



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

Ю.А. Каржавин

1552

АВТОМАТИЗАЦИЯ ИЗМЕРЕНИЙ
ПО СНИМКАМ С ПУЗЫРЬКОВЫХ КАМЕР

(Обзор)

Дубна 1964

Ю.А. Каржавин

1552

АВТОМАТИЗАЦИЯ ИЗМЕРЕНИЙ
ПО СНИМКАМ С ПУЗЫРЬКОВЫХ КАМЕР

(Обзор)

Дубна 1964

В в е д е н и е

В современной ядерной физике при изучении элементарных частиц используются мощные ускорителя, такие, как синхрофазотрон Объединенного института ядерных исследований.

Одним из основных приборов для регистрации актов взаимодействия элементарных частиц на таких ускорителях является пузырьковая камера.

Регистрация событий, происходящих внутри камеры, производится путем фотографирования ее рабочего объема. Фотографирование обычно ведется стереоскопическими аппаратами с двумя или тремя объективами.

При работе пузырьковой камеры на пучке синхрофазотрона ОИЯИ на одной камере в сутки можно получить до 5000 стереофотографий, что составляет 1-1,5 млн. фотографий в год, причем в случае использования современных больших камер на большинстве фотографий будут зафиксированы события, представляющие интерес и подлежащие обработке.

Возможность получения такого большого статистического материала и, с другой стороны, большая стоимость эксплуатации ускорителя, камеры и другого оборудования остро поставили вопрос об автоматизации обработки получаемых снимков с целью возможно большей реализации данных с ускорителя.

Процесс обработки снимков может быть разделен на 3 этапа: просмотр с целью отбора нужных событий, измерения координат следов частиц по фотографиям, расчет на счетной машине требуемых характеристик события.

В последние годы большое развитие получают различного рода приборы для автоматического и полуавтоматического измерения координат, и ставится вопрос об автоматизации этапа просмотра снимков.

К сожалению, практические сведения по этому интересному разделу ядерной электроники разрознены, и их можно почерпнуть только из периодической литературы.

В настоящей работе делается попытка систематизации основных методов автоматизации обработки камерных фотографий, а также рассматривается ряд конкретных установок для автоматизации измерений координат.

В настоящее время трудно дать полный обзор всех типов приборов, используемых для автоматизации обработки камерных снимков, ввиду обилия разнообразных приборов, изготовленных в последние годы.

Мы будем рассматривать типовые конструкции приборов с хорошей точностью измерений, имеющих явные перспективы дальнейшего применения и развития.

Сведения о других приборах можно найти в литературе, список которой приведен в конце работы.

В обзоре не рассматриваются методы измерения микроструктуры следов, т.е. измерения ионизации и параметров многократного рассеяния.

§ 1. Камерные фотографии и точности измерения

Фотографирование рабочего объема камеры производится стереоскопическими аппаратами с двумя или более объективами с уменьшением изображения на пленке - 10 раз. Следы частиц на фотографии имеют ширины от 15 до ~ 60 мк (в зависимости от типа камеры).

На стекла пузырьковой камеры и на прижимные стекла фотоаппарата наносятся реперные отметки, которые необходимо измерять на фотографии для обеспечения точной привязки системы координат к объему камеры^{1,2/}.

На фото 1 представлен образец фотографии с пропановой камеры ЛВЭ ОИЯИ, облученной в нейтронном пучке. На снимке видно 3-лучевое событие типа:

$$n + p \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} p + p_+ + \pi^- \\ p + \pi^+ + \pi^- + \pi^0 \\ \dots \end{array} \right.$$

Требования к точности измерительного устройства определяются предельной точностью результатов, которую может дать камерная методика. На точность измерения импульса, углов, отдельных координат и других интересующих нас параметров оказывают влияние следующие основные факты:

1. Возможные неучтенные искажения оптических систем.
2. Искажения, вызванные движением жидкости в камере и ее оптической неоднородностью.
3. Неточность аппроксимации магнитного поля.
4. Многократное рассеяние частиц.
5. Деформация пленки, возникающая в процессе ее обработки.

Все эти причины в разной мере влияют на точность измерений, кроме этого, степень их влияния в большинстве случаев зависит от типа камеры.

Неучтенные искажения оптических систем в большинстве случаев могут быть сведены к величинам порядка 2-4 мк (по пленке).

Искажения по пунктам 2 и 3 могут быть оценены 1-3 мк.

Многократное рассеяние частиц существенно зависит от наполнителя камеры. Для водородных камер при энергиях частиц в несколько Бэв оно ограничивает точность измерений импульсов величинами порядка 1%, для пропановых - 5-15%, а для ксеноновых камер величину импульса частицы целесообразно вычислять исходя из параметров самого многократного рассеяния.

Деформация пленки, возникающая в процессе обработки, составляет обычно величину ~ 2 мк/мм. Эта величина учитывается путем измерений стандартных отрезков (например, расстояния между реперными метками). После исключения средней величины деформации можно считать, что неучтенные ошибки (по этой причине) не превышают 1,5 - 2 мк (на пленке).

Так как измерительные приборы рассчитываются на работу по пленкам со всех камер, работающих на ускорителе, то для оценки требуемой точности нужно взять наиболее жесткие требования, предъявляемые водородной камерой.

Для водородной камеры ошибки, вызываемые причинами 1, 2, 3 и 5, могут быть сведены к величине порядка 2-4 мк. Эквивалентная величина ошибки, вызванной многократным рассеянием, может лежать в пределах 1-2 мк (длина трека 10 см, импульс 1 Бэв/с).

Таким образом, для обмера большинства камерных снимков точности измерительных устройств порядка 1,5-3 мк по пленке можно считать вполне удовлетворительными.

Следует отметить, что точность, которую должен обеспечить измерительный аппарат, существенным образом зависит от его конструкции и от принятого в нем способа измерений.

Точность, с которой может быть проведено измерение середины пузырька или участка трека измерительным прибором, зависит от ряда факторов, из которых основными являются:

1. Цена деления отсечно-регистрирующей системы прибора.
2. Метод измерения - ручной или автоматический.
3. Параметры узлов, непосредственно участвующих в измерении (увеличение на измерительном экране, редукция в органах управления и т.п.).

Цена деления отсечно-регистрирующих систем в приборах высокого качества

обычно лежит в пределах от 1,25 до 2,5 мк, при больших точностях отсчета датчики перемещений чувствительны к вибрациям, толчкам и т.п., кроме этого, становится трудно реализуемым изготовление измерительных столов.

При ручном методе измерений большое значение имеет степень увеличения на измерительном экране. Действительно, точность измерения середин отрезков, отдельных пузырьков и ширины линий зависит от выбранного увеличения.

Так, при малых увеличениях 10х точность измерений составляет 5-8 мк (средняя ошибка), и само измерение требует от оператора большого напряжения. При увеличениях порядка 30-50х точность повышается и равна 2-3 мк (средняя ошибка), однако при дальнейшем возрастании увеличения существенного роста точности не наблюдается.

При измерениях с использованием системы автоматического центрирования по треку точность измерений зависит от конкретных параметров прибора и от условий измерений.

В статическом режиме на точность измерений влияют различного рода нестациональности и систематические уходы параметров, входящих в замкнутую петлю регулирования (разбалансировка дискриминатора, уходы источников питания, люфты в механических узлах и т.п.).

В динамическом режиме на точность измерений влияет ряд дополнительных факторов (полоса системы, коэффициент усиления и др.).

На основе опыта построения подобных приборов следует считать вполне реализуемой точность измерения в статическом режиме порядка 1-3 мк.

Из-за обилия факторов, влияющих на результирующую величину погрешности измерений, следует считать, что их суммарное действие подчинено закону случая.

Реальные величины погрешностей следует подсчитывать, в силу сказанного выше, для конкретных приборов. Среднеквадратичные значения результирующих погрешностей измерений для реальных приборов могут лежать в пределах 3-8 мк.

§ 2. Основные методы обработки камерных фотографий

Процесс обработки снимков начинается с просмотра, целью которого является отбор событий, подлежащих измерениям. Просмотр может вестись с использованием стереолуп, дающих пространственную картину события, или с помощью просмотровых проекторов.

При наличии удобных в работе просмотровых проекторов один опытный лаборант может просмотреть в день до 100-200 фотографий. Если считать, что в среднем

- 50 оказываются пригодными для дальнейших измерений, то один лаборант в год может отобрать для измерений около 15 тыс. событий.

После просмотра пленки с отобранными событиями поступают на измерения.

Этот процесс заключается в измерении большого числа (от 7 до 20) координат точек на следах частиц по каждой из проекций и измерении маркерных отметок, задающих систему координат, привязанную к камере.

В соответствии с ручным методом измерений (например, существовавшим в ЛВЭ ОИЯИ до внедрения автоматических установок АПС и полуавтоматических типа ПУ) координаты точек следов измерялись на микроскопах УИМ-21. На рис. 2 приведена фотография, где снят процесс измерения с использованием микроскопов УИМ-21.

