

559.1
B85

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ СССР

МОСКОВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ИНЖЕНЕРНО-ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Всесоюз. школа по теор. ядер. физ. Сессия
«Современное состояние методики эксперимента»

Б. С. РОЗОВ

АВТОМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ
ПРИБОРЫ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ФОТОГРАФИЙ

(Конспекты лекций)

МОСКВА — 1975

539.1

885

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
СБРАЗОВАНИЯ СССР

МОСКОВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ИНЖЕНЕРНО-ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ МЕТОДИКИ
ЭКСПЕРИМЕНТА

(Конспекты лекций)

Б.С.Розов

АВТОМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ
ДЛЯ ОБРАБОТКИ ФОТОГРАФИЙ



МИФИ, 1975

Анализ процесса обработки фотографий с пузырьковых камер показывает, что наиболее "узким" местом этой экспериментальной методики является поиск событий и перевод графической информации эксперимента в цифровую форму, т.е. измерение координат треков. Эта многоплановая проблема остается нерешенной в научном плане. Несмотря на известные успехи в решении частных задач, еще не найдены общие алгоритмы поиска событий заданного класса. Состояние этих вопросов таково, что большинство ученых, работающих над проблемой автоматической обработки трековых фотографий, считают, что способности человека по распознаванию событий являются уникальными. Поэтому основные усилия в практическом направлении прикладываются с целью наиболее разумного сочетания распознающих способностей человека с максимальной автоматизацией всех остальных операций инструментально-измерительного этапа эксперимента.

Известно, что наиболее достоверная идентификация событий получается после расчетов на ЦВМ на основе геометрических измерений. Только такой итерационный процесс : опознание (идентификация по топологии) — измерения — расчеты — идентификация (как следствие законов взаимодействия) является наиболее полным и достоверным. Это означает, что инструментально-измеритель-

ный этап эксперимента, включая просмотр, может быть эффективным только в случае проведения измерений во всех случаях, т.е. когда объем измерений не ограничивается ничем, кроме извлечения всей необходимой информации с каждой фотографии. Наряду с автоматизацией вычислительных операций, это предполагает максимальную автоматизацию измерений. В зависимости от выбранной стратегии обработки, треки могут измеряться по-разному. Как две крайности, можно указать измерение всех треков на кадре (режим последовательного сканирования с выделением события по некоторому критерию, например, по факту схождения всех треков события в одной точке) или измерение координат только треков события путем их прослеживания (ручного или автоматического). Ясно, что количество и характер считываемой с кадра информации резко отличаются и, соответственно, резко меняется объем и сложность вычислений. Нередко для фильтрации считанных данных вновь прибегают к помощи оператора.

Выходные данные в случае прослеживания треков получаются наиболее "экономичными". Это качество было особенно ценным 15 лет назад, когда были недостаточны вычислительные мощности. Однако и сейчас вопрос повышения информативности выходного потока данных не перестает быть очень важным, а иногда и решающим. Поэтому прослеживание треков, являясь одним из эффективных способов

фильтрации данных, широко используется до настоящего времени, в том числе, в самых производительных измерительных системах.

Стремление автоматизировать процесс измерения координат треков при их прослеживании привело к объективному центрированию (визирсванию) измерительного перекрестия на треке, т.е. исключению наиболее трудоемкой и утомительной операции ручных измерений. Исторически первой была попытка разработки и создания приборов следящего преобразования на основе традиционных счетно-решающих аналоговых устройств, использовавшихся в автоматических следящих системах широкого назначения. Был создан ряд установок как в нашей стране, так и за рубежом, к которым относятся франкенштейн, полуавтоматические измерительные установки ИТЭФ, ОИЯИ и др. В этих установках основной интерес представляет устройство выработки сигнала рассогласования между положениями участка трека и чувствительного элемента фотоэлектрического датчика. Сигнал рассогласования получается либо от четырехпольного сверхчувствительного узла (установка ОИЯИ), либо от зонного сканатора, на которые попадает увеличенная часть изображения кадра.

Попытка создания приборов следящего преобразования закончились, как известно, неудачей. При объяснении этого результата назывались различные и довольно многочислен-

ны? причины — сложная и неблагоприятная для прослеживания топология событий, загруженность кадра посторонними треками, недостаточная контрастность треков и наличие разрывов, большой фон пленки и т.д. По существу же, это явилось следствием ограниченных возможностей аналоговых средств для выработки сигналов ошибки. Дальнейшее развитие процесса автоматизации измерений на пленках показало, что для надежного прослеживания треков выделенного события (речь не идет об инициировании прослеживания) должны использоваться более мощные средства первичной переработки информации, базирующиеся на цифровых методах. Для этого необходимо уже на первой операции обработки осуществлять цифровые измерения координат треков и хранить их для последующей "сортировки". Сохранение результатов каждого единичного измерения позволяет осуществить фильтрацию и выделение трековых сигналов по алгоритмам, сложность и совершенство которых определяется только мощностями используемой цифровой техники. В этом заключался принципиально новый подход к разработке автоматических измерительных приборов следующего поколения. Эту ситуацию, с известным упрощением, можно сравнить с принципиальной возможностью (хотя бы и вручную, как в случае использования дисплеев) сортировки зерен и плевел, если они сохраняются как тако-

вые. В то же время, такая сортировка невозможна после размола зерен в муку, а именно подобную операцию и выполнили аналоговые устройства ошибки в приборах следящего преобразования.

