

26. Иванов В. В. Структура ввода-вывода и организация интерфейса в мини- и микро-ЭВМ.— Препринт № 74-69. Киев: изд. ИК АН УССР, 1974.
27. Куценко А. В., Полосьянц Б. А., Ступин Ю. В. Мини-ЭВМ в экспериментальной физике. М: Атомиздат, 1975.
28. Палагин А. В., Иванов В. А., Кургаев А. Ф., Денисенко В. П. Мини-ЭВМ, принципы построения и проектирования. Киев: Наукова думка, 1975.
29. Ляпунов А. А., Шестопал Г. А. Об алгоритмическом описании процессов управления.— В кн.: Математическое просвещение. М.: Физматгиз, 1957, вып. 2.

*Поступила в редакцию 20 марта 1979 г.*

УДК 681.327.521

Ю. В. ОБИДИН, А. К. ПОТАШНИКОВ, Г. Ф. СИТНИКОВ

(Новосибирск)

### «СКАН-2» — УСТРОЙСТВО ВВОДА ПОЛУТОНОВОЙ ИНФОРМАЦИИ В ЭВМ

В работах [1, 2] описана экспериментальная установка «Зенит», предназначенная для ввода в ЭВМ фотографической информации. В настоящее время создана новая, более совершенная система «Зенит-2» [3]. Составной частью системы является ЭСУ — электронное сканирующее устройство «Скан-2», описанию которого посвящена данная работа.

В своем составе «Скан-2» имеет фотоэлектрический узел, край управления сканированием, полутоновый визуализатор на ЭЛТ 23ЛК2Б и полутоновый дисплей телевизионного типа (рис. 1). Монитор и дисплей являются сервисными устройствами, облегчающими работу оператора. Вся система работает в режиме «on line» с ЭВМ ЕС-1010.

**Фотоэлектрический узел**, структурная схема которого приведена на рис. 2, содержит генератор бегущего светового пятна (ЭЛТ с фокусирующе-отклоняющим комплексом (ФОК), блок координатного отклонения и фокусировки (БКОиФ) и высоковольтный источник (ВВИ)), оптическую систему, два фотоприемника с логарифмическими преобразователями и блок калибровки. Конструктивно фотоэлектрический узел размещен на массивном основании координатного стола.

В описываемом варианте ЭСУ ГБСП выполнен на ЭЛТ 13ЛК16Л с электромагнитной системой отклонения и фокусировки. Спектр излучения ЭЛТ смещен в сине-фиолетовую область, что вызывает некоторые затруднения при выборе объектива.

Управление положением и диаметром светового пятна на экране ЭЛТ осуществляется с помощью блока координатного отклонения и фокусировки, в состав которого входят: усилители мощности, выполненные по схеме с общей нагрузкой; функциональный преобразователь; стабилизатор тока фокусировки; усилитель подсветки и цепи формирования токов статической коррекции (центровки луча, выравнивания яркости и компенсации астигматизма фокусировки).

С помощью функционального преобразователя формируются поправки к основным отклоняющим и фокусирующему токам, необходимые для коррекции координатных ошибок и исправления искажений формы светового пятна, возникающих при отклонении электронного луча ЭЛТ от центрального положения. Аппроксимируются корректирующие токи полиномами вида

