

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ЛАБОРАТОРИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ И АВТОМАТИЗАЦИИ

10 - 4400

В.Н.Шкунденков

СКАНИРУЮЩИЙ АВТОМАТ  
НА ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ТРУБКЕ  
ДЛЯ ОБМЕРА ФОТОСНИМКОВ С ИСКРОВЫХ КАМЕР

Специальность 260 - приборы экспериментальной физики

Автореферат диссертации на соискание ученой  
степени кандидата технических наук

Дубна 1969

Работа выполнена в Лаборатории вычислительной техники и автоматизации Объединенного института ядерных исследований.

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук, профессор

М.С. Козодаев

кандидат физико-математических наук

А.Ф. Писарев

Ведущее научно-исследовательское учреждение:

Радиотехнический институт АН СССР (г. Москва)

Автореферат разослан

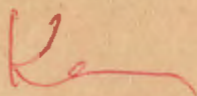
29 апр. 1969 г.

Защита диссертации состоится

июня 1969 г.

на заседании Ученого совета Лаборатории вычислительной техники и автоматизации в конференц-зале ЛТФ ОИЯИ, г. Дубна, Московской области.

Ученый секретарь Совета



Ю.В. Катышев

10 - 4400

В.Н.Шкунденков

СКАНИРУЮЩИЙ АВТОМАТ  
НА ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ТРУБКЕ  
ДЛЯ ОБМЕРА ФОТОСНИМКОВ С ИСКРОВЫХ КАМЕР

Специальность 260 - приборы экспериментальной физики

Автореферат диссертации на соискание ученой  
степени кандидата технических наук

В экспериментальной ядерной физике широкое распространение находит методика, основанная на использовании искровых камер. Одним из наиболее распространенных способов регистрации событий в искровых камерах является фотографирование. Вследствие большого количества снимков, поступающих с искровых камер, остро ставится вопрос о создании быстродействующих автоматических устройств по их обработке.

Данная диссертация посвящена созданию первого в социалистических странах сканирующего автомата на электронно-лучевой трубке, работающего с электронной вычислительной машиной (ЭВМ). Автомат предназначен для обмера и обработки снимков с искровых камер.

В основу диссертации положены работы /14-20,22,25,35/

## I .

В главе 1 диссертации содержится обзор известных зарубежных автоматических сканирующих устройств для обмера снимков с искровых камер.

В 1962 году вышло сообщение о создании в США автомата на электронно-лучевой трубке (ЭЛТ) для обмера снимков с искровых камер /1,2/. Бегающее световое пятно ЭЛТ просвечивает снимок, моменты встречи пятна с почернениями на снимке кодируются и передаются на обработку в ЭВМ. Обнаружив след частицы на снимке, ЭВМ переходит к управлению сканированием со слежением по следу. Автомат применялся для обработки простейших событий в виде отрезков прямых линий.

Другим примером автомата с управляемым сканированием явилось французское устройство "Ариадна" /3/. Управление осуществляется по меткам, нанесенным на самих снимках.

Однако наибольшего успеха в данном направлении добились в ЦЕРНе (Женева), где при создании автомата "Люсиоль" /5-8/ использовали сплошной съем информации со снимка с переложением всей тяжести обработки информации на ЭВМ. Идея сплошного сканирования в этом автомате заимствована от оптико-механического устройства НРД /4/, на котором, в частности, впервые и были обработаны в автоматическом режиме снимки с искровых камер. Однако автомат "Люсиоль", использующий ЭЛТ, значительно проще НРД, и его успех в значительной степени предопределил направление дальнейшего развития данной методики.

В 1966-67 годах был создан еще ряд автоматов для обмеров снимков с искровых камер /9-12/. Во всех этих автоматах применяют ЭЛТ и, как правило, стремятся максимально использовать возможности ЭВМ.

## II

В главе II приведено описание созданного в ОИЯИ автомата, рассчитанного на обработку снимков с 35-миллиметровой перфорированной фотопленки.

Блок-схема автомата приведена на рис. 1. Автомат состоит из сканирующей телевизионной и логической частей. Он работает на линии с ЭВМ БЭСМ-4, модернизированной специальными ОИЯИ /13/.

Сканирование снимков осуществляется с помощью ЭЛТ высокого разрешения. На экране ЭЛТ формируется световой растр телевизионного типа (рис. 2). Число строк в растре может быть сделано равным 63,127,255 или 511; переключения осуществляются по командам от ЭВМ. Свет от ЭЛТ проецируется

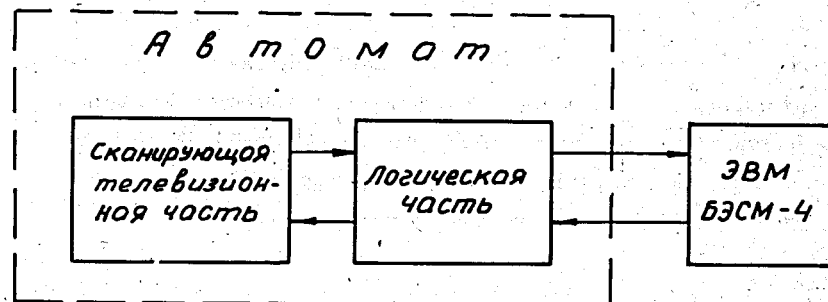


Рис. 1. Блок-схема автомата.