Процесс измерения заключался в следующем: на предметном столе микроскопа закреплялись обрабатываемые фотографии. Оператор при помощи ходовых винтов микроскопа совмещал перекрестие окуляра микроскопа с серединой обрабатываемого участка следа (или с серединой одного из пузырьков данного участка следа). После этого оператору с двух нониусных шкал микроскопа приходилось списывать показания в таблицу. Затем эти таблицы передавались перфораторщикам, которые пробивали эти данные на перфокарты. Процесс обсчета^{14/} перфокарт на электронной счетной машине (ЭСМ) требует около 30-80 сек времени. Схема такого цикла обработки приведена на рис. 3. Наиболее трудоемкой операцией в этом цикле были измерения.

При ручном обмере фотографий один лаборант может измерить только 2-4 события в день. Отсюда следует, что для обработки в разумные сроки экспериментального материала, получаемого хотя бы с одной пузырьковой камеры, требуется нереально большое количество лаборантов и микроскопов.

Поэтому в последние годы широкое развитие получили различного рода приборы для автоматического и полуавтоматического измерения координат следов заряженных частиц по камерным фотографиям.

Схема цикла обработки с применением приборов для автоматизации измерений приведена на рис. 4. В этом случае измерительный микроскоп заменяется на измерительный проектор, данные с которого выдаются в виде перфолент, перфокарт или магнитных лент.

Под измерительными проекторами подразумевается класс приборов, в которых измеряемый снимок (или объектив, при помощи которого проецируется изображение) располагается на точном измерительном столе, снабженном системой отсчета, а сам процесс измерения производится с использованием увеличенного изображения либо вручную, либо автоматически.

Например, при ручном измерении оператор по оптическому экрану с увеличением не менее 30 раз (для получения точности измерений ~ 0,1 от ширины трека) производит совмещение неподвижного перекрестия с измеряемой точкой или участком трека. Процесс совмещения может быть автоматизирован путем применения системы слежения за треком. На рис. 5, 6 приведены фотографии, где показаны измерительные проекторы типа ПУ и типа АПС-1 Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Измерительный проектор существенно упрощает труд лаборанта и увеличивает производительность в 5-10 раз. Один проектор при работе в 3 смены способен обеспечить измерение около 20 тыс. событий в год (здесь и далее под событием подразумевается 4-лучевая звезда в двух стереопроекциях).

Переход к такой схеме измерений явился большим прогрессом в деле обработки камерных снимков, однако и в этой схеме для полной обработки материалов хотя бы с одной камеры потребуются большое количество лаборантов.

Следует отметить, что в этой схеме при использовании просмотровых столов без дополнительной автоматизации отбора время просмотра и измерения близки между собой, так, можно считать, что в большинстве случаев 1-3 лаборанта на просмотре могут полностью загрузить измерительный проектор.

Поэтому дальнейшее развитие автоматизации обработки камерных пленок в настоящее время рационально развивать по двум направлениям: скоростные методы измерений и автоматизация просмотра.

Большинство современных приборов для скоростного обмера основано на съеме информации со снимка с помощью светового бегущего луча.

Принцип действия таких приборов заключается в следующем: узкий световой луч на пленке рисует растр телевизионного типа. Свет от перемещающегося пятна, проходя через пленку и модулируясь в соответствии с плотностью изображения, попадает на фотоумножитель.

Отсчетная система прибора определяет точные координаты середины импульсов с фотоумножителя. Эти координаты и являются информацией, которую такие устройства выдают для обсчета на счетные машины. Информация такого типа, снятая с обычной камерной фотографии, является очень большой и может содержать до 50 тыс. чисел. Для уменьшения этой информации применяют метод "маски", который позволяет резко сократить информацию во время процесса сканирования.

В случае использования метода "маски" на просмотровом столе (снабженном "грубой" системой отсчета) измеряется с точностью ± 100 мк по 3 точки с каждого

следа, эта информация предварительно вводится в счетную машину и используется для отбора в процессе сканирования координат, лежащих вблизи нужных следов. Общий вид просмотрового стола с грубой системой отсчета приведен на рис. 7.

Несмотря на применение метода "маски", для обработки данных со сканирующих автоматов необходимы более современные и быстродействующие счетные машины, чем в случае использования измерительных проекторов (т.е. выигрыш во времени обработки происходит за счет большей нагрузки на счетную машину), так как внутри зоны, определяемой "маской", кроме координат точек нужного следа, остаются координаты всех фоновых точек пересекающихся треков и т.п., попавших в эту зону, а в случае измерительных проекторов измеряется точное положение середины участка нужного следа (длиной 1 мм) или координата центра пузырька, принадлежавшего измеряемому следу.

Схема обработки снимков с применением этих приборов приведена на рис. 8.

На обработке данных с просмотровых проекторов либо должна использоваться отдельная малая счетная машина, либо эта функция может выполняться быстродействующей машиной.

Сканирующий автомат может непосредственно управляться счетной машиной. На основе данных о просмотре счетная машина управляет автоматом, т.е. устанавливает нужный кадр, измеряет событие и т.д. За оператором остается лишь функция наблюдения и замены рулонов с пленкой. В соответствии с проектами такой автомат при работе с машиной ИБМ-7090 (США) должен обрабатывать до 700 тыс. событий в год.

Несколько другую схему обработки событий позволяет реализовать прибор под названием "Просмотровый и измерительный проектор" (СМП). Этот прибор имеет проектор, который проецирует полное изображение снимка на отражательный экран в натуральную величину. По отражательному экрану может перемещаться сканирующая головка, с помощью которой оператор, двигаясь по следу, осуществляет измерения.

На таком приборе могут производиться просмотр и отбор событий и точные измерения.

Как и в случае приборов с применением принципа "бегущего луча" (по тем же соображениям), для приборов типа СМП необходима быстродействующая ЭСМ с большим объемом оперативной памяти.

Схема обработки снимков с применением приборов типа СМП приведена на рис. 9.

В этой схеме несколько проекторов работает на одну быстродействующую счетную машину. Такие приборы в исполнении более просты, чем приборы с бегущим лучом, однако последние, на наш взгляд, более перспективны, так как с их помощью можно

осуществить автоматический просмотр и отбор событий. Кроме описанных ранее систем для скоростной обработки, в Беркли была разработана система, основанная на использовании прибора, предложенного Мак-Кормиком^{/3,4/}. Измерительный прибор представляет собой проектор с вращающимся диском, на который проецируется измеряемое изображение.

Диск имеет 12-15 щелей с расположенными под ними фотоумножителями.

Размер щели по ширине соответствует 1/3 ширины трека, а длина щели - 10 пузрыкам следа. Перед началом измерения центр диска совмещается с точкой взаимодействия измеряемого события.

Вращающиеся щели образуют концентрические светочувствительные зоны. В момент пересечения щелью изображения следа на выходе соответствующего фотоумножителя возникает видеосигнал. Отсчетная система прибора регистрирует азимутальное положение участка следа и номер кольцевой зоны.

Эта информация поступает в вычислительную машину, которая производит фильтрацию события. На рис. 10 изображены координаты, снятые прибором при обработке фотографии, а на рис. 11 - то же после фильтрации в машине.

При использовании приборов этого типа для обработки событий на просмотрных столах необходимо измерять точку взаимодействия и маркерные отметки. Измерения ведутся оператором, который производит точное совмещение центра события с центром диска.

Такая система позволяет обрабатывать около 30 случаев в час. Следует иметь в виду, что в настоящее время приборы, основанные на этом принципе, имеют ограничения по типам измеряемых событий, по скорости работы и не позволяют развить полную автоматизацию обработки.

Задача автоматического просмотра и отбора событий при наличии сканирующего автомата и ЭСМ с большой оперативной памятью и большим быстродействием может быть решена программным путем. Соответствующие работы^{/23/}, проделанные в Брукхэвенской лаборатории, показали, что при использовании измерительных установок с бегущим (точечным) лучом и машины ИБМ-7094 можно осуществить просмотр фотографий, однако экономически это пока еще невыгодно, так как занимает слишком много времени счетной машины. Необходимо в 4 раза увеличить производительность либо путем использования на предварительных операциях малой, но быстродействующей ЭСМ, либо за счет применения более быстродействующей большой машины, например, типа КДК-6600, либо за счет применения аналоговой техники отбора в самом измерительном устройстве^{/41/}.

Следует отметить, что приборы для быстрой обработки снимков в настоящее время находятся в стадии разработки.

Для сравнения перечисленных выше методов обработки приблизительные данные по необходимому числу операторов, а также машин и оборудования для обработки 0,5 млн. событий в год сведены в таблицу 1.