Упомянутый новый подход к методике и технике геометрических измерений на пленках был осуществлен в конце 50-х годов, когда были предложены, а затем и осуществлены приборы развертывающего преобразования, или, как их еще называют, приборы динамической компенсации. Это хорошо известные ныне *ИРД* и спиральный измеритель, в которых сканирующий элемент обходит поле фотографии (или поле увеличенного изображения снимка) по некоторой траектории и преобразует, таким образом, статистический многомерный сигнал $F(x, y, z)$ в динамический одномерный $F(t)$, т.е. осуществляет считывание. Считанный сигнал, являясь функцией времени, зависит по величине и частотному спектру от оптических характеристик статического сигнала, а также от параметров сканирования. Другими словами, сканирование – это способ преобразования сигнала с пространственным спектром в сигнал с частотным спектром, диапазон которого зависит от скорости движения и размера сканирующего элемента.

Сканирование как способ обхода сканирующим элементом пространства визуального сообщения по некоторой

траектории (детерминированной или случайной) и преобразования оптических характеристик сообщения в электрический сигнал известно и используется давно. В наиболее простых случаях, когда ставится задача обнаружения оптических неоднородностей и их учет, сканирование выполняет обзорно-поисковые функции. В качестве примера можно привести задачу измерения дифференциального распределения треков осколков деления и тяжелых ионов на твердотельных детекторах /7/. В этих случаях наиболее важными параметрами сканирующих устройств являются пространственное разрешение и время просмотра, в то время как вопросы измерения координат треков не представляют интереса.

Сканирование в приборах для обработки фотографий с пузырьковых камер выполняет измерительные функции — сканирующий элемент, в качестве которого используется тонкосфокусированный световой луч (*HPD*) или светочувствительный элемент малого размера (спиральный измеритель), не только обнаруживает оптические неоднородности, но и измеряет их координаты. Поэтому дополнительно к высокому пространственному разрешению сканатора, которое определяет чувствительность объективного центрирования на треке, в приборе должно быть цифровое устройство для точного измерения геометрических координат

сканирующего элемента. Если, наряду с геометрическими, должны измеряться и другие координаты визуального сообщения (оптическая плотность или яркость, спектральный состав и т.д.), то установка должна содержать эти блоки. В приборах для измерения координат треков амплитуда считанного сигнала если и измеряется, то только с целью нахождения геометрической средины трека.

Таким образом, сканирование не определяет функционального назначения прибора, а является лишь средством для достижения каких-то целей. В соответствии с этим, можно выделить самостоятельный класс приборов — измерительные сканирующие приборы. Измерительным сканирующим прибором будем называть цифровую установку, предназначенную для прецизионных измерений средствами сканирования координат визуального сообщения с целью последующей обработки информации методами вычислительной математики. В достаточно общем виде измерительный сканирующий прибор может быть представлен функциональной схемой, изображенной на рис. 1.

Еще раз обращаясь к вопросу о месте измерительных сканирующих приборов среди других метрологических средств, отметим следующее. По сравнению с автоматическими приборами следящего преобразования, которые основаны на принципе статической компенсации, измерительные сканирующие приборы являются установками динамической

компенсации, т.е. их с полным основанием можно отнести к системам развертывающего преобразования, предложенным Ф.Е.Темниковым /8/. Однако, в силу непрерывного измерения пространственного положения сканирующего элемента, рассматриваемые приборы не используют промежуточного временного преобразования и их следует считать более совершенными и универсальными измерительными системами, чем известные геометрические развертывающие системы, так, например, в рассматриваемых приборах становится несущественным закон развертывания во времени, по крайней мере, до тех пор, пока скорость движения сканирующего элемента еще не оказывается на точности измерения геометрических и оптических координат.

Можно сформулировать следующие основные отличия измерительных сканирующих приборов от приборов следящего преобразования :

1. Приборы следящего преобразования (ПСП) осуществляют центрирование чувствительного элемента на треке с погрешностью, величина которой наименьшая при нулевой скорости и увеличивается с ростом скорости. Измерительные сканирующие приборы (ИСП) осуществляют "мгновенное" центрирование, погрешность которого не зависит от скорости сканирования в некотором диапазоне скоростей.

2. ПСП "рыскают" по треку. Рыскание является слу-

чайным и зависит от отношения сигнал/шум и качества следующей системы. Величина такого случного "сканирования" равна ошибке слежения, т.е. измерения координат. Эта ошибка измерения не может быть уменьшена последующей обработкой результатов (за исключением некоторых простых случаев), в то время как ИСП, сохранив результаты всех единичных отсчетов, позволяют существенно повысить достоверность и точность измерений.