$$\Delta I_x = a_1 x^3 + a_2 y^2 x,$$

$$\Delta I_y = b_1 y^3 + b_2 x^2 y,$$

$$\Delta I_\phi = c_1 x^2 + c_2 y^2.$$

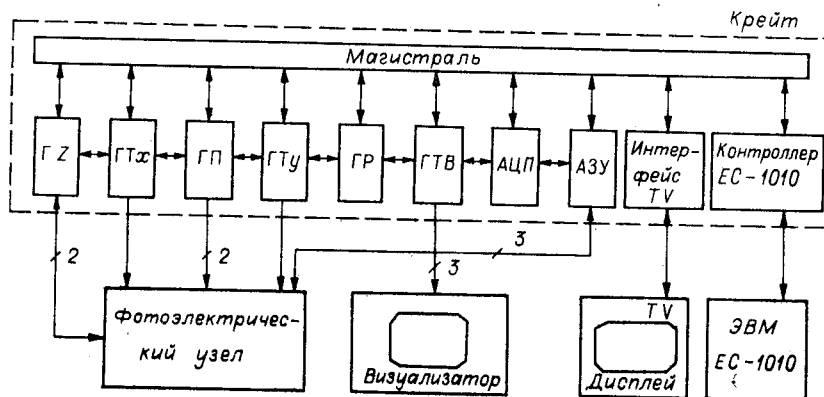


Рис. 1.

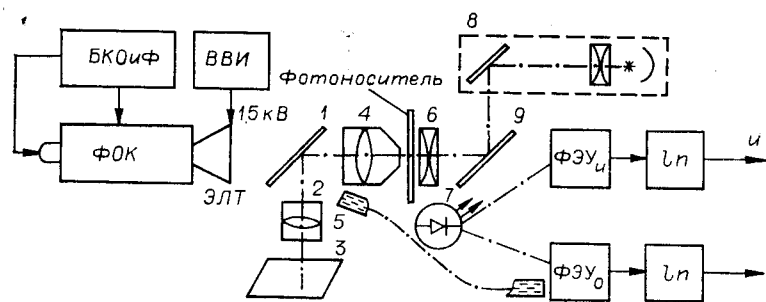


Рис. 2.

Ток динамической фокусировки  $\Delta I_{\phi}$  суммируется с основным фокусирующим током в фокусирующей катушке (ФК), которая заключена в экран из алюминия. В качестве магнитопровода использованы кольца из отожженного пермаллоя. Такая конструкция ФК позволила отказаться от отдельной катушки динамической фокусировки, что не отразилось на быстродействии сканирующего устройства.

В целом система фокусировки и коррекций позволяет формировать и поддерживать на рабочем поле  $30 \times 30 \text{ мм}^2$  экрана ЭЛТ диаметр светового пятна в пределах 30 мкм.

Оптическая система ЭСУ «Скан-2» состоит из двух частей: основной и дополнительной. Основная часть оптической системы содержит: объектив ОРМ-31 (позиция 4), набор гибких световодов 5, предназначенных для сбора и передачи опорного светового потока  $F_0$  на фотокатод ФЭУ<sub>о</sub>; конденсор 6 и дополнительный источник световых импульсов 7 (светодиод), оптически связанный с фотоприемниками с помощью световодов.

Дополнительная оптика предназначена для передачи увеличенного фрагмента изображения, находящегося в поле зрения сканирующего устройства, на матовый экран. Используется она лишь для визуального просмотра изображения оператором (наводки на реперные точки). Составляет оптический визуализатор из зеркала 1, которое вводится в оптический канал с помощью поворотной турели, дополнительного объектива 2, матового экрана 3, осветителя 8 и зеркала 9. В режиме наводки на реперы ФЭУ<sub>н</sub> с помощью электродвигателя постоянного тока выводится из канала, а зеркало 9 устанавливается в рабочее положение и фиксируется. При этом автоматически включается осветитель, и на матовом

экране появляется изображение участка снимка. Перемещая каретку вручную или по командам ЭВМ, можно просмотреть весь снимок.

В режиме сканирования снимка зеркала *1* и *9* убираются из канальности измерения оптической плотности элементов фотографического изображения.

**Измерение оптической плотности** в ЭСУ «Скан-2» проводится методом прямого отсчета с помощью двухлучевого устройства фотометрирования, в состав которого, кроме фотоэлектрического узла, входят два суммирующих усилителя, аналоговое запоминающее устройство (АЗУ) и аналого-цифровой преобразователь (АЦП). Конструктивно АЗУ и АЦП оформлены в виде модулей КАМАК и располагаются в крейте управления сканированием.

Циклу измерения оптической плотности предшествует цикл калибровки. Во время калибровки формируется сигнал, пропорциональный отношению текущих значений коэффициентов усиления фотоумножителей. Этот сигнал запоминается АЗУ и затем используется для коррекции результатов измерения оптической плотности.