Т а б л и ц а 1

	Число приборов	Число операторов на измерениях	Число операторов на просмотре	Примечания
Ручной метод	160	500 чел.	50	Кроме этого, требуется 15 просмотрных проекторов
Измерит. проект.	25	75 чел.	50	
Установки с бегущ. лучом	1÷2	7 чел.	50	
СМП	15÷20	60 чел.	Просмотровых устройств не требуется	

На основе изложенного в настоящем параграфе, большинство современных приборов для автоматизации измерений по камерным фотографиям можно условно разделить на следующие группы:

- а) измерительные проекторы с автоматизированным отсчетом координат и с ручным сопровождением по измеряемому следу (полуавтоматы);
- б) измерительные проекторы с автоматическим отсчетом координат и с автоматическим сопровождением по измеряемому следу;
- в) установки, использующие принцип бегущего луча, со сканированием по всей анализируемой фотографии;
- г) установки со сканированием в зоне измеряемого трека (просмотровые и измерительные проекторы);
- д) установки для автоматического просмотра и измерения событий, обеспечивающие полную автоматизацию обработки.

Эти типы установок будут более подробно рассмотрены в дальнейшем.

§ 3. Измерительный проектор с автоматизированным отсчетом координат

Измерительные проекторы могут содержать различные устройства для облегчения труда оператора. Как минимум, измерительный проектор содержит экран с большим увеличением части изображения снимка (увеличение более $30 \div 50$ раз) для точных измерений координат и записи их на перфоленте. Примером простого измерительного проектора служит установка ПУ ^{/7/}.

Установка ПУ собрана на базе измерительного микроскопа УИМ-21. Блок-схема установки приведена на рис. 12. Микроскоп подвергся некоторым изменениям, облегчающим работу оператора: улучшен осветитель, изменены ходовые винты, на микроскопе установлены датчики перемещений на дифракционных решетках ^{/28/}.

Движение по измеряемому следу в установке ПУ осуществляется вручную при помощи ходовых винтов, при этом оператор ведет сопровождение по внешнему экрану микроскопа с увеличением $30 \div 50$ раз.

Сигналы датчика перемещений обрабатываются в отсчетном канале, регистрация производится перфоратором на бумажной ленте. На рис. 5 можно видеть часть измерительного зала ЛВЭ ОИЯИ, оборудованного установками ПУ.

Примером более сложной установки является установка, разработанная группой венгерских и польских физиков ^{/8/}.

Оптическая схема установки приведена на рис. 13.

Обрабатываемые пленки закрепляются на 3-х перемоточных неподвижно установленных столах (3). Одновременно могут быть закреплены 3 стереоснимка. Объектив ^{/4/} укреплен на подвижном столе микроскопа, который снабжен отсчетной системой с датчиками на дифракционных решетках с точностью отсчета 1,4 мк. Стереофотоснимки можно последовательно проецировать на вертикальный экран (6) размером 80 x 80 см с увеличением 10x.

В отверстие, находящемся в центре экрана, укреплена вторая оптическая система, которая при помощи объектива (6), зеркала (7) проецирует изображение, падающее на середину большого экрана, на меньший, горизонтально расположенный экран (8), с увеличением 50x.

Микроскопный стол управляется оператором при помощи штурвала и педали. Сам стол двигается в плоскости при помощи двух двигателей, обеспечивающих движение по координатам X и Y. Педаль задает напряжение на двигатели, а со штурвалом связан синус - косинусный потенциометр, который разлагает напряжение с педали на составляющие X и Y.

В некоторых случаях вместо оптического экрана с большим увеличением используются линейные развертки с опорными метками.

Устройство такой системы приведено на рис. 14, где для развертки используется диск (1) с радиальными щелями, перед которым стоит призма Дове (2) для поворота изображения параллельно щелям диска. За диском находится фотоумножитель (3), сигналы с которого снимаются на осциллографическую трубку, вмонтированную в экран общего обзора прибора. Начало развертки задается лампой и фотодиодом (4).

Для точного центрирования трека по такой развертке от импульса начала развертки вырабатывается с постоянной задержкой маркерный импульс. Операция центрирования трека заключается в том, что маркерный импульс делит трек на две равные половины. Следует отметить, что вместо диска часто используют многогранную призму ("самбатрон").

Такие системы для облегчения центрирования трека были использованы в установках ENETRA -112 французской фирмы COM (Париж) и в ряде других установок. Для общего представления о конструктивном выполнении измерительных проекторов на рис. 15 показан проектор COM.

Данные проектора следующие. Размер 1 м 40 см x 2 м x 1 м 95 см. Вес 1200 кг. Экран 1 м 20 см x 80 см. Увеличение на экране 7,5 или 15x. Размеры обрабатываемых снимков от 35 до 70 мм. Бобины фильмового канала рассчитаны на рулон пленки длиной 120 м. Скорость перемотки от 1 до 50 см/сек.

Установка имеет две системы управления: синус-косинусную систему со штурвалом и педалью и сельсинную с двумя штурвалами, выведенными на переднюю панель (1 оборот штурвала - 250 мк).

Максимальная скорость в первом режиме - 10 мк/сек.

Точность отсчета - 2 мк.

Сравнительная оценка различных типов измерительных проекторов показывает, что введение в ручной метод обработки на микроскопах автоматизированного отсчета с пробивкой на перфолентах (картах) убыстряет процесс обработки в 5-10 раз; дальнейшее усложнение установок этого вида - введение электроприводов, систем центрирования и т.п. - сильно удорожает установку, но не приводит к существенному увеличению скорости работы операторов.

В настоящее время оказалось, что автоматизация отсчета в измерительных микроскопах и небольшие изменения в механике самих микроскопов дают практически такие же результаты по скорости обработки, как более сложные варианты приборов (например, см. ^{/25/}).

§ 4. Измерительные проекторы с автоматическим слежением по следу

Начало разработки измерительных проекторов с автоматическим слежением по следу относится к 1954-1955 г.г. К 1957 г. в Беркли (США) в Калифорнийском университете была разработана первая измерительная установка с автоматическим слежением по следу^{/9/}.

На рис. 16 показана оптическая схема установки МР, разработанной Франком и др.

Измеряемый фильм располагается на подвижном столе микроскопа (1). Изображение снимка проецируется на обзорный экран (2) с увеличением в 12 раз, а изображение обрабатываемого участка трека проецируется на экран (3) с большим увеличением (порядка $30 \div 50$ раз).

В качестве датчика (4) автосопровождения в этой системе используется вращающийся диск с радиальными щелями (см. рис. 14). Для совмещения со щелью направления изображения следа используется призма Дове.

Система отсчета координат в первых моделях машины была выполнена с использованием точных ходовых винтов и дисковых позиционных датчиков. В более поздних моделях отсчетная система была выполнена с использованием датчика на дифракционных решетках. Измеренные координаты пробиваются на перфокарте с помощью электро-механического перфоратора.

Фотография общего вида установки МР- II ("Франкенштейн") приведена на рис. 17. В последние годы^{/10/} в эти установки были введены дополнительные усовершенствования (автоматическая установка на маркерные отметки, автоматический ввод служебных знаков и др.), однако их производительность осталась на уровне 20-25 тыс. событий в год.

В 1960 году была завершена разработка в ОИЯИ двух типов измерительных проекторов с автоматическим сопровождением по следу: АОС^{/11/} и АПС-1^{/12/}.

Установка АОС в своем окончательном варианте имеет оптическую схему, подобную изображенной на рис. 16. В качестве датчика автоматического сопровождения в ней используется фоточувствительное устройство "статического" типа. На рис. 18 изображена схема оптической части датчика, который, в отличие от датчика машины "Франкенштейн", обеспечивает полное автосопровождение по следу, "подкоррекцию" и "угловое слежение". Оптическая часть датчика делит изображение трека 4 части: сначала при помощи призм (1 и 2) оно делится пополам, затем каждая половина, в свою очередь, - пополам при помощи призм (3 и 4).

На рис. 19 приведена блок-схема следящей системы проектора АОС.

Фоточувствительный детектор (1) состоит из четырех чувствительных полос размером $0,5 \times 2$ мм каждая. Сигналы полей сравниваются попарно так, как это показано на рис. 19, в результате получается сумма и разность сигналов, которые являются соответственно сигналами параллельного (подкоррекция) и углового рассогласования. Сигнал угловой ошибки поступает на двигатель (5), который вращает все фоточувствительное устройство (1) в сторону уменьшения сигнала рассогласования. Сигнал параллельного рассогласования раскладывается по осям синусно-косинусным трансформатором СКВТ-2 и далее подается на двигатели, управляющие микроскопным столом (3 и 4) с закрепленной на нем измеряемой пленкой.

Исходная скорость движения стола задается напряжением на первичной обмотке СКВТ-1 (СКВТ-1 вращается вместе с СКВТ-2). Двигатели и СКВТ применены в расчете на 400 гц питание, этим же напряжением модулируются электронные потоки в фотоумножителях.