3. ПСП позволяют отслеживать только один трек. Если в поле чувствительного элемента появляется более одного трека, то прибор может сойти с трека и процесс измерений нарушается. Вероятность схода определяется соотношением интенсивностей сигналов обоих треков и может быть близкой к 100%. ИСП даже в случае близко расположенных треков не теряет полезной информации. Одновременно могут измеряться координаты двух и более треков.

Все отмеченные положительные особенности ИСП реализуются только при условии их совместной работы с цифровыми вычислительными устройствами, обычно универсальными ЦВМ. Меньшая автономность этих приборов не является недостатком в условиях современных физических лабораторий.

За 10–15 лет развития измерительных сканирующих приборов предложено и реализовано большое количество

разновидностей и модификаций, конструктивные особенности которых известны из литературы. Представляется целесообразным дать их классификацию, что позволит расставить их в соответствии с выбранными признаками. Кроме приборов с полноразмерным сканированием, в таблице 1 приведены и приборы с зонным сканированием, представляющие собой устройства с двумя (а для СИП – даже с тремя) связанными системами отсчета. Сюда не входят те приборы следящего преобразования, в которых зонный сканатор использовался только для выработки сигнала ошибки слежения аналоговыми средствами.

При классификации (табл.1) использованы следующие признаки (по уровням).

1. Размер измеряемого поля фотографического кадра. В соответствии с этим можно рассматривать системы полного и зонного сканирования. Т.к. зонное сканирование является вспомогательным к полному сканированию или к измерительным устройствам на основе микроскопов, то этот факт отражен в виде соответствующей связи.

2. Плоскость сканирования. Этот признак определяет тип сканирующего элемента.

3. Следующим показателем является размерность сканирования. Одномерные системы используют для измерения второй координаты перемещения самой пленки.

Характерно, что измерительные сканаторы для работы с увеличенным изображением являются только двумерными. К двумерным приборам могут быть отнесены также приборы для измерения треков в ядерных эмульсиях, потому, что для измерения третьей координаты используется независимый сканатор, который служит для наводки на резкость короткофокусного объектива.

4. Далее измерительные сканирующие приборы поделены по форме траектории сканирования. Известные измерительные системы с полным сканированием используют строчную или спиральную развертку. С известной натяжкой к системам с любой формой траектории отнесен Свипник. Это связано с тем, что установка Свипник вообще не предназначалась для измерений методом полного сканирования и работает в режиме слежения с круговым зонным сканированием штрихом. Однако, возможности измерительного сканатора этой системы в принципе позволяют осуществить развертку любой формы.

5. Используемые траектории сканирования могут быть получены с помощью разных механизмов, создающих движение сканирующего элемента. В настоящее время наиболее надежными и точными полноразмерными сканаторами являются оптико-механические устройства, хотя несомненно прогресс в области электронно-лучевых трубок.

6. В зависимости от механизма развертки, могут использовать различные средства для измерения перемещения сканирующего элемента. Наиболее распространены для оптико-механических сканаторов дифракционные решетки и отсчетные устройства на основе эффекта муаровых полос. В Свипнике использован интерферометр для измерения угловых перемещений сканирующего зеркала.

Во всех системах с электронно-лучевыми трубками используют решетки с числом линий до 40 лин/мм. Такое же измерительное устройство применено в *HPD*.

7. Последний ряд классификационной таблицы доводит деление до конкретных приборов. Здесь приведены далее все существующие приборы и установки, а скорее предполагались иллюстративные цели, поэтому больше одного прибора не приводится.

Обращаясь к таблице в целом, видно, что за исключением одной "ветви", для полноразмерных сканаторов оптико-механические механизмы сканирования и электронно-лучевые трубы идут параллельно. Эта исключительная ветвь — отсутствие прецизионных двумерных оптико-механических сканаторов, т.к. Свипник хотя и позволяет перемещать сканирующее пятно по двум координатам одновременно, является комбинацией двух одномерных сканаторов.

Сканирование и считанный сигнал

Рассмотрим оптическую схему сканирования фотопленки световым лучом (рис. 2). Сканирование в плоскости увеличенного изображения не имеет принципиальных отличий, а искажения, вносимые увеличивающей оптикой, скрываются лишь на степени соответствия геометрических размеров на пленке и увеличенного изображения.

Будем считать интенсивность светового потока в сканирующем луче постоянной во времени и в пространстве сканируемого поля. Примем также, что интенсивность потока одинакова по всему сечению пучка и равна I .