объективом на фотоснимок и просвечивает его. Далее стоит фотоэлектронный умножитель (ФЭУ), регистрирующий моменты встречи светового пятна со следами на снимке. Размер светового пятна - 30 мкм, площадь обрабатываемого снимка -  $18 \times 24 \text{ мм}^2$ . Отсчет координат в автомате осуществляется с помощью штриховой решетки (шаг равен 60 мкм) и диагональной линии, расположенных в параллельных оптических каналах, которые образованы путем отделения части света от ЭЛТ полупрозрачными зеркалами. При этом координата X вдоль строчной развертки отсчитывается в виде:

$$X = n \cdot \delta X, \quad (2.1)$$

где  $n$  - число счетных импульсов, сформированных с помощью штриховой решетки и интерполяционного генератора, которые поступили на счетчик от начала строки;  $\delta X = 30 \text{ мкм}$  - цена отсчета, определяемая счетными импульсами. Координата Y вдоль кадровой развертки определяется следующим образом:

$$Y = m \cdot \delta X \cdot \text{tg } \phi, \quad (2.2)$$

где  $m$  - число счетных импульсов, поступивших на счетчик до встречи пятна с диагональной линией;  $\phi$  - угол наклона диагональной линии, постоянен.

В ЭВМ передаются коды  $n$  и  $m$  от встреч светового пятна со следами частиц на снимке и диагональной линии. Для исключения влияния разброса ширины искр на точность восстановления траектории измеряются координаты начала и конца сканирования каждого следа.

Отсчет координат с помощью штриховой решетки и диагональной линии впервые применен в данном автомате (новым является применение диагональной линии), что позволило практически исключить влияние на точность отсчета координат нели-

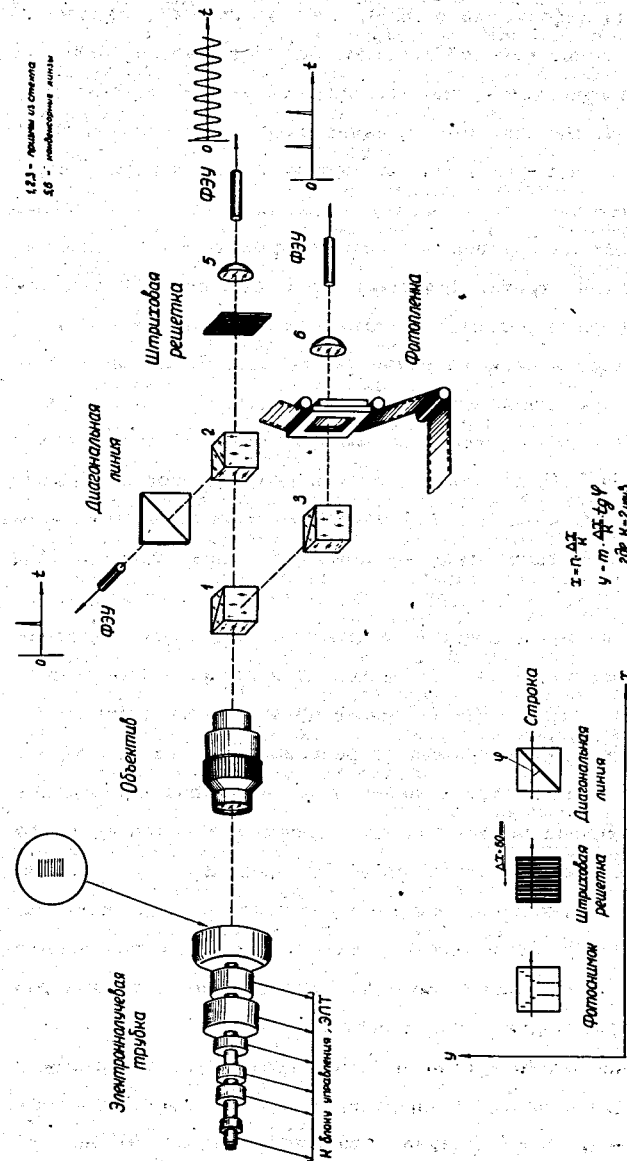


Рис. 2. Оптическая схема сканирующего автомата на электронно-лучевой трубке.

нейности и нестабильности движения светового пятна как вдоль строчной, так и вдоль кадровой разверток.

Передача информации в ЭВМ, а также прием команд от нее и управление работой автомата осуществляются с помощью его логической части, выполненной на 500 ячейках машины БЭСМ-4. Начиная сканирование очередного снимка, ЭВМ устанавливает световое пятно на первую строку раstra и дает разрешение прервать ее с началом строки. Войдя в прерывания, ЭВМ переходит на групповой прием информации во время всего прямого хода строки. При этом она с частотой 120 кгц опрашивает буферные регистры автомата и при наличии в них кодов считывает в свою оперативную память. После этого буферные регистры освобождаются для занесения в них следующих кодов. При длине строки 30 мм и времени прямого хода строки 10 мсек это позволило достичь разрешающей способности автомата 30 мкм. Никакой другой задачей во время приема информации ЭВМ заниматься не может. В конце строки в ЭВМ передается маркер конца группового приема, приняв который, она уходит из прерывания и занимается контролем и частичной обработкой принятой информации. Для съема информации с последующих строк ЭВМ во время обратного хода строки должна выдать автомату команду разрешения на сканирование. Прекращение выдачи этой команды означает конец считывания информации. Время обратного хода строки, в течение которого ЭВМ ведет обработку, также равно 10 мсек. Возможность вести обработку сразу после приема информации от очередной строки так же, как и возможность управлять числом строк в растре и возвратом светового пятна на первую строку, служат для повышения производительности автомата.