Перемещения стола измеряются с помощью дифракционных решеток и реверсивных счетчиков. Погрешность отсчета 2,5 мк.

Недостатком прибора является наличие в статическом датчике 4-х фотоумножителей с подобранными характеристиками.

В настоящее время в ОИЯИ разработан улучшенный образец этого прибора, целиком выполненный на полупроводниках, с улучшенным статическим фото-датчиком на 2-х фотоумножителях.

Этот образец имеет удобный оптический экран с большим увеличением, что позволяет осуществлять эффективное ручное сопровождение слабых или сильно загрязненных следов.

Общий вид прибора АПС-1 приведен на рис. 20, а его устройство схематически показано на рис. 21.

Снимок с измеряемыми следами располагается на микроскопном столе (1). С помощью оптической системы - осветитель (2), объектив (3), зеркало (4) - изображение снимка проецируется на экран общего обзора (5) с увеличением 7 раз (на экран проецируется кадр $60 \text{ мм} \times 60 \text{ мм}$).

Участок снимка размером $1,3 \times 1,7$ мм через полупрозрачный участок зеркала (4), зеркало (6), приаму Дове (7) проецируется на мишень передающей трубки типа "Видикон" (8). В приборе применена (без существенных переделок) промышленная телевизионная установка ПТУ-ОМ, сигналы с которой используются для системы автосопровождения следа.

Телевизионный экран (9) используется как точный индикатор сопровождения,

так как на нем получается увеличенное в 140 раз изображение участка измеряемого следа.

Измерительный столик перемещается в плоскости X , Y с помощью двух микрометрических координатных винтов.

Вращение осуществляется с помощью электрических двигателей постоянного тока (12, 13). В электроприводе применена тахометрическая обратная связь.

Для обеспечения перемещения столика по любому заданному направлению применена синус-косинусная система управления электроприводами.

Направление движения столика определяется углом поворота синус-косинусного трансформатора (16) и может изменяться либо системой автоматического поворота, либо поворотом штурвала (17) (синус-косинусный трансформатор связан со штурвалом с помощью сельсинной передачи). Скорость движения вдоль следа задается педалью (18), сопровождение следа может осуществляться оператором с помощью штурвала либо системой автоматического сопровождения.

Применение призмы Дове (7) позволяет при слежении по следу в произвольном направлении иметь на телевизионном экране изображение следа всегда в вертикальном направлении, что облегчает ручное сопровождение и позволяет значительно упростить систему автоматического сопровождения.

Для регистрации измеряемых координат точек следов используются фотоэлектрические датчики перемещения, установленные на микрометрических ходовых винтах (10, 11), и система отсчета координат (20) с выходом на перфоратор (21). Цена отсчета координат - 2,5 мк.

В этом приборе отсчетный канал был целиком выполнен на полупроводниковых триодах и явился основой для разработки отсчетных каналов установок АПС-1М, ПУ и прибора для измерения параметров многократного рассеяния по снимкам с ксеноновой камеры^{/6/}.

Прибор обеспечивает четыре режима работы:

а) Автоматическое сопровождение следа с автоматической записью координат. При этом оператор устанавливает начало измеряемого следа в "зоне захвата" системы автоматического сопровождения, все дальнейшие операции автоматизированы, вплоть до останова прибора после окончания обработки следа.

б) Автоматическое сопровождение при управлении скоростью движения вдоль следа и записи координат оператором.

в) Полуавтоматическое сопровождение (режим подкоррекции). В этом режиме

оператором осуществляется управление скоростью движения вдоль следа, корректировка направления движения с помощью штурвала и запись координат.

г) Ручное сопровождение.

Сопровождение следа и запись координат производятся оператором.

Выбор режима работы обуславливается качеством обрабатываемого снимка.

В приборе АПС-1 следящая система была выполнена на лампах. В 1961 году этот прибор был существенно модернизирован, переведен целиком на полупроводниковые триоды, в отсчетном канале точные ходовые винты были заменены на грубые, а датчик отсчетной системы был выполнен на дифракционных решетках.

Эта установка под названием АПС-1М (см. фото 7) описана в литературе^{/13/}.

Установка Института теоретической и экспериментальной физики^{/15, 17, 18/} в своем окончательном виде имеет механический датчик автосопровождения с вращающейся щелью. Ее общий вид изображен на рис. 22. Установка целиком выполнена на лампах.

В измерительных проекторах ИЕП, разработанных в ЦЕРНе^{/16,19,20/}, применена несколько иная оптико-механическая схема. В этих приборах измеряемые пленки укрепляются неподвижно, а на точном микроскопном столе, снабженном системой отсчета на дифракционных решетках, закрепляется объектив, проецирующий изображение на обзорный экран, датчик сопровождения и измерительный экран. Это дает большие конструктивные преимущества для изготовления фильмовых каналов и микроскопного стола, однако требует компенсации оптических дисторсий при расчетах на счетной машине.

В качестве датчика автосопровождения в машинах ИЕП применена 4-гранная призма, вращающаяся вокруг оси, параллельной направлению щели. Вращение изображения перед щелью осуществляется призмой Дове.

Общий вид проектора ИЕП приведен на фото 23.

Как недостаток измерительных систем с автосопровождением по следу следует отметить, что автосопровождение на слабых следах при наличии сильных пересечений иногда сбивается, это не дает возможности эффективно использовать систему автосопровождения. Ускорение процесса измерения, даваемое автосопровождением, равно 1,5 раза, а в случае особо контрастных пленок с малой загрузкой может достигать 1,5 - 2 раз.

Дополнительно заметим, что такие приборы удобно использовать для обработки снимков с искровых камер с большими промежутками при слежении по треку с автоматическим съемом координат.

Следует отметить, что в различных лабораториях^{/19,20/} было разработано еще несколько типов измерительных проекторов. Однако в своих основных чертах они подобны описанным выше приборам.

§ 5. Измерительные приборы, основанные на принципе сканирования бегущим световым лучом по всему кадру

Большое количество фотографий, получаемых с пузырьковых камер, и относительно большое время, затрачиваемое на измерения с помощью измерительных проекторов, привело к необходимости поисков методов ускорения процессов измерения координат треков на пленках, полученных при фотографировании ядерных событий методикой пузырьковых камер. Одна из установок такого типа была создана Хоугом и Поуэллом в 1960 г.^{/21,10,22,23,31/} с использованием метода бегущего луча.

Измерительный прибор этого типа ХПД представляет собой устройство с разверткой точечным бегущим световым лучом и с соответствующими отсчетными каналами, непосредственно соединенное со счетной машиной, которая полностью управляет прибором. От оператора требуется лишь установка на измерительный стол нужного рулона с пленкой.

Для осуществления операции управления в счетную машину вводятся необходимые данные с просмотровых столов: номер пленки и номера кадров, подлежащих обработке, грубые координаты точек следов события и маркерных отметок для построения "масок" и дополнительные сведения о событиях.

Для обеспечения автоматического съема маркерных отметок и номеров кадров на пленку в момент фотографирования события вводятся специальные маркерные метки в виде двух пересекающихся под углом $30-45^\circ$ линий и метки для подсчета номера кадра. На рис. 24 представлены различные варианты расположения меток, принятые в некоторых лабораториях^{/24/}.

Система меток, принятая в Брукхэвенской лаборатории, состоит из маркерных отметок и меток номера кадра. Метки номера кадра наносятся в виде 3-х дорожек: на нижней даны метки для временной синхронизации, на средней - номер кадра в двоичном коде, на верхней - номер кадра в дополнительном коде (для контроля). Для съема номера кадра используются 3 фотодатчика. Аналогичная система применена в Беркли, однако здесь метки нанесены в направлении, перпендикулярном движению стола, и для съема требуется большее число фотодатчиков.

В системе, принятой в ЦЕРНе, вводятся специальные метки на пленке для подсчета номера кадра и остановки на заданном кадре, а при наличии перфорации на пленке номер кадра подсчитывается по числу перфораций.

Принцип работы системы автоматической остановки кадра заключается в следующем: со счетной машины на специальный регистр выводится номер очередного кадра, подлежащего обработке. При этом начинается движение пленки, и очередной номер фиксируется на счетчике номера кадра. При совпадении числа на счетчике и на регистре происходит автоматическая остановка кадра.

После выбора требуемого кадра начинается процесс сканирования. Вначале снимаются координаты маркерных отметок, и с их помощью производится пересчет данных с просмотровых столов в систему координат измерительного прибора. Затем счетная машина производит необходимые подсчеты для формирования "маски", и начинается процесс съема координат следов события.

Оптико-механическая система прибора обеспечивает световое пятно диаметром около 15 мк, которое сканирует по исследуемой фотографии. Линии сканирования представляют собой параллельные прямые, число линий на фотографии размером 120 мм - около 2000, т.е. между соседними линиями расстояние ~ 60 мк.