При измерении на экране ЭЛТ в точке, положением которой можно управлять двоичными кодами, создается световой импульс длительностью  $\sim 3$  мкс. Изображение светового пятна объективом, установленным на воздушном подшипнике, переносится в плоскость эмульсионного слоя с уменьшением  $1:10$ . Энергия короткого светового импульса, которую обеспечивает ЭЛТ при неподвижном электронном луче, достаточна для получения отсчета оптической плотности изображения, лежащей в диапазоне  $0 - 1,9D$ . Весь диапазон разбит на 256 уровней. Преобразование сигнала, пропорционального оптической плотности, в двоичный код осуществляется с помощью АЦП.

Для снижения случайной составляющей погрешности измерения оптической плотности, вызванной шумами, в АЦП предусмотрена возможность цифрового интегрирования. По команде ЭВМ автоматически проводится многократное измерение  $D$  в заданной точке и результаты отсчетов накапливаются в выходном регистре АЦП. После завершения цикла измерений  $\sum_{i=1}^n D_i$ , представленная 16-разрядным кодом, передается в ЭВМ, где выполняется лишь операция деления на  $n$  ( $n$  может изменяться от 1 до 256). Такая организация измерений позволяет повысить достоверность результатов при минимальных затратах времени на операции обмена данными в системе ЭВМ — «Скан-2».

**Управление световым пятном** высокоразрешающей ЭЛТ осуществляется с помощью набора модулей, выполненных в стандарте КАМАК и работающих с ЭВМ ЕС-1010 через магистраль и контроллер крейта.

Управление положением пятна осуществляется с помощью генераторов точек ГТ  $x$  и ГТ  $y$ , предназначенных для преобразования цифрового кода координат в аналоговые сигналы  $u_x$  и  $u_y$ . Напряжения, пропорциональные заданным кодам, с выходов ЦАП через разъемы на передних панелях ГТ поступают на входы блока координатного отклонения, вызывая перемещение электронного луча в заданную позицию на экране ЭЛТ. Кроме поточечного, возможен пошаговый режим работы устройства. Сканирование при этом осуществляется по командам INCREMENT и DECREMENT, которые поступают либо из ЭВМ, либо

из «Генератора растра» (ГР) через разъемы на передних панелях модулей.

Для осуществления пошагового перемещения луча в генераторах точек имеются 12-разрядные регистры шага. В каждый регистр из магистральной по команде ЭВМ заносится в двоичном коде величина единичного перемещения (величина шага). По команде INCREMENT в ГТ выполняется сложение кода текущей координаты с кодом шага. Таким образом, формируется новый адрес точки. По команде DECREMENT производится уменьшение кода координаты на величину шага. Состояние выходного регистра ГТ может быть прочитано в ЭВМ по команде  $F(0)$ .

Для исправления координатных ошибок в устройстве применена двухступенчатая система коррекций [4], позволяющая позиционировать световое пятно с погрешностью около 1 дискрета. Аксиально симметричные искажения устраняются аналоговым функциональным преобразователем, а несимметричные — с помощью модуля «Генератор поправок» (ГП).

После завершения переходного процесса в отклоняющих катушках, подключенных к выходам усилителей мощности, позиция электронного луча подсвечивается. Формирование сигнала подсветки  $Z$  осуществляется в модуле «Генератор  $Z$ » (Г  $Z$ ). Управляющими для него являются команды INCREMENT, DECREMENT, START Г  $Z$  и сигнал FLAG, поступающий из блока координатного отклонения и сигнализирующий об окончании переходного процесса при позиционировании электронного луча. Команду START Г  $Z$  может выдавать как модуль АЦП, так и ЭВМ. В устройстве «Скан-2» имеется возможность перемещения луча по экрану ЭЛТ командами INCREMENT и DECREMENT без измерения оптической плотности. Для этой цели в модуль Г  $Z$  введен программно управляемый триггер, установка которого в «1» запрещает формирование сигнала  $Z$ .