Конец сканирования снимка ЭВМ определяет по наличию обратного хода кадровой развертки, о чем она узнает из анализа соответствующего разряда статусного слова (см. ниже).

Закончив прием информации от снимка, ЭВМ обрабатывает ее, записывает результат на магнитную ленту, дает коман-

ду протянуть фотопленку на один кадр и приступает к управлению обмером нового снимка.

В цикле каждой строки в ЭВМ считывается статусное слово. Оно отображает состояние двоичных элементов логики автомата в данный момент и передается в ЭВМ по тем же каналам, что и коды X и Y, но со своим отличительным признаком. Анализируя статусное слово, ЭВМ может узнать о наличии обратного хода кадровой развертки, о причине прерывания (автомат в начале строки, по окончании протяжки пленки, оператор при пуске автомата), о наличии процесса протяжки пленки и др.

Возможность считывания и анализа статусного слова используется ЭВМ не только для управления работой автоматом, но также и для контроля выполнения команд, что значительно повысило его надежность.

Автомат прошел серию испытаний, показал приемлемые для обработки снимков с искровых камер результаты (в частности, точность отсчета координат равна  $\pm 10$  мкм). Затем начался этап опытной эксплуатации. В качестве первого эксперимента была выбрана задача по изучению р-р рассеяния при энергиях 680 Мэв. Задачей автомата при этом является измерение и поиск снимков с полезными событиями, для которых воспроизводится траектория пролета частицы. Дальнейшая обработка ведется по известным программам. В феврале и марте 1969 года было обработано 50 тыс. снимков. Производительность автомата для данного эксперимента соответствует обработке 700-800 снимков в час.

### III

В главе III диссертации приведен анализ основных характеристик автомата.

1. Расчет требований к точности отсчета координат и параметрам отсчетной системы и телевизионного раstra.

Анализ проводится на примере рассмотрения задачи, связанной с измерением углов рассеяния в искровой камере без магнитного поля. Показано, что в этом случае ошибка измерения угла рассеяния  $\Theta$  может быть представлена формулой:

$$\sigma[\Theta] = \frac{1}{\sqrt{2} \Delta Y} \sqrt{\left(\frac{1}{1 + \operatorname{tg} \alpha}\right)^2 (\sigma_{\alpha}^2 [X] + \frac{1}{2} \sigma_{\text{и}}^2 [X]) + \left(\frac{1}{1 + \operatorname{tg}^2 \beta}\right)^2 (\sigma_{\beta}^2 [X] + \frac{1}{2} \sigma_{\text{и}}^2 [X]) + \left[\left(\frac{\operatorname{tg} \alpha}{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha}\right)^2 + \left(\frac{\operatorname{tg} \beta}{1 + \operatorname{tg}^2 \beta}\right)^2\right] \sigma_{\text{и}}^2 [Y]}, \quad (3.1)$$

где  $\Delta Y$  - расстояние между электродами камеры;  $\sigma_{\alpha} [X]$  и  $\sigma_{\beta} [X]$  - среднеквадратические ошибки, характеризующие статистический разброс положений искр и зависящие от угла траектории;  $\sigma_{\text{и}} [X]$  и  $\sigma_{\text{и}} [Y]$  - среднеквадратические ошибки измерения вдоль строчной и кадровой разверток.

Показано также, что отсчетная система автомата может быть описана с помощью следующих математических выражений.

Ошибка измерений вдоль строчной развертки:

$$\sigma_{\text{и}}^2 [X] = \sigma_{\text{ц}}^2 [X] + \sigma_{\text{Г}}^2 [X] + \sigma_{\text{ш}}^2 [X] + n \cdot \sigma_{\text{р}}^2 [X], \quad (3.2)$$

где  $\sigma_{\text{ц}}$  - ошибка за счет цены отсчета;  $\sigma_{\text{Г}}$  - ошибка за счет интерполяционного генератора;  $\sigma_{\text{ш}}$  - ошибка за счет шумов;  $\sigma_{\text{р}}$  - ошибка за счет неточности штриховой решетки;  $n$  - число реперных линий штриховой решетки.

Ошибка измерений вдоль кадровой развертки:

$$\sigma_{\text{и}}^2 [Y] = \sigma_{\text{и}}^2 [X] \operatorname{tg}^2 \phi + \left[ (1 + \gamma_1) (1 + \gamma_2) (1 + \gamma_3) \frac{\Delta h}{2\sqrt{3}} \right]^2, \quad (3.3)$$

где  $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$  - коэффициенты, учитывающие влияние нелинейности кадровой развертки, дисторсию раstra и влияние наводки сети на форму раstra;  $\Delta h$  - среднее расстояние между строками.

Определив экспериментальным путем величины ряда параметров, входящих в выражения (3.1), (3.2) и (3.3), анализируем совместно эти выражения методом вариации в поисках оптимального выбора неизвестных параметров. Ниже приведены результаты вариантов расчета, положенные в основу созданного автомата.