Нормальное направление сканирования - поперек фотографии, перпендикулярно к первичному пучку частиц, однако при наличии на снимке треков, составляющих угол меньший чем 30° к направлению нормальной линии сканирования, производится сканирование вдоль фотографии, параллельно первичному пучку частиц. Определение координат центров пузырьков фотографии производится с точностью около 3 микрон.

Оптико-механическая схема для получения бегущего луча и для отсчета его мгновенного положения в процессе сканирования приведена на рис. 25, а общий вид оптико-механической части - на рис. 26.

Вращающийся диск (1) с радиальными щелями шириной в 20 мк расположен в нескольких десятых миллиметра от неподвижной щели (2).

Свет от ртутной лампы высокого давления проходит через отверстие, получающееся в результате пересечения двух щелей. Изображение этого пересечения проецируется на измеряемый негатив и на специальную измерительную решетку. Решетка состоит из чередующихся непрозрачных и прозрачных полос, шаг решетки ~ 25 мк.

Импульсы с фотоумножителя (3) формируются, и промежутки между ними заполняются импульсами от специального генератора для получения точности отсчета ~ 3 мк^{/27/}.

Измеряемая фотография устанавливается на микроскопном столе, который двига-

ется с постоянной скоростью. Положение стола регистрируется отсчетной системой на дифракционных решетках.

Когда сканирующий луч пересекает изображение следа на фотографии, на фотомножителе 4 образуется импульс, соответствующие схемы определяют середину этого импульса с точностью примерно в одну десятую от ширины трека и формируют импульс, при помощи которого считываются показания отсчетных каналов, и координаты измеренного пузырька заносятся в промежуточную память, а затем по команде с ЭСМ - в оперативную память счетной машины.

В настоящее время разрабатывается несколько вариантов таких устройств с одинаковым принципом действия, отличающихся различными техническими решениями ряда узлов.

Так, в Брукхэвенской лаборатории разработан улучшенный вариант прибора ХПД под названием "Марк-2" /26/, в котором вместо формирования бегущего луча при помощи двух пересекающихся щелей происходит формирование луча двумя пересекающимися "нитяными" линзами (т.н. "волоконная оптика"). Это дает большой выигрыш в интенсивности бегущего луча, так как в этом случае пересекающиеся нити (1) играют роль двух цилиндрических линз, которые строят изображение источника (принцип формирования луча ясен из рис. 27).

В этом устройстве удается получить размер светового луча до 8 мк. Скорость движения луча по пленке достигает 25 м/сек при использовании машины ИБМ-7090. Время сканирования всего кадра - 10 сек (кадр размером 53 x 160 мм) при расстоянии между линиями сканирования 30 мк. Кроме того, здесь использована быстрая система протяжки фильма (до 7 м в сек) для сокращения простоев ЭСМ. На рис. 28 представлен общий вид прибора, высота его - 1,5 м, длина - 5,2 м.

Для устройств типа ХПД и "Марк-2" разработаны программы обсчета применительно к машинам ИБМ (709, 7090 и 7094).

Программа под названием "Хейз" осуществляет управление сканирующим столом: устанавливает обрабатываемый кадр, выдает команду начала измерений, управляет системой автоматического съема реперных отметок, дает команду для продольного сканирования кадра, если в этом имеется необходимость /29, 10, 30/.

Программа обеспечивает обсчет данных с просмотрных столов с целью выработки "маски" для отсева ненужной информации, "Маска" для отсева точек одного следа получается в виде зоны шириной ~ 300 мк, точки, лежащие вне этой зоны, не должны принадлежать измеряемому следу.

На выходе сканирующего устройства имеются две буферные памяти (по 128 чи-

сел, каждое 36 дв. разрядов). Сначала заполняется одна память, затем выход устройства переключается на другую, и происходит обсчет данных с первой.

Обсчет данных с буферной памяти происходит быстрее, чем заполнение второй памяти, поэтому вычислительная машина в оставшееся время может перейти к обсчету по какой-либо другой программе, например, к обсчету по геометрической программе события, измеренного ранее. Затем в случае заполнения второй памяти программа обсчета геометрии события прерывается, и происходит снова обсчет данных с памяти.

Из 32000 слоев оперативной памяти машины ИБМ-7090 12000 используется для программы управления.

Так как из каждых 200 мсек 140 мсек может быть использовано для счета по другим программам, эти программы должны находиться в памяти все время. Однако в 20000 слоев невозможно разместить геометрическую и кинематическую программы вместе, это приводит к обращениям к магнитной ленте для передачи программ и частично обсчитанных событий.

Программа "Хейз" проводит операцию выброса ненужной информации по "маске". Сканирующий прибор может выдать до 50000 координат с типичного кадра, после фильтрации остается только несколько процентов от этой цифры, т.е. те точки, которые лежат внутри зоны "маски".

Программа фильтрации точек внутри "маски" /30/ использует группы по двадцать координат на последовательных участках каждого из анализируемых следов.

Фильтрация производится построением гистограмм величины ΔW , где ΔW есть расстояние данной точки внутри "маски" от левого края кривой, образующей "маску". При этом 20 чисел разделяются по 32 щелям, каждая из которых шириной ~ 10 мк (половина ширины трека). След, идущий параллельно краю "маски", дает постоянную величину ΔW , и на гистограмме будет большой пик; трек, идущий под большим углом к краю "маски", дает равномерное распределение точек по всем щелям. На рис. 29 приведены гистограммы, поясняющие процесс фильтрации.

После фильтрации остаются только те точки, которые дали пик, превышающий значение порога $N=3$. Точки, принадлежащие одному пику, усредняются и дают координату отфильтрованного трека. Если в гистограмме имеются два пика, то они анализируются после фильтрации дополнительно.

При появлении 3-х пиков и более участок трека далее не рассматривается.

В конце измерений программа "Хейз" осуществляет запись отфильтрованных координат следов измеренного события на магнитную ленту. Эта лента дает входную информацию для программы пространственной реконструкции.

Сканирующее устройство для машины ИБМ-7090 имеет время сканирования по одной строке 2,08 мсек, при 2000 строках на кадр - 4 сек. Это дает полное время измерения события - 15 сек. На каждые 2,08 мсек только 0,8 мсек затрачивается на программу "Хейз". Таким образом, из 15 сек 10 секунд идет на обработку по вторичным программам. Этого времени достаточно для просчета геометрии и кинематики события (сказанное выше справедливо для событий с числом лучей меньше 12, при более сложных событиях время сканирования нужно увеличить).

Сканирующая система с машиной ИБМ-7090 измеряет 3-5 событий в минуту при работе по 8 часов в день, за год получим 4-5 · 10⁵ событий. Для обеспечения предварительного просмотра для такой системы требуется 20-30 просмотровых столов.

При работе с машиной ИБМ-709 сканирующее устройство согласуется с ней не так хорошо из-за меньшего быстродействия ЭСМ. Время сканирования строки в этом случае выбрано равным 7,5 мсек, и, кроме программы "Хейз", за это время можно пропустить геометрическую программу. Вычисления кинематических величин производятся отдельно.

Следует отметить, что установки типа ХПД изготавливают одновременно четыре лаборатории: Беркли, Брукхэвен, ЦЕРН, Резерфордская лаборатория (Англия); в настоящее время эта аппаратура находится в процессе отладки.

Метод, позволяющий уменьшать требования к счетной машине, - метод выброса лишней информации по "маске", без ввода чисел в счетную машину, разработан Иссао Майура (ЦЕРН)^{/32/}.

В соответствии с этим методом счетная машина подсчитывает точки пересечения начального края "маски" с линиями сканирования и выдает в нужной последовательности эти данные на сканирующее устройство, где и производится выброс ненужной информации.

Процедура подсчета положения "маски" заключается в следующем.

По данным с просмотровых столов (по 3 точки с каждого трека) вычисляют тангенсы (m_i) углов наклона элементарных участков всех треков длиной 1 мм, для этого по 3-м точкам каждого трека строят параболу (или дугу окружности), затем ищут в точках пересечения ее с линиями, параллельными линиям сканирования (с интервалом в 1 мм), тангенсы m_i . Далее для линий сканирования, лежащих внутри первого интервала

$$y_{i,k} = y_i + \bar{m}_i (k-1) p, \text{ где } \bar{m}_i = \frac{1}{2} (m_1 + m_2),$$

$y_{i,k}$ - координата первой точки трека, замеренная на просмотровом столе, и k меняется от 1 до n .

На основе этих данных, используя четыре точки первого участка, вычисляем первую точку второго участка, затем аналогично и всех последующих (вычисления проводим по интерполяционной формуле Ньютона):

$$y_{i,i} = 4y_{i-1,n} - 6y_{i-1,n-1} + 4y_{i-1,n-2} - y_{i-1,n-3}$$

и находим значения тангенсов $m'_i : m'_i = \frac{dy_i}{dx}$,

далее находим $\bar{m}_i = \frac{1}{2} (m'_i + m_{i+1})$.