**Режимы работы.** «Скан-2» может использоваться либо для просмотра фрагментов изображения на экране полутонового монитора, либо для измерения оптической плотности в заданной точке (зоне) снимка.

В режиме просмотра имеется возможность наблюдать на экране монитора любой выбранный участок фрагмента (либо весь фрагмент) изображения, находящегося в поле зрения сканирующего устройства. Высокоразрешающая ЭЛТ и ЭЛТ монитора работают при этом синхронно. На их экранах создаются световые растры  $250 \times 250$  точек, а луч ЭЛТ монитора модулируется сигналом, пропорциональным оптической плотности изображения. Масштабирование осуществляется сменой шага в ГТ  $x$  и ГТ  $y$ . Сигналы, необходимые для формирования просмотрового растра, генерируют Г  $Z$  и ГР.

При измерении оптической плотности элементов изображения имеются широкие возможности в организации процесса сканирования. Например, можно измерять оптическую плотность в различных точках снимка, абсолютные координаты которых задаются из ЭВМ. В этом случае поочередно в выходные регистры ГТ  $x$  и ГТ  $y$  заносятся двоичные коды адреса, электронный луч выводится в заданную позицию и на экране высокоразрешающей ЭЛТ возникает короткая световая вспышка. При этом формируется сигнал, пропорциональный оптической плотности, который преобразуется в 8-разрядный код с помощью АЦП. Если не используется метод накопления, то по запросу АЦП этот код вводится в оперативную память ЭВМ. Продолжая процесс передачи координат, можно ввести в оперативную память ЭВМ необходимую информацию со снимка.

С другой стороны, для ускорения процесса ввода можно использовать команды INCREMENT и DECREMENT, которые не требуют пере-

Время	9 <sup>00</sup>	10 <sup>00</sup>	16 <sup>00</sup>	20 <sup>00</sup>
Номер	$N_D$	$N_D$	$N_D$	$N_D$
1	2	2	2	2
2	2	4	2	3
3	3	5	5	7
4	5	8	12	16
5	7	14	23	17
6	14	23	34	27
7	18	36	62	41
8	31	51	74	68
9	47	74	83	92
10	64	90	100	94
11	92	119	126	121
12	103	130	129	129
13	121	143	140	144
14	138	147	146	153
15	146	156	156	148
16	152	158	158	157
17	157	159	159	157
18	159	160	158	160
19	158	160	159	161
20	160	158	161	159

дачи информации по шинам данных и поэтому исполняются значительно быстрее. Каждая из этих команд независимо от того, к какому из генераторов точек она адресована, может вызывать запуск ГЗ и, следовательно, АЦП. Формируя последовательности команд INCREMENT и DECREMENT, можно реализовать любой алгоритм сканирования снимка.

При решении некоторых задач по обработке изображений может быть использован регулярный сканирующий растр телевизионного типа, например, для поиска в заданной зоне элементов, оптическая плотность которых лежит в определенном диапазоне.

Управление размерами и положением раstra (зоны) осуществляется следующим образом. Из ЭВМ в ГР заносятся двоичные коды размеров зоны в шагах  $N_x$ ,  $N_y$ , а в генераторы точек — коды шагов  $S_x$  и  $S_y$  и начальных координат  $x_0$ ,  $y_0$ . С этого

момента начинается процесс измерения оптической плотности в зоне с заданным шагом. После того как формирование раstra будет закончено, ГР выставляет запрос, который информирует ЭВМ об окончании цикла измерений в заданной зоне.

Цифровое интегрирование результатов отсчетов оптической плотности может быть использовано в любом частном режиме измерения.

**Методика и результаты калибровки.** Для аттестации устройства «Скан-2» были проведены работы по измерению основных параметров и проверке их временной стабильности. Измерялись такие параметры, как линейность системы координат, разрешающая способность, линейность канала фотометрирования, равномерность отсчетов оптической плотности по полю сканирования. Частично методика и результаты калибровки приведены в работе [4], поэтому в данной статье они не нашли отражения. Отметим, что все измерения проводились автоматически и результаты подвергались статистической обработке на ЭВМ с целью повышения достоверности.

