится к установлению такой

яркости и времени экспонирования, чтобы при максимальной разрешающей способности на фотоэмульсии получить требуемую величину разности оптических плотностей почернения. При этом необходимо учитывать, что плотность почернения самых мелких деталей изображений (на пределе разрешения объектива) может быть меньше таковой для более крупных элементов изображения.

Оптическая плотность почернения фотоэмульсии определяется как

$$S_i = \lg \frac{1}{\tau_i}.$$

Здесь  $\tau_i$  — коэффициент пропускания  $i$ -го участка фотоэмульсии. На линейном участке характеристической кривой величина  $S_i$  однозначно получается из величины экспозиции  $E_i t_i$ . При фотографировании с экрана ЭЛТ освещенность после объектива определяется из выражения

$$E = \frac{\pi B \tau}{4} \left( \frac{D_{\text{зр. вх}}}{f} \right)^2 \frac{\beta_0^2}{(\beta_0 - \beta)^2},$$

где  $E$  — освещенность в люксах;  $\tau$  — коэффициент пропускания объектива;  $B$  — яркость светящегося пятна на экране ЭЛТ;  $D_{\text{зр. вх}}/f$  — относительное отверстие объектива;  $\beta_0$  — линейное увеличение в зрачках объектива;  $\beta$  — линейное увеличение.

Для получения определенной оптической плотности элемента изображения на фотопленке при заданной яркости светового пятна время экспонирования будет составлять

$$t_i = \frac{4(\beta_0 - \beta)^2 S_i}{\pi \tau \cos^4 \omega \pi B (D_{\text{зр. вх}}/f)^2 \beta_0^2},$$

где  $v$  — коэффициент виньетирования;  $\omega$  — угол отклонения выходной апертуры объектива в максимально удаленную точку изображения.

Спектральная характеристика излучения люминофора ЭЛТ высокого разрешения, которая используется в устройстве, такова, что большая часть излучения находится вне видимой части спектра (люминофор типа «Л» или «А»). Поэтому расчет времени экспонирования удобно вести, не используя световые единицы.

Ток электронного пучка в области экрана составляет 10 мкА, величина анодного напряжения 15 кВ, коэффициент преобразования энергии электронного пучка в световую (светоотдача)  $\sim 2\%$ . Следовательно, мощность излучения светового пятна на экране ЭЛТ высокого разрешения составляет  $\sim 3 \cdot 10^{-3}$  Вт. С учетом величины входного зрачка объектива, его коэффициента пропускания, а также увеличения оптической системы на фотоматериал падает величина светового потока, равная  $\sim 0,5 \cdot 10^2$  эрг/с. Взяв, например, фотопленку «Микрат-300», имеющую спектральную чувствительность на длине волны 450 нм около  $2 \text{ см}^2/\text{эрг}$  (в световых единицах 2 ед. ГОСТ) [4], находим, что минимальное время экспонирования составляет  $\sim 0,1$ — $0,2$  мкс при диаметре светового пятна 10—20 мкм.

Следует учитывать, что приведенный метод оценки дает лишь грубое приближение к определению оптимальной экспозиции, нуждающееся в значительной корректировке из-за неопределенности таких факторов, как коэффициент пропускания объектива, характеристики ЭЛТ, временные и температурные условия проявления пленки и т. д. Поэтому для получения качественных снимков с экрана ЭЛТ необходим эмпирический метод подбора экспозиции для каждого типа фотопленки.

Форма и наклон характеристических кривых для фотоматериалов приводимых, например, в [4], только в самом первом приближении определяют передачу деталей изображения. Наилучшая разрешающая способность фотоматериалов достигается на участках характеристической кривой с оптической плотностью 0,7—1,0 сверх вуали. Диапазон экспозиций, в пределах которого достигается заданная разрешающая способность, связан с ее величиной и контрастом. Интервал экспозиции тем меньше, чем более мелкие детали изображения формируются фотোগрафическим слоем. Учитывая это, в устройстве «Карат» предусмотрено управление от ЭВМ как величиной яркости светового пятна на экране ЭЛТ, так и временем экспонирования (время подсвета пятна). Время экспонирования может изменяться программно от 0,2 до 2 мкс по логарифмическому закону. Значение яркости светового пятна может также задаваться программно (допустимы 16 уровней, при этом величина светового потока с экрана ЭЛТ изменяется от 0 до 3 мВт). Это дает возможность использовать практически любой тип фотоматериала с чувствительностью не менее 0,1 ед. ГОСТ.