Среднее значение тангенсов \bar{m}_i сохраняется в машине и используется далее при подсчете координат края "масок":

$$y_{i,k} = y_{i,i} + \bar{m}_i (k-1) p. \quad (1)$$

Эти подсчеты (по формулам 1) могут производиться во время обратного хода сканирующего луча.

Блок-схема электроники для внешнего стробирования нужной информации приведена на рис. 30.

Для обеспечения селекции нескольких треков, лежащих на одной линии сканирования, система стробирования сделана двухканальной.

В конце обратного хода сканирующей системы на регистры R_1 и R_2 записываются координаты "маски" двух первых треков, селекцию которых нужно осуществить. При совпадении координат со счетчика Y и с регистра R_1 схема сравнения C_1 открывает ключ K , и на счетчик CO_1 поступают импульсы с отсчетной решетки (временной интервал между импульсами соответствует 25 микронам по снимку).

Одновременно с этим Y - строб может произвести перенос числа со счетчика в промежуточную память. Конец интервала "маски" определяется моментом прихода 8-го импульса на счетчик CO_1 . При этом сбрасываются на "нуль" регистр R_1 и счетчик CO_1 , закрываются ключи K_1 и K_2 , и открывается K_3 для приема следующей информации.

Аналогично работает второй канал, состоящий из регистра R_2 , схемы сравнения C_2 , счетчика CO_2 и ключей K_3 , K_2 . Эта система позволяет существенно сократить требования к памяти счетной машины и уменьшить промежуточную память сканирующего устройства.

К такому же классу приборов может быть отнесен прибор, описанный Барреном и Вудли^{/33/}, которые предложили вместо сканирования точечным лучом сканировать световым лучом в виде линейного элемента - штриха, генерируемого катодно-лучевой трубкой. Ориентация светового штриха в процессе сканирования должна быть перемен-

ной, между -45° и $+45^\circ$, штрих должен занимать около 30 положений. Это устройство может выдавать довольно точное значение углового направления трека, так, при повороте штриха шириной 20 мк и длиной 1 мм на 2° от следа шириной 20 мк сигнал изменится в два раза.

Такое устройство может выдавать в 5-10 раз меньше информации, чем прибор с "бегущим лучом", что облегчает требования к ЭСМ в случае измерений и упрощает задачу автоматического просмотра событий.

§ 6. Просмотровый и измерительный проектор

Несколько другой подход к решению проблемы ускорения обмера камерных снимков был сделан Альваресом (США), который предложил прибор СМП (просмотровый и измерительный проектор) /10, 34, 35/.

СМП представляет собой прибор, непосредственно соединенный со счетной машиной, на котором оператор производит просмотр и измерения.

Прибор состоит из проектора, проецирующего со снимка изображение половины ^{x)} рабочего объема камеры (в натуральную величину) на отражательный экран.

Просмотр производится обычным путем, и, когда оператор находит интересное событие, оно немедленно измеряется. Для того, чтобы измерить событие, оператор двигает по следу сканирующую головку. При этом след не должен выходить из окна (площадью 1 см^2) сканирующей головки.

Во время процесса измерения СМП непрерывно посылает сигналы прерывания основной программы вычислительной машине для записи измеренных координат в оперативную память машины. Благодаря скорости процесса передачи данных в оперативную память, прерывание программ приводит к уменьшению скорости счета всего на 1% на каждую подсоединенную установку СМП, т.е. потеря времени на это незначительны.

Сканирующая головка расположена под экраном, который выполнен в виде непрерывной ленты с соответствующими направляющими для движения сканирующей головки (рис. 31). Схематический разрез сканирующей головки приведен на рис. 32.

Изображение обрабатываемого участка следа проецируется при помощи "перископа" из двух зеркал (1 и 2) на стеклянную плату (4) с выгравированными на ней опорными марками в виде конусов, расположенных по всей плате (под экраном), по углам квадратной сетки со стороной 10 мм. Опорные марки нанесены с точностью ± 2 мк (по пленке). Вместо стеклянной платы может быть применена плата из плексигласа.

^{x)} Справедливо для камер размером 1,5-2 м.

Зеркала (1 и 2) закреплены на роторе гистерезистого мотора (3), который осуществляет вращение сканирующей головки.

На внешней стороне ротора сканирующей головки нанесена магнитная пленка, на которую записаны значения координат δ_x и δ_y (см. рис. 33), на статоре мотора укреплены воспроизводящие головки.

Ротор мотора вращается со скоростью 1800 оборотов в минуту. Середина второго зеркала отстоит от оси вращения головки приблизительно на 3,2 см. Когда вращающееся изображение следа пересекает опорную марку, она отражает свет на фотоумножитель (5), который при помощи световода соединен с торцом стеклянной пластины. Отсчет координат производится двумя отсчетными системами. Одна из них - грубая отсчетная система, измеряющая положение сканирующей головки x_0, y_0 , использует решетки, выполненные фотографическим путем (16 линий на см). Другая система отсчета - это измерение мгновенного положения вращающейся головки δ_x и δ_y , в этом случае измерения проводятся с точностью ± 5 мк (по пленке).

Процесс определения координаты события заключается в следующем: при пересечении опорной марки изображением от следа на фотоумножителе появляется импульс, соответствующие электронные схемы определяют середину этого импульса и вырабатывают сигнал, считывающий показания с отсчетных систем.

Вычисление координат X и Y точки трека (см. рис. 33) производится следующим образом:

$$X = q_x - \delta_x,$$

$$Y = q_y - \delta_y,$$

где q_x и q_y - координаты опорной марки, которые задаются с высокой точностью и легко определяются на основании знания грубых координат X_c, Y_c и координат δ_x и δ_y .

Когда событие измерено, в памяти машины остаются координаты, лежащие по обеим сторонам измеряемых следов на пленке, в зоне, равной примерно $\pm 0,25$ мм.

Таким образом, в СМП прямо получаются координаты точек, лежащие внутри "маски", что в случае приборов типа ХПД ("Марк") - см. § 5 - получалось после отбора на просмотровых столах измерений на машине ХПД и отсева ненужной информации по "маске".

Далее процесс обработки аналогичен описанному в § 5, т.е. идет процесс фильтрации, в результате которого остаются координаты нескольких точек следа, затем следует программа реконструкции на кинематические программы.

Поскольку процесс измерения прост и может идти быстро, время измерения

значительно меньше времени просмотра. В Беркли (США) был опробован макет прибора, и было выяснено, что оператор может найти и измерить событие за 4 минуты, в среднем на каждый прибор СМП.

На машине ИБМ-7090 тратится около 15 сек на полный обсчет события, отсюда с одной такой ЭСМ могут работать около 15 СМП и выдавать 4 события в одну минуту, что составляет около 1 млн событий в год.

Программы управления предусматривают опрос машиной операторов (№ пленки, № кадра, какая стереопара, измерение точек и реперных обмоток и т.д.).

Опрос производится через печатающие машинки, ответ производится либо путем отпечатывания на машинке требуемой информации, либо путем требуемых замеров на СМП.

В случае использования машины ИБМ-709 программа фильтрации идет 1 сек на трек (оператор может измерить трек за 10-15 сек).

Одна машина ИБМ-709 может работать с 5-7 СМП.

Эти приборы в принципе позволяют производить быстрые перемеры в случае неверно измеренных событий, так как машина может сразу выдать результат, однако это полезное свойство системы может быть хорошо реализовано при использовании машин с большей оперативной памятью, чем у ИБМ-7090, для этой цели годна ИБМ-7094 с памятью, увеличенной до 64000 чисел ^{10,36/}.

Следует отметить недостатки этой системы:

а) если события на пленке встречаются редко, то время просмотра резко возрастает, что требует увеличения количества столов и лаборантов или организации предварительного просмотра, нет четкой временной синхронизации с работой машины;

б) трудно предусмотреть дальнейшее развитие такой системы в сторону полной автоматизации процесса, так как она в принципе опирается на работу человека.

Преимущества машин типа СМП - в простоте устройства прибора и в относительной дешевизне такой системы по сравнению с системой обработки, использующей установку типа ХПД.

§ 7. Проекты полной автоматизации обработки

С разработкой принципов работы таких приборов, как ХПД и СМП, стало ясно, что практически возможно измерение 1 млн фотографий в год.

В случае реализации этих возможностей узким местом в цикле обработки снимков становится просмотр событий. Действительно, для обслуживания прибора типа ХПД

потребуется 5-7 человек, а для отбора фотографий и измерения "масок" на просмотрных столах потребуется около 50-100 операторов (при обработке 0,5-1 млн. событий в год).