Фотографическая пленка характеризуется прозрачностью T , которая определяется как отношение прошедшего через пленку светового потока к падающему в каждой точке кадра. Для фотографий с пузырьковой камеры будем считать, что прозрачность фона есть T_ϕ , а прозрачность пузырька трека T_p , т.е. коэффициент контраста объекта исследования γ равен :

$$\gamma = \left| \frac{T_\phi - T_p}{T_\phi} \right|$$

Коэффициент контраста берется по модулю, потому, что могут быть темные треки на светлом поле или наоборот – прозрачные треки на темном поле. Величину $T_p/T_\phi = 1 - \gamma$

можно считать фотографическим отношением сигнал-помеха.

Пусть сечение сканирующего пучка в плоскости эмульсии пленки (световое пятно) равно S_0 , а площадь пузырька трека S_p . При сканировании (рис.3) ток катода светочувствительного элемента будет изменяться, так что его величина при движении пятна по фону :

$$i_\phi = C I T_\phi S_0$$

а при попадании на пузырьки трека ток составит:

$$i_n = C I (T_\phi S_1 + T_p S_2)$$

где S_2 – освещенная площадь пузырька, $S_1 = S_0 - S_2$

C – постоянный коэффициент.

Отношение сигнал/помеха определяется как отношение токов:

$$\frac{i_n}{i_\phi} = \frac{T_\phi S_1 + T_p S_2}{T_\phi S_0} = 1 - \frac{S_2}{S_0} \left(1 - \frac{T_p}{T_\phi} \right) = 1 - \frac{S_2}{S_0} \gamma$$

Для оценки можно рассмотреть два крайних случая.

1. Постоянный контраст: $\gamma = K = \text{const}$. Тогда

$$\frac{i_n}{i_\phi} = 1 - \frac{S_2}{S_0} \gamma = 1 - \frac{S_2}{S_0} K$$

2. Для прозрачной пленки с темными треками

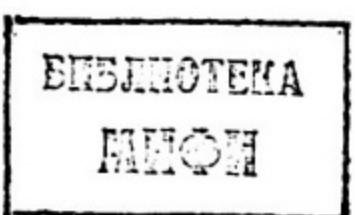
$$(T_\phi \gg T_p) : \quad \frac{i_n}{i_\phi} = 1 - \frac{S_2}{S_0}$$

Полученные выражения позволяют легко представить изменение считываемого сигнала во времени для известного закона сканирования, а также определить глубину модуляции сигнала :

$$\left| \frac{i_n - i_{\varphi}}{i_{\varphi}} \right| = \frac{S_2}{S_0}$$

Видно, в частности, что наибольший сигнал получается при прохождении центра пятна через центр пузырька и при условии, что $S_0 \leq S_h$. Однако, положение пузырька заранее не определено, поэтому в действительности глубина модуляции может меняться от 0 до максимальной величины. Существенно лучшим сигнал получается при сканировании штрихом, длина которого больше наибольшего разрыва между пузырьками. В этом случае средний ток светоприемника пропорционален ионизации трека и является функцией угла, под которым штрих пересекает трек.

Для случая постоянного контраста также достаточно просто получить форму и величину сигнала при считывании. Очевидно, что при постоянном значении T_{φ} и I , как предполагается, при постоянном значении I , легко отделить сигнал от помехи, выбирая соответствующий порог пропускания стоящей за светоприемником электронной схемы. Если же меняется прозрачность пузырьков и фона, то задача выделения сигнала усложняется. В любом случае оказы-



ется более предпочтительным работать не с сигналом i_n , а с отношением i_n/i_ϕ , потому, что отношение T_p/T_ϕ меняется существенно меньше, чем каждая из этих величин в отдельности. Например, для пленок с пузырьковой камеры "Мирабель" прозрачности T_p и T_ϕ меняются в пределах кадра и на разных кадрах более чем в 4 раза, в то время как их отношение меняется не более, чем в 2 раза.

Использование в канале считывания элемента с регулируемым порогом (или регулируемым коэффициентом передачи сигнала) позволяет улучшить отношение сигнал/помеха при достаточно регулярных или медленных изменениях прозрачности фона. Однако, этот путь становится непригодным при случайных изменениях плотности фона, которые носят характер шума. Пространственный спектр шума фотографических материалов, используемых для регистрации событий, в принципе не может быть отделен от сигнала (если не прибегать к сложным алгоритмам обработки считанного сигнала). Поэтому для определения качества считанной с пленки информации необходимо исследовать характер шума при считывании.

Будем по-прежнему считать, что световой поток сканирования не флюктуирует. Тогда отношение сигнал/шум при считывании будет определяться двумя факторами.

1. Шум из-за изменения прозрачности фона, что приводит к шумовой составляющей катодного тока светоприемника:

$$\Delta i_{\phi} = i_{\text{шф}} = C I S_0 \Delta T_{\phi}$$

где ΔT_{ϕ} - отклонения прозрачности фона.

Можно определить контраст шума $\gamma_{\text{ш}}$ подобно тому, как это было сделано для пузырьков трека:

$$\gamma_{\text{ш}} = \frac{\Delta T_{\phi}}{T_{\phi}}$$

2. Фотонный (дробовой) шум тока фотокатода :

$$i_{\text{шд}} = \sqrt{2e i_{\text{кат}} \Delta f}$$

где $i_{\text{кат}}$ - ток фотокатода, Δf - полоса частот видеотракта, e - заряд электрона.