Требуемая точность отсчета координат вдоль строки  $\sigma_{\text{и}} [X] = 8-10$  мкм, вдоль кадровой развертки  $\sigma_{\text{и}} [Y] = 15-20$  мкм. Шаг штриховой решетки должен быть сделан около 60 мкм, величина светового пятна - 30 мкм, требования к точности нанесения реперных линий штриховой решетки  $\sigma_{\text{р}} [X] \leq 0,2$  мкм, среднее расстояние между строками  $\Delta h = 40-50$  мкм. При выполнении этих условий доля ошибки за счет измерений составляет не более 1/3 от общей ошибки измерения угла рассеяния, что можно считать приемлемым. Точность измерения угла рассеяния, согласно расчету, может достигать величины  $0,1^\circ$ .

2. Выбор типа ЭЛТ и скорости сканирования. Требования к фокусирующе-отклоняющему комплексу и его описание.

Проведено экспериментальное изучение характеристик советских ЭЛТ высокого разрешения. Показано, что у нас есть подходящие ЭЛТ, и что из них наиболее приемлемой является трубка с экраном типа Ж. Анализируя условия работы ЭЛТ в автомате и возможности ЭВМ БЭСМ-4 по скорости обработки считанной информации, мы показали, что оптимальным следует считать скорость сканирования, соответствующую длительности прямого хода строки 10 мсек. и обратного хода - также 10 мсек при длине строки 30 мм.



Одной из достаточно сложных задач при создании автомата явилась разработка специального фокусирующе-отклоняющего комплекса (ФОК), обеспечивающего формирование светового пятна размером 30 мкм на площади  $18 \times 24 \text{ мм}^2$ , определяемой размером фотоснимка. Разработанный ФОК состоит из фокусирующей катушки, отклоняющей системы, стигматора фокусирующей катушки, пары юстирующих катушек и магнита вывода электронного пучка трубки. Основными проблемами при разработке ФОК явилось создание требуемой отклоняющей системы, а также изучение требований к точности изготовления ее отдельных элементов и разработка методики взаимной установки и настройки экрана ЭЛТ, фокусирующей катушки, отклоняющей системы и электронного пучка ЭЛТ.

В результате успешного завершения этих исследовательских работ был создан ФОК, позволивший при использовании ЭЛТ высокого разрешения добиться требуемых результатов. В частности, при сканировании штриховой решетки с реперными линиями шириной 30 мкм достигнута глубина модуляции сигнала на выходе ФЭУ, равная 55-65% на указанной выше площади, что является вполне достаточным для надежной работы самого сложного узла автомата - схемы формирования счетных импульсов.

### 3. Выбор схемы и расчет выходного каскада развертки.

Выходной каскад строчной развертки должен вносить минимальные искажения в линейность и скорость перемещения светового пятна по строке. Выходной каскад кадровой развертки должен позволять оперативное переключение скорости кадровой развертки при смене числа строк в растре, должен позволять возвращение в любой момент светового пятна на первую строку раstra.

Для решения этих вопросов была предложена схема выходного каскада (рис. 3) на транзисторах, представляющая усилитель мощности с отрицательной обратной связью по току. Все

связи, включая центровку раstra, осуществлены гальванически, что является его отличительной чертой от известных /30-32/ и позволяет упростить включение в его выходную цепь отклоняющей системы, а также позволяет удовлетворить указанным выше требованиям создания кадровой развертки автомата.

Оценим величины искажений строчной развертки, вносимые выходным каскадом. Составив матрицу проводимости схемы в операционном виде, находим с ее помощью выражение тока в отклоняющей катушке при линейно нарастающем напряжении на входе каскада:

$$i_L(t) = \frac{aK}{R_0(K+1) + R_1 + R_L} [t - r(1 - e^{-\frac{t}{r}})], \quad (3.4)$$

где  $K$  - коэффициент усиления Т1 при разорванной цепи обратной связи;  $r = \frac{L}{R_0(K+1) + R_1 + R_L}$ . Используя это выражение, находим формулу оценки времени  $t_0$  затухания нелинейных искажений из-за индуктивности  $L$ :

$$t_0 = \frac{L}{R_0(K+1) + R_1 + R_L} \ln \frac{1}{\gamma}, \quad (3.5)$$

где  $\gamma$  - коэффициент нелинейности развертки. Анализируя с помощью полученной формулы выходной каскад, осуществляем подбор параметров входящих в него элементов, удовлетворяющий затуханию переходного процесса на начальном этапе строчной развертки ( $\approx 60$  мксек), который исключается из процесса сканирования снимков. Таким образом решен вопрос об устранении влияния индуктивности  $L$  на линейность рабочей части строчной развертки, а следовательно, и на точность отсчета координат.

Анализируя стабильность формирования выходного тока при заданном напряжении на входе каскада, находим, что коэффициент вариации тока  $\nu[i_L(t^0)]$  (относительная характеристика разброса) может быть представлен выражением:

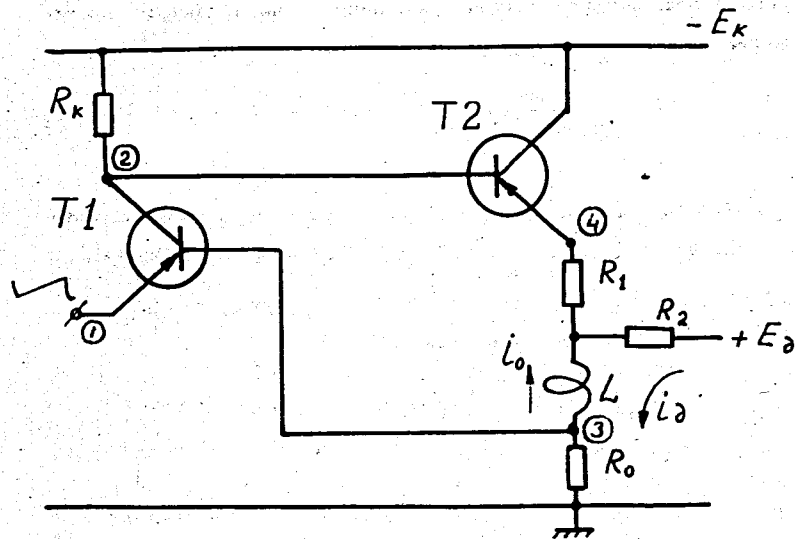


Рис. 3.

$$\nu [i_L(t^0)] = \sqrt{\left[ \frac{R_1}{R_0(K+1)+R_1+R_L} \cdot \frac{1}{K} \right]^2 \sigma^2 [K(t^0)] + \left[ \frac{K+1}{R_0(K+1)+R_1+R_L} \right]^2 \sigma^2 [R_0(t^0)] + \left[ \frac{1}{R_0(K+1)+R_1+R_L} \right]^2 \sigma^2 [R_1(t^0)] + \left[ \frac{1}{R_0(K+1)+R_1+R_L} \right]^2 \sigma^2 [R_L(t^0)]}$$

Определив ряд входящих в данное выражение параметров, не зависящих от разработчика, находим путем анализа оптимальные требования к выбору типа сопротивлений  $R_0$  и  $R_1$ , при которых нестабильность  $\nu$  за счет изменения внешних условий (прежде всего температуры) будет минимальной. Показано, что при выборе в качестве  $R_1$  сопротивлений типа МЛТ, а в качестве  $R_0$  - типа БЛП, достигается стабильность амплитуды в пределах 2-3%. Результат расчета проверен экспериментально. Достигнутая стабильность является достаточной для надежной работы отсчетной системы и получения требуемой точности отсчета координат при сканировании.

В диссертации приведены полные схемы формирования строчной и кадровой разверток, включающие разработанный выходной каскад, являющийся одинаковым для обеих разверток.

#### 4. Некоторые вопросы работы автомата с вычислительной машиной

В диссертации проводится анализ первых данных, полученных при эксплуатации автомата, с целью получить оценки достигнутых результатов и возможностей данной методики. Анализ показывает, что доля затрат времени на обработку одного снимка за счет автомата составляет 1/3 общего времени обработки, остальные 2/3 падают на долю ЭВМ БЭСМ-4. Таким образом, можно считать, что выбор параметров автомата (скорость сканирования и др.) является близким к оптимальному.

В то же время возможности электронно-лучевой трубки позволяют поднять скорость сканирования в 3-4 раза. Если применить также более мощную ЭВМ (например, класса БЭСМ-6), то производительность автомата может быть увеличена на порядок и составит при круглосуточной загрузке обработку ~20 млн снимков в год. При этом стоимость обработки одного снимка будет того же порядка или даже ниже, чем в варианте работы автомата с ЭВМ БЭСМ-4.

В диссертации также рассмотрены варианты работы автомата с двумя ЭВМ - малой управляющей и большой для обработки, позволяющие наилучшим образом использовать их возможности. Приводятся оценки требований к характеристикам этих ЭВМ.

#### IV

В главе IV диссертации рассматриваются вопросы надежности автомата.

Автомат предназначен для массовой обработки снимков в лабораторных условиях. Он должен быть надежным в эксплуатации. В то же время отказы в его работе не влекут за собой катастрофических последствий, поэтому достаточно сделать систему оперативного поиска причины поломки и не увлекаться излишним повышением надежности за счет резервирования и т.д. Характерной особенностью автомата является его работа на линии с ЭВМ, что открывает интересные возможности превращения его в кибернетическую систему, способную самостоятельно преодолевать отдельные сбои в работе; однако здесь также не следует слишком увлекаться, так как всякий контроль с помощью ЭВМ дополнительно загружает ее и снижает производительность.

Основа надежной работы любой системы зависит от надежности ее элементов. Остановимся на этом вопросе. Ниже

приведена теория расчета на надежность электронных схем, предложенная автором /35/.

Показано, что задачи расчета на надежность электронных схем сводятся к решению неравенств вида:

$$X_{гр \min} \leq X_0 \pm (2-3)\sigma[X] \leq X_{гр \max}, \quad (4.1)$$

где  $X_0$  - искомая номинальная величина той или иной характеристики схемы (коэффициент усиления и т.д.);  $X_{гр}$  - граничное допустимое значение величины  $X$ ;  $\sigma[X]$  - среднеквадратическая характеристика разброса. Если  $X$  является функцией  $f$  от других элементов схемы  $Y_1, \dots, Y_n$ , не зависящих друг от друга, то  $\sigma[X]$  находится как:

$$\sigma[X] = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial f}{\partial Y_i} \right)_0^2 \sigma^2[Y_i]}, \quad (4.2)$$

Величины  $\sigma[Y_i]$  могут быть найдены из известного разброса параметров элементов схемы.