В связи с этим в ряде лабораторий проводятся поисковые работы по созданию полностью автоматизированных систем обработки.

Для полной автоматизации обработки возможно применение описанных в § 5 приборов, основанных на принципе сканирования по всему кадру. Однако эти приборы (кроме прибора со сканированием световым "штриховым" лучом) дают информацию 30-50 тыс. чисел с одного кадра. Это требует применения машин с очень большим объемом оперативной памяти и большим быстродействием. Поэтому кажется, что в настоящее время важными являются следующие вопросы.

а) Уменьшение информации на фильме за счет представления ее не в виде отдельных точек, а в виде элементов следа, при этом под элементами следа подразумеваются отрезки следа, изображаемые в виде прямой, которая определяется координатами точки, углом и может быть длиной.

б) Методы сочленения элементов следов в целые следы и события.

В Брукхевене была составлена программа получения элементов треков применительно к машине ИБМ-7090.

Переработка 15000 координат точек может быть сделана за 1 сек.

Готовятся дальнейшие программы объединения элементов в треки и поисков нужных событий. После обнаружения события нужного сорта такая система может затем на основе данных, полученных с машины ХПД, произвести полный обсчет нужного события. Такие эксперименты предполагается провести в Брукхевене на машине ИБМ-7094 с памятью 64000 чисел.

В Массачузетском технологическом институте группой Плесса разрабатывается проект ПЕПР^{10/}. В задачу этой системы входит автоматическая обработка одного миллиона камерных фотографий в год. Разработка базируется на вычислительной машине ПДП-1, эта машина имеет на выходе катодно-лучевую трубку, с растром, обеспечивающим 1024x1024 точек. Стабильность растра 1/2000 от полной шкалы за время, равное нескольким часам.

На рис. 34 изображена блок-схема установки. При помощи объектива (1) растр с трубки проецируется на измеряемую пленку. На фотоумножитель (2) собирается свет, прошедший через пленку. Полупрозрачное зеркало (4) и фотоумножитель (3) используются для компенсации изменения яркости луча на трубке вдоль строки.

Установка может работать в режиме опознавания событий и в режиме измерения.

В начале режима опознавания происходит обработка негатива с целью получения элементов трека. Для этого исследуются участки негатива, равные 1 мм^2 , световым лучом в виде штриха. Элементы треков фиксируются по координатам X и Y и углу наклона θ .

Снимок, содержащий 50 треков, может быть опрошен за 5 сек, и при этом будет получено около 3000 элементов треков. После этого элементы треков анализируются на наличие в них события, и в случае обнаружения события производятся измерения.

Для измерения используется бегущий луч (той же трубки), но для получения требуемой точности (порядка $\pm 4 \text{ мк}$ на пленке) положение луча по строке измеряется при помощи эталонной решетки, как в случае машины ХГД, а по направлению кадровой развертки производится точное прослеживание положения луча по решетке с линиями, параллельными строкам раstra.

Такая установка была применена для отбора фотографий с искровых камер /39/. Она продемонстрировала очень большую производительность - около 3000 снимков в час. Опытный оператор за это время может отобрать только 50 событий. На рис. 35 можно видеть часть этой установки - устройство для чтения фотографий.

Однако серьезным недостатком этой аппаратуры является то, что в настоящее время она способна обрабатывать только негативы с высокой контрастностью.

В лаборатории вычислительных машин Иллинойского университета Мак-Кормиком и сотрудниками задача автоматического просмотра и опознавания событий решается в еще более общем виде /10,42/.

Для решения оптимальным образом задачи обработки информации, содержащейся на снимке, и переработки ее в числовую форму, в этой лаборатории сооружают специальную счетную машину, которая состоит из трех основных частей: входного устройства для съема информации с пленки, устройства опознавания и контрольной вычислительной машины.

Входное устройство состоит из катодно-лучевой трубки с высоким разрешением (4096×4096 элементов). Такое разрешение достаточно для одновременного сканирования трех стереокадров 72-дюймовой камеры Беркли (при разрешении по пленке 30 мк).

Вся площадь обрабатываемой фотографии условно разбивается на участки, равные 1 мм^2 . Каждый такой участок при сканировании "разбивается" на 32×32 элемента. Все участки последовательно обрабатываются устройством опознавания.

Устройство опознавания (УО) состоит из 1024 (32×32) одинаковых ячеек - "сталактитов", причем каждая ячейка состоит из 10 триггерных элементов, связанных с соседними "сталактитами". На один "сталактит", который размещается на печатной

плате размером $120 \times 120 \text{ мм}$, требуется около 40 транзисторов и 120 диодов. Всего на устройство опознавания необходимо около 50 000 триодов и 130 000 диодов.

УО способно выполнять некоторые логические операции с одним 1024 - разрядным числом, соответствующим информации, полученной с элементарного участка 1 мм^2 . УО (под контролем счетной машины) производит стандартизацию треков по толщине и заполняет имеющиеся разрывы в треках. Затем составляет условное описание участка фотографии, где указаны особые точки на треках (окончание трека, изломы, появление нового трека и т.д.), а трек задается в виде отрезков прямой линии с индексами $\alpha, \beta, \epsilon, \eta$, определяющими грубое угловое положение трека (см.рис.36).

Контрольная вычислительная машина управляет УО и определяет общую "стратегию" опознавания требуемых событий. Эта ЭСМ должна содержать около 4000 транзисторов.

Общее время обработки 3-х стереофотографий с помощью машины Мак-Кормика и др. предполагается довести до 1 сек. Завершение основных работ над этим устройством планируется в 1964-1965 г.г.

В связи с тем, что решение задачи опознавания событий требует большого быстродействия и значительного объема оперативной памяти вычислительной машины, интересным является вопрос о возможности применения аналоговых устройств для отсева ненужной части информации в самом измерительном (сканирующем) устройстве. В настоящее время этот вопрос еще мало разработан, и в литературе имеются только указания на возможность использования таких устройств для сокращения информации.

Некоторого сокращения информации можно добиться, применяя для сканирования фотографии линейный элемент (штрих), как это предложено в работе /33/.

В работе /41/ предлагается для этих целей использовать развертку светового луча (на экране катодно-лучевой трубки), изображенную на рис. 37, которая получается при подаче на отклоняющие пластины трубки двух, сдвинутых на 90° , напряжений. При использовании наиболее подходящих трубок время одного полного оборота луча равно 300 мксек.

Такая развертка позволяет сделать ряд простейших логических операций с информацией, поступающей со сканирующего устройства. Например, для подтверждения наличия прямого трека можно использовать совпадение сигнала, получающегося с одного полуоборота этой развертки, с задержанным сигналом - с другого). Однако эти возможности в настоящее время проанализированы недостаточно для того, чтобы сделать окончательные выводы о достоинствах этих методов.

§ 8. З а к л ю ч е н и е

Современное состояние техники обработки камерных снимков таково, что при наличии счетной машины с быстродействием $5-10 \cdot 10^4$ операций в секунду с достаточным объемом оперативной памяти возможно измерение $5-10 \cdot 10^5$ стереофотографий в год при использовании сканирующих автоматов.

Возможность измерения такого количества фотографий требует, в свою очередь, автоматизации этапа просмотра и отбора событий, так как для обеспечения просмотра 1-2 млн. событий требуется 50-100 лаборантов и физиков и большое количество оборудования.

Можно полагать, что задача автоматического просмотра и отбора фотографий может быть решена в ближайшее время при использовании сканирующего автомата, работающего на ЭСМ с быстродействием ~ 1 млн. операций в сек и с соответствующим объемом оперативной памяти (например, КДК-6600, см. приложение).

Следует отметить, что стоимость такого оборудования очень велика (измерительный и просмотрный автомат со счетной машиной может стоить до 6 млн. долларов), и его использование доступно только наиболее крупным научно-исследовательским центрам.

Поэтому сейчас очевидно, что дальнейшее развитие систем для скоростной обработки камерных фотографий целесообразно направлять как по пути дальнейшего совершенствования существующих систем с целью получения больших производительностей, так и по пути разработки более экономичных систем обработки, не требующих применения сверхбыстрых счетных машин с большим объемом оперативной памяти. В этом плане большой интерес представляют возможности применения аналоговых устройств и элементов счетной техники в сканирующих автоматах для сокращения объема информации, передаваемой на ЭСМ.

Другим возможным направлением развития является разработка специализированных счетных устройств, наиболее приспособленных для обработки информации, содержащейся в камерном снимке.

Большой интерес в настоящее время представляют работы по совершенствованию системы измерений с помощью измерительных проекторов (повышение надежности приборов, улучшение программ обработки и т.п.).

Перспектива дальнейшего использования таких приборов - обработка сильно "загрязненных" фотографий (например, с камер Вильсона при наличии большого фона), обмер событий для задач, не требующих большой статистики, тщательный обмер редких событий, перемеры отдельных случаев и т.п. Кроме того, это основные измери-

тельные приборы для лабораторий, имеющих ограниченные возможности для изготовления более сложных систем.