Как известно, диаметр светового пятна в плоскости фотоносителя определяет разрешающую способность сканирующего устройства. В данной работе диаметр пятна измерялся методом сканирования контрастного черно-белого перехода, имеющего размытость края  $\sim 0,2$  мкм (использовался высококачественный фотошаблон). Результаты измерения оптической плотности при сканировании перехода выводились на цифровую печать. Сканирование осуществлялось многократно в течение 11 ч непрерывной работы системы.

Результаты приведены в таблице и на рис. 3 ( $N_D$  — код оптической плотности,  $n$  — номер отсчета). Как видно из рисунка, примерно 90% энергии светового пятна лежит внутри круга диаметром 6—7 мкм (шаг сканирования 0,75 мкм). Такую величину диаметра светового пятна в плоскости снимка можно объяснить наличием сферических аберраций. Для объектива ОРМ-31 этот вид искажений исправлен для длины волны 434 нм, а спектр излучения ЭЛТ 13ЛК16Л лежит в достаточно широкой области.

Экспериментальные данные, приведенные в таблице, показывают, что диаметр светового пятна в течение 10 ч непрерывной работы системы практически не изменяется и канал фотометрирования стабилен.

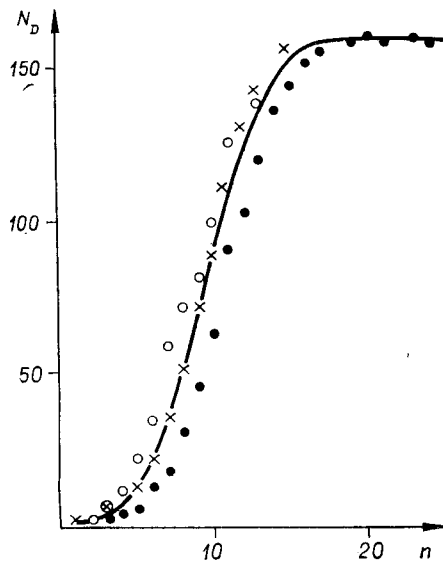


Рис. 3.

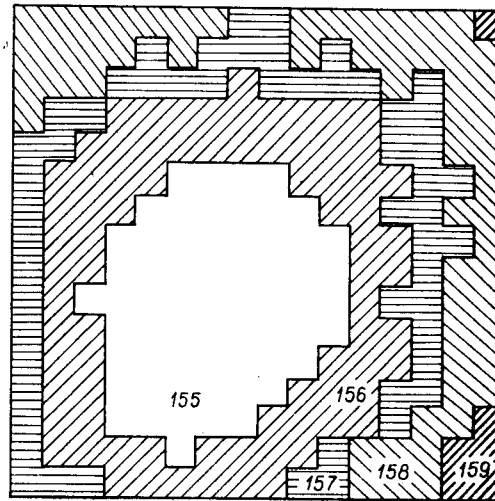


Рис. 4.

Следует отметить, что на качество фокусировки влияют стабильность как тока фокусировки, так и воздушной подушки между оправой объектива и фотоносителем.

Неравномерность отсчетов оптической плотности по полю сканирования измерялась следующим образом. В поле зрения сканирующего устройства помещались различные пластинки из набора цветных оптических стекол. Все поле  $3 \times 3$  мм<sup>2</sup> разбивалось на  $16 \times 16$  зон. В каждой зоне проводились измерения оптической плотности и данные вводились в ЭВМ. Затем рассчитывались для каждой зоны среднее значение оптической плотности и дисперсия. Результаты обработки выводились на цифропечать.

На рис. 4 приведены результаты, полученные при сканировании пластинки НС-9. Как видно из рисунка, неравномерность поля лежит в пределах четырех квантов. Дисперсия отсчетов не превышает 8.

Неоднократная проверка результатов в экспериментах с различными пластинками показала, что распределение ошибок по полю стабильно. Следовательно, при необходимости неравномерность отсчетов может быть уменьшена методами цифровой коррекции.