Полоса частот должна соответствовать скорости сканирования. Длительность фронта считанного сигнала определяется временем прохождения пузырька или любой другой оптической неоднородности сканирующим элементом. Полагая размер сканирующего элемента в направлении сканирования равным $d_{\text{ск}}$, а скорость сканирования $v_{\text{ск}}$, получим время фронта считанного сигнала:

$$t_{\phi} = \frac{d_{\text{ск}}}{v_{\text{ск}}}$$

Длительность считанного импульса определяется соотношением размеров сканирующего элемента $a_{ск}$ и пузырька трека a_n .

В свою очередь, время фронта определяет верхнюю граничную частоту видеосигнала :

$$f_b = \frac{0.25}{t_\phi}$$

которую можно приблизенно считать требующейся полосой частот. Практически это означает, что, например, при скорости сканирования $\sim 5 \cdot 10^{-4}$ мм/сек (НРД) спектр считанного сигнала простирается до $\sim 10^7$ Гц.

Суммарный шумовой ток со светоприемника составит величину :

$$i_{ш} = \sqrt{i_{ш\phi}^2 + i_{шg}^2}$$

Для последующих количественных оценок отношения сигнал/шум выразим токи через мощность светового сканирующего пучка :

$$i_{ш\phi} = N \rho \gamma_{ш} T_\phi$$

где N – интенсивность светового пучка (фотон/сек),

ρ – квантовая эффективность фотокатода.

Дробовый шум :

$$i_{шg} = \sqrt{2e^2 N \rho T_\phi \Delta f'}$$

Тогда суммарный шум :

$$i_{us} = \sqrt{N^2 \rho^2 e^2 \gamma_{us}^2 T_\phi^2 + 2e^2 N \rho T_\phi \Delta f} = N \rho e T_\phi \sqrt{\gamma_{us}^2 + \frac{2 \Delta f}{N \rho T_\phi}}$$

Понимая в дальнейшем под сигналом величину

$$i_c = N \rho e / |T_n - T_\phi|$$

найдем отношение сигнал/шум для считанного сигнала :

$$\frac{i_c}{i_{us}} = \frac{N \rho e / |T_n - T_\phi|}{N \rho e T_\phi \sqrt{\gamma_{us}^2 + \frac{2 \Delta f}{N \rho T_\phi}}} = \sqrt{\frac{1}{\gamma_{us}^2 + \frac{2 \Delta f}{N \rho T_\phi}}}$$

Рассмотрим ^{еенные} источники шума присущи любому сканирующему устройству. В сканирующих приборах на основе электронно-лучевых трубок появляется еще один дополнительный источник шума — люминофор ЭЛТ. Пространственный спектр шума люминофора зависит от его зернистости и соизмерим с пространственным спектром шума фотопленки. К сожалению, величина и характер флюктуаций света с экрана трубы недостаточно изучены, что затрудняет оценку вклада этой составляющей шума.

Отношение сигнал/шум является тем параметром, который ограничивает точностные характеристики измерительного сканирующего прибора. Кроме того, что шум самым непосредственным образом оказывается на точности измерения оптических характеристик изображения на пленке, отношение сигнал/шум влияет и на погрешность измерения

геометрических соотношений, потому, что момент опроса счетчиков геометрического канала тоже флуктуирует.

Вопрос увеличения сигнал/шум особенно остро встает при обработке пленок с больших пузырьковых камер, для которых характерно невысокое качество фотографий.

Одной из таких возможностей является работа с темнопольными пленками, т.е. с прозрачными треками на темном фоне. Известно, что шум пленки тем выше, чем выше её прозрачность и эта связь выражается прямой пропорциональностью

$$\Delta T_\phi = \text{const} \frac{T_\phi}{\sqrt{S_0}} \sim \frac{T_\phi}{d_{ck}}$$

Таким образом, определенный нами контраст шума γ_{sh} зависит от диаметра считывающего пятна — при сканировании считанный шум интегрируется на площади S_0 , так что с ростом S_0 шум уменьшается. Сканирующее пятно в этом смысле является пространственным фильтром. До тех пор, пока коэффициент модуляции сигнала не уменьшается с увеличением d_{ck} (т.е. пока $d_n > d_{ck}$), увеличение d_{ck} увеличивает сигнал/шум, однако при достижении размера $d_{ck} = d_n$ отношение с/ш будет уменьшаться, т.к. сигнал падает пропорционально S_0 , а шум уменьшается пропорционально $\sqrt{S_0}$.

Уменьшение прозрачности фона увеличивает также кон-

траст треков γ и уменьшает число ложных отсчетов, причиной которых являются пыль и царапины на пленке. Несмотря на то, что слабые царапины не прорезают эмульсии насквозь, они рассеивают свет и его ослабление бывает достаточным для регистрации "трека".