Исключительный интерес представляет возможность проведения математического анализа на оптимальное построение электронной схемы. Анализируя подкоренное выражение формулы (4.2) при подстановке численных данных в процессе расчета на надежность, можно выделить узлы схемы, наиболее влияющие на разброс, и определить пути их уменьшения. Таким образом, удается максимально использовать заложенные в схему возможности, нередко в несколько раз улучшая ее характеристики.

Данная методика расчета на надежность электронных схем широко применялась при создании автомата, существенно сократив сроки его разработки (известно, что практическая доводка схем до надежного состояния занимает более 2/3 времени /37/). В диссертации приводится ряд примеров расчета некоторых схем автомата. Одним из таких примеров является расчет,

приведенный при анализе на стабильность (задача, аналогичная расчету на надежность) выходного каскада развертки (см. выше).

Описанная методика расчета на надежность применима к электронным схемам телевизионной части, однако логическая часть автомата выполнена на стандартных ячейках ЭВМ БЭСМ-4, и здесь проблемы надежности необходимо рассматривать в ином плане.

Наиболее сложной проблемой при эксплуатации автомата является контроль достоверности переданной в ЭВМ на обработку информации от сканирования снимков. Сложность решения этой задачи заключается в том, что при отказе в работе цепи хранения и передачи информации в отдельных разрядах кода информации, внешне работа автомата будет происходить нормально, но в ЭВМ периодически будет подаваться неверная информация. Решение данной проблемы в автомате осуществлено благодаря заложенной в него возможности имитировать по программам ЭВМ работу телевизионной части. Имитируя поступление в логическую часть различных известных ЭВМ кодов, а затем принимая их по рабочим каналам связи, ЭВМ путем сравнения выданного и принятого кода может судить о качестве работы канала связи. Практически все возможные комбинации кодов перебираются таким образом за 1,5 минуты. В случае сбоев ЭВМ выводит необходимую информацию на печать, предоставляя человеку решать, что делать. Такая возможность позволяет сравнительно легко отладить качество канала связи, а в процессе эксплуатации осуществлять оперативный контроль за его состоянием. Данная идея впервые применена в описанном автомате и позволила довести надежность его эксплуатации до высокого уровня.

В процессе рабочего сканирования снимков ЭВМ также ведет контроль за рядом основных параметров автомата. Прежде всего сюда следует отнести контроль за работой канала формирования счетных импульсов, который ведется благодаря

анализу полного числа счетных импульсов, сформированных за время каждой строки. Это число в конце строки передается в ЭВМ, и в случае несовпадения его с номинальным информация от данной строки исключается из обработки. Если количество строк со сбоями этого числа оказывается достаточно велико ( $> 10\%$ ), то ЭВМ останавливает работу, печатает причину и вызывает оператора. Причиной неисправности в этом случае может быть расфокусировка светового пятна ЭЛТ или "уход" уровня дискриминации сигнала от штриховой решетки. Оператор с помощью осциллографа и вольтметра подстраивает эти параметры и вновь запускает работу автомата.

ЭВМ ведет контроль по ширине треков, по монотонности нарастания кода  $Y$ , по количеству считываемой информации и др. Как отмечалось выше, ЭВМ также следит за выполнением переданных автомату команд, используя для этих целей запрос и анализ статусного слова. В случае отказа ЭВМ повторяет команду. Если отказы повторяются, то ЭВМ останавливает работу и печатает причину поломки.

Частично контроль за работой автомата возлагается на оператора. С этой целью ему предоставлены вывод изображения от сканирования снимка на экран осциллографа, контрольный осциллограф для вывода основных сигналов телевизионной части, вольтметр для измерения порогов дискриминации сигналов на выходе ФЭУ и др.

Перечисленные меры по обеспечению надежности автомата обусловили его успешную эксплуатацию. Статистика показывает, что автомат полезно использует примерно 75% выделяемого времени. Из 25% потерь примерно 7-10% приходится на ввод программы и тестовый контроль, около 10-15% падают на долю отказов работы ЭВМ БЭСМ-4, и лишь около 5% - на долю автомата (подстройка фокусировки, устранение возникающих неполадок в работе лентопротяжного устройства, регулировка уровня дискриминации сигналов от ФЭУ и др.).

## Основные результаты

1. С целью изучения возможности создания быстродействующего сканирующего автомата на электронно-лучевой трубке для обмера снимков с искровых камер, были выполнены следующие исследовательские работы:

а). Проведены исследования по выбору требуемой ЭЛТ, показавшие реальность применения в автомате ЭЛТ советского производства. Проведены исследования по выбору наиболее подходящей из имеющихся ЭЛТ, а также по выбору оптимального режима сканирования.

б). Проведены исследовательские работы по созданию специального фокусирующе-отклоняющего комплекса, обеспечивающего совместно с ЭЛТ высокого разрешения формирование бегающего светового пятна малых размеров (30 мкм) на площади, превышающей размер фотоснимков  $18 \times 24 \text{ мм}^2$ .

в). Предложен способ отсчета координат по двум осям с помощью штриховой решетки и диагональной линии, позволяющий практически исключить влияние на точность отсчета нелинейности и нестабильности как строчной, так и кадровой разверток.

г). Проведены расчеты, позволившие обосновать требования к точности отсчета координат при сканировании снимков с искровых камер, размеру бегающего светового пятна, числу строк в растре и параметрам предложенной системы отсчета координат.

д). Проведены исследования и расчеты требуемой точности изготовления элементов оптической схемы автомата.