В заключение приведем основные технические характеристики устройства: число адресуемых точек  $4096 \times 4096$ , размер рабочего поля  $3 \times 3$  мм<sup>2</sup>, погрешность позиционирования растр-элемента 0,03%, разрешающая способность в плоскости фотоносителя  $\sim 150$  лин/мм, диапазон измеряемых оптических плотностей 0—1,9  $D$ , нелинейность канала фотометрирования  $\sim 1,5\%$ , а уровней квантования оптической плотности 256, неравномерность отсчетов оптической плотности по полю не более 4 дискрет, быстродействие 10 мкс на точку.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бурый Л. В. Прецизионный фотометрический автомат.— *Автометрия*, 1974, № 4.
2. Мамонтов Г. М., Поташников А. К., Ситников Г. Ф. Сканирующее устройство универсального фотограмметрического автомата.— *Автометрия*, 1977, № 3.
3. Нестерихин Ю. Е. Автоматизированный комплекс обработки изображений.— *Автометрия*, 1980, № 3.

А. И. ЕФРЕМОВ, А. Н. КАСПЕРОВИЧ, Н. В. ЛИТВИНОВ,  
Ю. В. ШАЛАГИНОВ  
(Новосибирск)

## ШИРОКОПОЛОСНЫЙ АНАЛОГО-ЦИФРОВОЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

До настоящего времени большинство АЦП для преобразования широкополосных сигналов (в том числе телевизионных) как у нас, так и за рубежом создавались, как правило, на основе двухступенчатой схемы параллельно-последовательного синхронного АЦП с устройством выборки и хранения (УВХ) на входе. Авторам представляется перспективным построение широкополосного АЦП по принципу амплитудной свертки сигналов.

Принцип действия подобного АЦП рассмотрен в [1], где описание его работы и некоторые теоретические вопросы функционирования таких приборов даны применительно к сверхбыстродействующему АЦП, работающему без УВХ. Ниже описывается один из возможных вариантов широкополосного АЦП, а также основные его узлы — устройство выборки и хранения и устройство амплитудной свертки.

Основное внимание при создании этого АЦП было обращено на то, чтобы полоса кодируемого сигнала и частота дискретизации соответствовали теореме отсчетов. (Для современного широкополосного АЦП полоса входного сигнала должна быть порядка 5—7 МГц, а частота дискретизации 15—20 МГц.)

На рис. 1 приведена структурная схема разработанного АЦП со следующими обозначениями: УВХ — устройство выборки и хранения; УАС I и УАС II — устройства амплитудной свертки; НК I, НК II — младшие наборы компараторов; СНК — старший набор компараторов; КМ — кодер младших разрядов; КС — кодер старших разрядов; регистры данных РД I и РД II; ПГД — преобразователь кода Грея в двоичный код; ПУ — преобразователь уровней; УУ — устройство управления.

Сигнал с выхода УВХ поступает на два устройства амплитудной свертки (УАС). Выход каждого УАС подключен ко входу соответствующего младшего набора компараторов. Другие выходы одного из УАС подсоединены к входам старшего набора компараторов, определяющего номер участка свертки, в котором находится входной сигнал. На амплитудных характеристиках УАС (рис. 2, а) показаны рабочие участки (выделены жирной линией), соответствующие двум зонам,

в которых размещены уровни квантования наборов НК I и НК II. Эти две характеристики в совокупности образуют амплитудную характеристику, показанную на рис. 2, б. Благодаря такой результирующей характеристике с помощью 32 компарато-

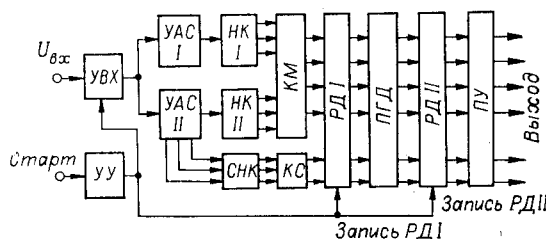


Рис. 1.