Темнотольная пленка может быть получена сразу путем фотографирования в проходящем свете, или путем обращения пленки. Обращение пленки связано с дополнительной химической обработкой, поэтому возникают опасения неравномерной усадки и роста абсолютной величины флюктуации света при сканировании трека. Влияние этих факторов было исследовано /9/. Полученные результаты подтвердили сохранение точности.

Второй возможностью увеличения сигнал/шум является увеличение интенсивности светового пучка. Составляющая общего шума за счет фотонного эффекта начинает проявляться при малых токах светоприемника, поэтому путем увеличения мощности сканирующего пучка эту составляющую можно свести к пренебрежимо малой величине по сравнению с шумом фона. В этом случае отношение сигнал/шум приближается к наибольшей возможной величине, которая равна :

$$\frac{i_c}{i_m} \Big|_{max} = \frac{\gamma}{\gamma_m}$$

Отношение $\gamma/\gamma_{\text{ш}}$ не зависит от параметров сканирования и определяется исключительно качеством фотографического изображения, поэтому величину $\gamma/\gamma_{\text{ш}}$ можно назвать фотографическим или предельным отношением сигнал/шум. Оно достигается при условии :

$$\gamma^2 \gg \frac{2\Delta f}{N\rho T_{\Phi}}, \text{ или } N \gg \frac{2\Delta f}{\gamma^2 \rho T_{\Phi}}$$

Степень приближения к предельному отношению с/ш показывает отношение :

$$\eta = \frac{i_c}{i_{\text{ш}}} : \frac{i_c}{i_{\text{ш}} \max} = \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{2\Delta f}{\gamma_{\text{ш}}^2 N \rho T_{\Phi}}}}$$

Таким образом, для достижения заданного приближения η_0 к предельному отношению сигнал шум при выбранной полосе частот мощность пучка должна быть (в фотонах/сек) :

$$N \geq \frac{\eta_0^2}{1 - \eta_0^2} \cdot \frac{2\Delta f}{\gamma_{\text{ш}}^2 \rho T_{\Phi}}$$

Переходя вместо полосы частот Δf к скорости сканирования $v_{\text{ск}}$ и выражая мощность P сканирующего пучка в более привычном виде ($P = N \frac{hc}{\lambda}$), где h — постоянная Планка, c — скорость света, λ — длина волны используемого света), получим :

$$P \geq \frac{\eta_0^2}{1-\eta_0^2} \cdot \frac{hc V_{ck}}{2\gamma_m^2 \rho T_\phi d_{ck}} [Br]$$

Выражение для интенсивности светового потока можно переписать в виде :

$$\frac{N}{V_{ck}} \geq \frac{\eta_0^2}{1-\eta_0^2} \cdot \frac{1}{2\gamma_m^2 \rho T_\phi d_{ck}}$$

Диаметр сканирующего пятна d_{ck} также является одним из важнейших параметров сканатора, поэтому логичнее использовать не абсолютную скорость сканирования V_{ck} , а скорость перемещения сканирующего элемента V , выраженную в числе его диаметров, проходимых в единицу времени, т.е. :

$$V = \frac{V_{ck}}{d_{ck}} \frac{\text{диаметров}}{\text{сек}}$$

Тогда для заданных γ_m , ρ , T_ϕ и η_0 , сканирование должно осуществляться с отношением N/V не меньше некоторой величины F :

$$\frac{N}{V} \geq F = \frac{\eta_0^2}{1-\eta_0^2} \cdot \frac{1}{2\gamma_m^2 \cdot \rho \cdot T_\phi} \frac{\text{фотонов}}{\text{диаметр}}$$

Величина F представляет собой количество световой энергии, которое нужно затратить на "элементарный" путь сканирования, равный диаметру сканирующего элемента.

Другими словами, параметр N/V является одним

из наиболее важных показателей измерительного сканирующего прибора, который можно использовать, в частности, для сравнения различных приборов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Автоматическая обработка данных с пузырьковых и искровых камер. Сб. статей. Пер. с англ. под ред. Б.С.Розова, Атомиздат, М., 1971.
2. Proc. 1966. Internat. Conf on Instrumentation for High Energy Physics, Stanford, 1966
3. Proc. Internat. Conf on Data Handling Systems in HEP, CERN 70-21, 1970
4. Труды международного симпозиума по вопросам автоматизации обработки данных с пузырьковых и искровых камер, Препринт ОИЯИ, Д10-6142., Дубна, 1972.
5. Ю.А.Каржавин, Препринт ОИЯИ, № 1552, Дубна, 1964.
6. В.П.Михеев, Б.С.Розов, ПТЭ, 1970, № 1, 7.
7. А.В.Жуков и др., Вопросы атомной науки и техники, сер. Автоматизация и математическое обеспечение физического эксперимента, Вып. 2 (4), ХФТИ 74-42, Харьков, 1974.
8. Ф.Е. Темников, Теория развертывающих систем, Госэнергоиздат М., 1963.
9. R.A.Lewis, W.T.Welford, RHEL/R 212, 1971.