е). Предложена схема выходного каскада развертки, позволяющая сравнительно легко включить в его выходную цепь отклоняющую систему и осуществить управляемое сканирование по командам от ЭВМ. Проведены расчеты и исследования требований к параметрам выходного каскада строчной развертки с целью удовлетворить достижению необходимой точности отсчета координат.

ж). Проведены исследования по организации работы автомата на линии с ЭВМ. Результатом исследований в этой области явилась реализованная в автомате схема логики и связи с ЭВМ. Большое внимание было уделено вопросам надежности работы логики автомата, с использованием для этих целей возможностей ЭВМ.

и). Предложен метод контроля качества работы логической части автомата и канала связи с ЭВМ, заключающийся в возможности имитировать по программам ЭВМ работу телевизионной части автомата. Этот метод позволяет отлаживать качество работы логической части и канала связи на высоком уровне и вести оперативный контроль в процессе эксплуатации.

2. Осуществлено развитие и предложена конкретная методика расчета на надежность и стабильность электронных схем. Методика основана на применении элементов теории вероятностей, значительное внимание в ней уделяется вопросу анализа на достижение максимальных возможностей, заложенных в исследуемой схеме. Предложенная методика широко применялась при создании автомата, что существенно сократило сроки его разработки.

3. На основе проведенных исследований впервые в социалистических странах создан сканирующий автомат на электронно-лучевой трубке для обмера снимков с искровых камер. Автомат рассчитан на работу с 35-миллиметровой перфорированной фотопленкой, размер снимка -  $18 \times 24 \text{ мм}^2$ . Размер бегающего светового пятна - 30 мкм, точность отсчета координат - 10 мкм, разрешающая способность - 30 мкм. Автомат работает на линии с ЭВМ БЭСМ-4, модернизированной группой специалистов ОИЯИ /13/. Производительность его соответствует при круглосуточной загрузке обработке 2-4 млн. снимков в год, что на порядок превышает производительность при ручных и полуавтоматических методах обработки и отвечает в настоящее время потребностям такого института, как ОИЯИ (г. Дубна).

Автомат находится в опытной эксплуатации. В феврале и марте 1969 года на нем обработано 50 тыс. снимков.

#### Л и т е р а т у р а

1. M.Deutsch, A Spark Chamber. Automatic Scanning Sistem, Gros-singer Conference 1962 (November).  
(US Report CU-PNPL-227)
2. M.Deutsch. Experience with the SPASS System. Bologna Conferen-ce, 1964 (CERN Report 65-11).
3. M.Goldwasser, J.C.Michau, J.Mullie. Automatic Analysis of Sparc Chamber Photographs. Purdue Conference, May 1965 (published in "JEEE Transactions in Nuclear Science"  
Volume NS-12 1965).
4. J.V.Franck, P.V.C.Hough and B.W.Powell. Realisation of HPD system at three laboratories.  
Nuclear Instruments and Methods, 20 (1963).
5. H.Anders, D.Maeder and D.Wiskott. A Preliminare Study of a Cathode Ray Tube Device for Scanning Spark Chamber Photo-graphs.  
Nuclear Instruments and Methods 20, 414 (1963).
6. H.Anders, T.Lingjaerde, D.Wiskott. Luciole, a Cathode Ray Tube Fluing Spot Digitizer for Measurement of Spark Chamber Pictures. Proceedings on the International Simposium on Nuclear Electronics, Paris, 22-27 November 1963, pp 349-356.
7. T.E.Andersson, P.M.Blackall, J.Daub, A.E.Head, M.B.Metcalf and V.J.Weights. The Measurement of Spark Chamber Film at CERN Using Luciole. CERN-DD/DP/67/4, February 1967.
8. G.R.Macleod. Nuclear Instruments and Methods, 20, (1963).

9. U.Becker, K.Dahlmann, K.Hohme, J.Weber, J.H.Smith. Automatic Processing of Spark Chamber. Pictures at Desy. International Conference on Programming for Flying Spot Devices, Munich, January 18-20, 1967.
10. J.F.Macewan, P.H.Sharp. CYCLOPS: a Flying Spot Di-gitizer for Spark Chamber Film Analyses.  
там же /9/ .
11. P.Scharff-Hansen, T.R.Willits. A Simple Computer-Controlled Flying Spot Digitizer for Spark Chamber Photographs.  
Там же, /9/ .
12. T.Carides, J.G.Gottingham, A.V.Feltman, A.S.Grossman, L.B.Leipuner, J.G.Marinuzzi and G.E.Schwender.  
Автоматическое устройство с электронно-лучевой трубкой для сканирования снимков. Приборы для научных исследова-ний (русский перевод), 10, 67 (1967).
13. Е.Д. Городничев, Г.М. Кадыков, А.П. Кретов, О.К.Нефедьев, В.Н. Садовников, В.Н. Шигаев. Препринт ОИЯИ, 10-3510, Дубна, 1967.
14. В.Н. Шкунденков. Телевизионный способ измерения коорди-нат треков частиц при автоматической обработке фотопленок с искровых камер. Препринт ОИЯИ, Р-2057, Дубна, 1965.
15. В.Ф. Борисовский, А.С. Буров, Н.Д. Дикусар, В.В. Ермолаев, А.Д. Злобин, И.Н. Кухтина, И.И. Скрыль, А.А. Олейник, В.А. Уткин, А.И. Филиппов, В.Н. Шигаев, В.Н. Шкунденков. Сканирующий автомат на электронно-лучевой трубке. Преп-ринт ОИЯИ, Р10-3631, Дубна, 1967 г.
16. В.Ф. Борисовский, Н.Д. Дикусар, В.В. Ермолаев, А.Д. Злобин, И.Н. Кухтина, И.И. Скрыль, А.И. Филиппов, В.Н. Шигаев, В.Н. Шкунденков. Сканирующий автомат на электронно-луче-вой трубке. ДАН СССР, том 185, №2, 1969.
17. М.И. Попов, В.Н. Шигаев, В.Н. Шкунденков. О разработке сканирующего автомата на электронно-лучевой трубке для обмера фотоснимков с искровых камер. Отчет ОИЯИ Б2-3481, Дубна, 1967.