В устройстве предусмотрена возможность управления диаметром пятна, что позволяет рисовать на микрофильме линии различной толщины. Диаметр пятна может изменяться программно от 10 до 160 мкм с шагом 8 мкм. При изменении диаметра пятна экспозиция (яркость или время экспонирования) должна быть соответственно уменьшена или увеличена пропорционально квадрату диаметра светового пятна.

Следует заметить также, что при увеличении экспозиции или при длительном проявлении оптическая плотность темных участков увеличивается, но в то же время в светлых областях микрофильма появляется вуаль. В связи с этим рекомендуется выбирать такой уровень экспозиции и такие режимы проявления, чтобы не выходить за предел оптической плотности почернения в самом плотном участке кадра.

В заключение необходимо отметить, что развитие исследований в области полупроводников открыло в настоящее время широкие возможности для создания новых методов получения фотографического изобра-

жения, принципиально отличающихся от обычных фотографических методов, основанных на применении галоидно-серебряных желатиновых слоев. Среди новых фотографических процессов весьма перспективен электрографический метод получения рельефных изображений на термопластических пленках. Сложная химическая обработка галоидно-серебряных желатиновых слоев заменяется в электрографии простым электростатическим взаимодействием («сухое» проявление).

В связи с использованием устройства «Карат» нами были поставлены эксперименты и получены вполне удовлетворительные результаты относительно возможности записи изображений на 35-миллиметровую пленку, покрытую термопластиком (аппаратура и термопластическая пленка были любезно предоставлены И. М. Почерняевым). Время экспонирования светового пятна, строящего изображение, составило  $\sim 1$  мкс, яркость светового пятна на экране ЭЛТ высокого разрешения  $\sim 0,3-0,5$  мВт. При этом на термопластической пленке получались рельефные изображения как буквенно-цифровой, так и графической информации с разрешающей способностью не хуже 60—80 лин/мм.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В. С. Авдеев, С. Т. Васьков, Г. М. Мамонтов, Ю. В. Обидин, А. К. Поташников, С. Е. Ткач. «Карат» — устройство вывода графической и буквенно-цифровой информации из ЭВМ на микрофильм. — «Автоматрия», 1976, № 1.
2. А. К. Поташников. К расчету освещенности кинопленки в микрофильмирующем устройстве. — В кн.: Средства ввода и отображения графической информации. Новосибирск, Изд. ИАиЭ СО АН СССР, 1974.
3. Фотолиграфия и оптика. Под ред. Я. А. Федотова и Г. Поля. М., «Сов. радио», 1974.
4. Ю. Н. Гороховский, В. П. Баранова. Свойства черно-белых фотографических пленок. М., «Наука», 1970.

*Поступила в редакцию 19 июня 1975 г.*

УДК 681.327.12 : 681.327.67

**Г. М. МАМОНТОВ, А. К. ПОТАШНИКОВ, В. Н. ШАВРОВ**

*(Новосибирск)*

### **ЭКРАННЫЙ ПУЛЬТ НА ЗАПОМИНАЮЩЕЙ ЭЛТ**

В работе [1] приведено описание устройства микрофильмирования, в котором для визуального контроля за выводимой из ЭВМ на микрофильм информацией используется экранный пульт (ЭП) на запоминающей электронно-лучевой трубке (ЗЭЛТ). ЭП работает синхронно с устройством микрофильмирования. Информация, поступающая на микрофильм, одновременно отображается на экране ЗЭЛТ. Стирание изображения происходит либо автоматически (по команде от ЭВМ), либо с помощью оператора. Предусмотрен также режим работы ЭП без микрофильмирования. В этом случае ЭП работает автономно и может быть использован как оперативный быстродействующий визуальный индикатор, позволяющий редактировать или модифицировать программы ЭВМ, осуществлять математическое моделирование различных процессов и т. д.

Использование для этой цели экранных пультов на обычных ЭЛТ требует включения в состав аппаратуры дополнительных устройств (ми-