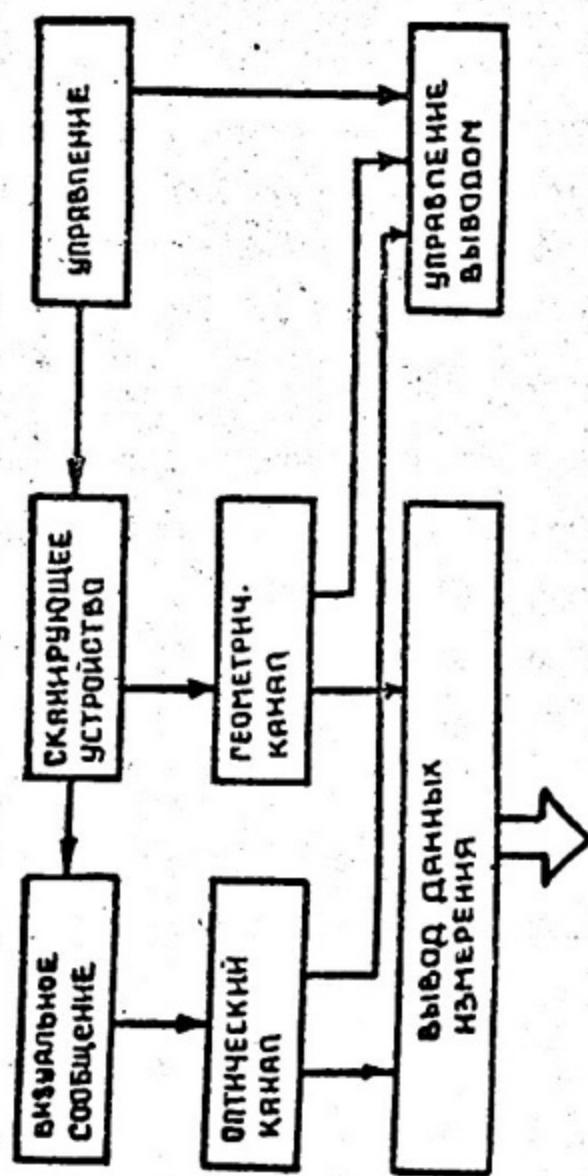


Рис 1.