18. З.Д. Грицкий, А.Д. Педан, В.Н. Шкунденков. Фокусирующе-отклоняющий комплекс электронно-лучевой трубки сканирующего автомата для обмера фотоснимков с искровых камер. Препринт ОИЯИ, 2844, Дубна, 1966.
19. З.Д. Грицкий, Т.М. Дружий, А.Д. Педан, Б.М. Рабин, В.Н. Шкунденков. Блок электронно-лучевой трубки сканирующего автомата для обмера фотоснимков с искровых камер. Препринт ОИЯИ, Р10-4060, Дубна, 1968.
20. А.Д. Злобин, А.А. Сафрошкина, В.Н. Шкунденков. Выходной каскад развертки для электронно-лучевой трубки с магнитным отклонением. Препринт ОИЯИ, 2845, Дубна, 1966.
21. А.Д. Злобин, В.Н. Шигаев, В.Н. Шкунденков, А.А. Шуравин. Управляемый способ сканирования снимков с трековых камер при использовании электронно-лучевой трубки. Отчет ОИЯИ, Б1-10-3411, Дубна, 1967.
22. В.В. Ермолаев, А.Д. Злобин, В.Н. Шигаев, В.Н. Шкунденков. О логике сканирующего автомата. Препринт ОИЯИ 10-3483, Дубна, 1967.
23. В.Я. Алмазов, И.А. Голутвин, В.Д. Инкин, Ю.А. Каржавин, В.Д. Неустроев, В.Д. Степанов. Препринт ОИЯИ, 1352, Дубна, 1963.
24. Ф. Легар, В.И. Никаноров, Г. Петер, А.Ф. Писарев. Препринт ОИЯИ, Р-1499, Дубна, 1964.
25. Т.М. Дужий, М.И. Попов, Б.М. Рабин, В.Н. Шкунденков. ПТЭ №6, 1968.
26. В. Глазер. Основы электронной оптики. ГИТТЛ, М., 1957.
27. Электронно-лучевые трубки и индикаторы. Т. 1, "Сов. радио", М., 1949.
28. K.Schlesinger. Anastigmatic Yokes for Picture Tubes. Electronics, 22,10 (1949)
29. К.С. Глиненко, З.Д. Грицкий, Г.А. Туркинов. Телевизионный микроскоп для исследования светящихся пятен на экранах электронно-лучевых трубок. Обмен опытом в электронной промышленности, №6, 1967.

30. А.З. Модель, В.В. Дрангинис. Радиотехника, 16, №7 (1961).
31. А.З. Модель, Г.Н. Шишков. Вопросы радиоэлектроники, сер. IX, вып. 4 (1961).
32. А.З. Модель, Г.Н. Шишков. Радиотехника, 20, №9 (1965).
33. В.П. Сигорский. Анализ электронных схем. Гостехиздат, УССР, Киев, 1963.
34. В.Ф. Самойлов. Генераторы пилообразного тока в телевизоре. Гос. изд. лит. по вопросам связи и радио., М., 1960.
35. В.Н. Шкунденков. Расчет на надежность электронных схем. Препринт ОИЯИ, 1828, Дубна, 1964.
36. И.П. Степаненко. Основы теории транзисторов и транзисторных схем. Госэнергоиздат. М.-Л., 1963, стр. 105.
37. В.П. Гусев, А.Ф. Фомин, Г.М. Кунавский, Ю.Г. Обичкин, Е.А. Молостов, М.А. Сахаров, А.К. Гребнев. Расчет электрических допусков радиоэлектронной аппаратуры. М., Изд. "Сов. радио", 1963.
38. Е.С. Вентцель. Теория вероятностей. М., Физматгиз, 1958.
39. И.В. Дунин-Барковский и Н.В. Смирнов. Теория вероятностей и математическая статистика в технике (общая часть). М., Гостехиздат, 1955.
40. П.П. Месяцев. Применение теории вероятностей и математической статистики при конструировании и производстве радиоаппаратуры. М., Оборонгиз, 1958.
41. П.П. Месяцев. Надежность производства электронно-вычислительных машин. М., Матгиз, 1963.
42. Р. Анджеяк, Е.М. Андреев, А.П. Бирюков, И.М. Василевский, В.В. Вишняков, Ю.Н. Зыкин, З. Женчикевич, Н.Д. Крахотин, В.И. Никаноров, А.Ф. Писарев, Н.С. Толстой, А.А.Тяпкин, В.М. Шешунов. Препринт ОИЯИ, 13-3588, Дубна, 1967.

Рукопись поступила в издательский отдел  
3 апреля 1969 года.