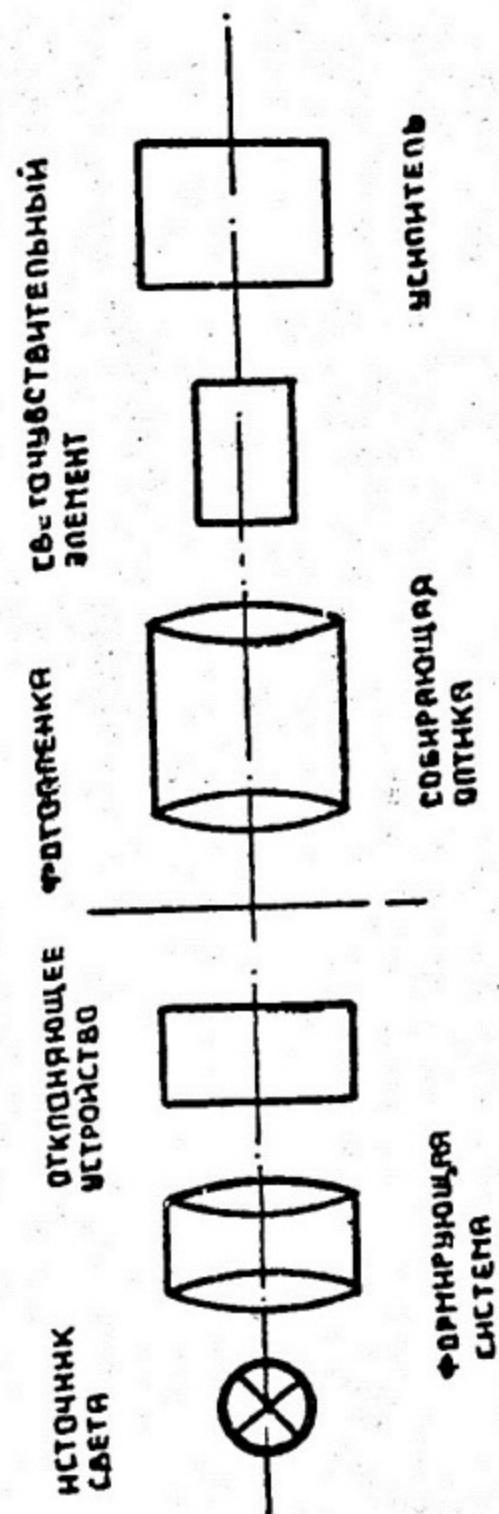
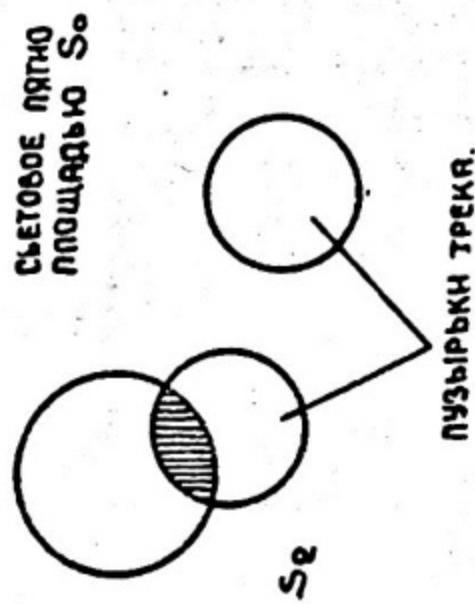
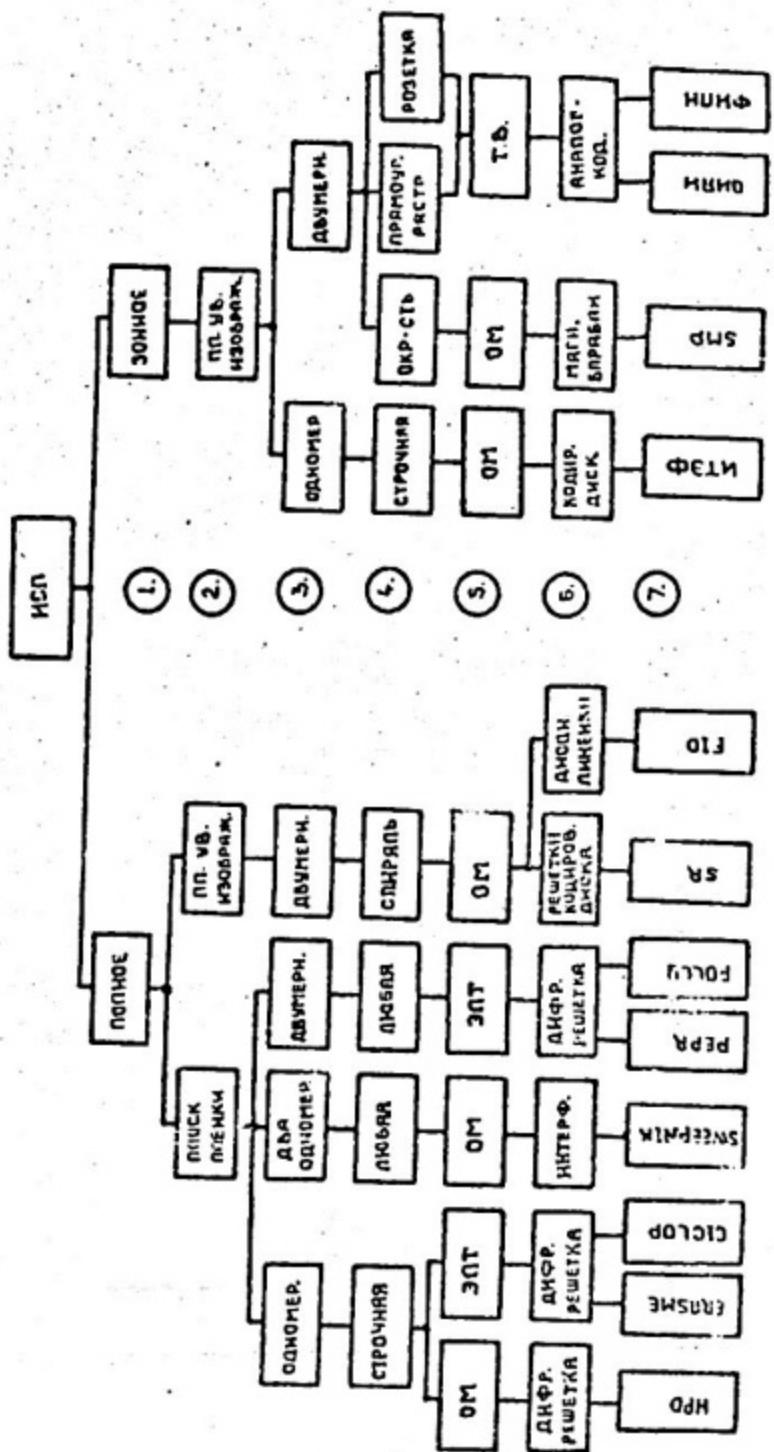


Рис.2.



Рис3.





1. Динамический диапазон измерений.
 2. Абсолютный разнос сканир. поля.
 3. Разрешающая способность сканирования.
 4. Форма траектории.
 5. Механизмы сканирования.
 6. Импульсные средства сканирования.
 7. Примеры установок.

Л 91171. Подп. к печати 13/У-75 г. Объем 2 ил.

Заказ 774. Цена 20 к. Тираж 250.

Типография МИФИ, Каширское шоссе, дом 1.