В заключение автор выражает благодарность И.В. Чувило и В.Д. Инкину за участие в обсуждении материалов данного обзора и В.Н. Морозу, участвовавшему в написании параграфа 1.

Л и т е р а т у р а

1. Ю.А. Александров, Г.С. Воронов, В.М. Горбунков, Н.Б. Делоне, Ю.И. Нечаев, Пузырьковые камеры. Госатомиздат, 1963.
2. D. Bugg. Progr. Nucl. Phys., 7, 1, (1959); УФН, LXXIV, 675 (1961).
3. J.A. Russell. Proceeding of an Internat. Conference on Instruments for High Energy Physics, LRL Berkley, p. 256-257.
4. G. Brautti. CERN 62-37, 28, 12 (1962).
5. С.Я. Никитин. ПТЭ, № 2, 1961.
6. И.А. Голутвин, В.Д. Инкин, Ю.А. Каржавин, Э.И. Мальцев, В.Д. Неустроев, В.Д. Степанов, Чжан Н. Препринт ОИЯИ 1225, Дубна, 1963.
7. В.Я. Алмазов, И.А. Голутвин, В.Д. Инкин, Ю.А. Каржавин, В.Д. Неустроев, В.Д. Степанов. Препринт ОИЯИ 1352, Дубна, 1963.
8. Э. Феньвеш, Т. Гемеш, Ф. Немет, Т. Шандор, Л. Гайсеровски, А. Старжински. ПТЭ, № 2 (1961).
9. I.V. Franck, J. Russell. International Meeting on Instruments for the Evaluation of Photographs, CERN 1958, 24, p. 4-11.
10. G.R. Macleod. Nuclear Instruments and Methods, 20 (1963).
11. Е.М. Андреев, П. Гиршл, И.А. Зарубин, Г.М. Кадыков, С.М. Коренченко, В.М. Лачинов, А.Г. Морозов, К.Г. Некрасов, Р. Позе, М.И. Попов, В.В. Смирнов, Н.С. Толстой. ПТЭ, № 3 (1961).
12. Ю.А. Каржавин, И.В. Чувило, С.С. Кириллов, В.Д. Инкин, И.А. Голутвин, В.Д. Неустроев, В.Д. Степанов, Б.П. Тулаев, И.В. Колесов, В.Я. Алмазов, Ю.П. Прокофьев, И. Шинагл. ПТЭ, № 5 (1963).
13. V.J. Almazov, I.A. Golutvin, V.D. Inkin, Yu.A. Karzhavin, V.D. Neustroev, V.D. Stepanov and I.V. Chuvilo. Nucl. Instruments and Methods, 20 (1963).
14. Н.Н. Говорун, Е.П. Жуков, Л.И. Лепилова, Г.И. Макаренко, Г.Н. Тентюкова. Препринт ОИЯИ 1102, Дубна, 1962.
15. G.K. Bysheva, V.S. Kaftanov, L.L. Lichtenbaum, V.V. Milekin, B.N. Moiseev et al. Proceedings of an Intern. Conf. on Instrumentation for high-Energy Physics, Berkeley, 1960.
16. G. Van Dardel, Y. Coldschmidt-Clermont and E. Iselin. Nuclear Instruments, 2 (1958).
17. Л.Л. Лихтенбаум, Б.Н. Моисеев, В.С. Кафтанов. ПТЭ, № 3, 32, 1963.
18. Б.Н. Моисеев, В.И. Люлевич, О.П. Федотов. ПТЭ, № 3, 40, 1963.

19. International Conference on High-Energy Accelerators and Instrumentation, CERN, 1959; Y.Coldschmidt, Clermont, p. 523-531.
20. Proceedings of an International Conference on Instrumentation for High-Energy Physics LRL, Berkely, 1960, Interscience Publishers, New York-London, p. 223-261.
21. P.V.C.Hough, B.W.Powell. Nuovo Cimento, XVIII, 1184 (1960).
22. I.V.Franck, P.V.C.Hough, B.W.Powell. Nuclear Instruments and Methods, 20 (1963).
23. V.C.Paul. Hough SPIE Journal, March 1964 (в печати).
24. J.W.Burren, D.Lord and B.W.Powell, CERN, Report 63-4, 8. 2. 1963.
25. Я.М.Барков, К.Н.Мухин, В.А.Суетин, Р.С.Шляпников. ПТЭ, №6 (1963).
26. R.B.Palmer. Applied Optics, vol. 2, No. 10, October 1963.
27. T.Lingjarde. CERN, Report 62-10, 16 February 1962.
28. J.Guild. Diffraction Gratings as Measuring Scales, London, Oxford University, 1960.
29. R.Bock, W.C.Moorhead and B.W.Powell. CERN, Report 62-26, 1962.
30. H.S.White, T.Aronstein, C.Osborne, N.Werbe, W.G.Moorhead. Nuclear Instruments and Methods, 20, 393-400 (1963).
31. M.Benot, T.Lingjaerde et al. CERN, 61-31, 1961.
32. Isao Miura. CERN, Report 62-23, 21. 12. 1962.
33. J.W.Burren and W.A.Woodley. Nuclear Instruments and Methods, 20, 461-463 (1963).
34. R.I.Hulsizer. Nuclear Instruments and Methods. 20, 384-386 (1963).
35. L.W.Alvarez, P.Davey, R.Hulsizer, J.Snyder, A.I.Schwemin and Ronald Zane. UCRL 10109, April 10, 1962.
36. John Munson, Lawrence Radiation Laboratory, University of California. Report 453, 14.6.1963.
37. P.V.C.Hough, CERN, 62-37, 28. 12. 1962.
38. H.S.White, CERN, 62-37, 28. 12. 1962.
39. H.Rudloe, M.Deutsch. Thomas Marill, Communications of the ACM, v.6, N 6, June 1963.
40. M.Benot, G.Durupthy, P.Girand, J.Gnillaume, L.Schot et al. R.Zurbuchen, CERN, 63-5, 1.3. 1963.
41. D.Maeder. Nuclear Instruments and Methods. 20, 407-412 (1963).
42. B.H.Mc Cormick and N.rasimhan. Nuclear Instruments and Methods. 20, 401-406 (1963).
43. А.С.Вавилова, И.С.Жевелева. Электронные вычислительные машины за рубежом. Машгиз, 1963.

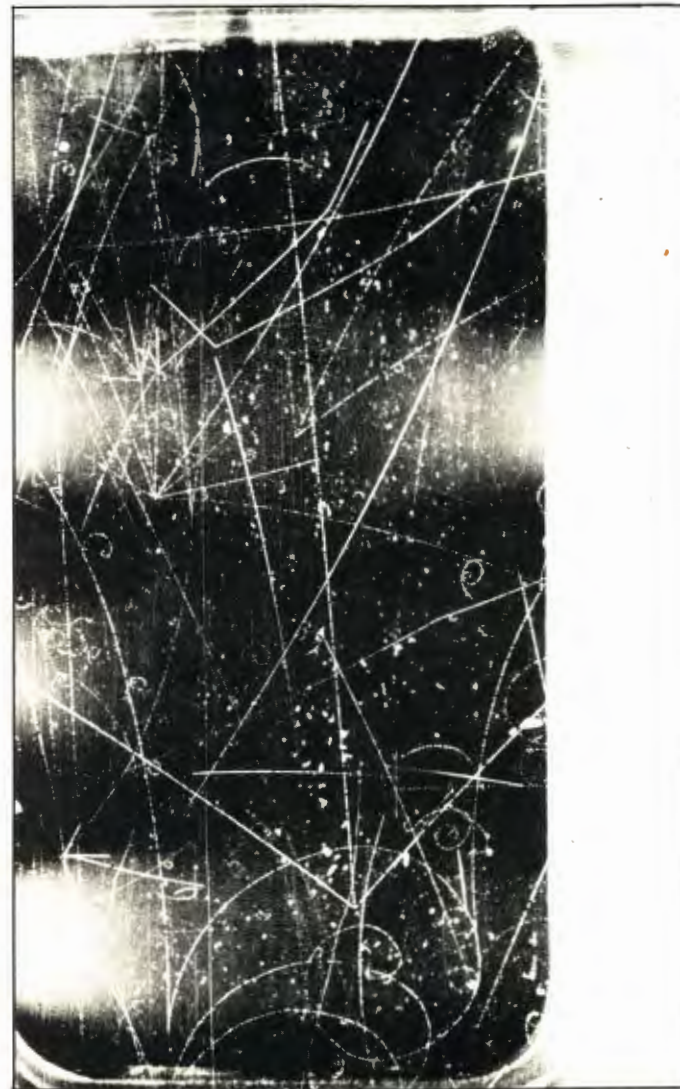


Рис. 1.

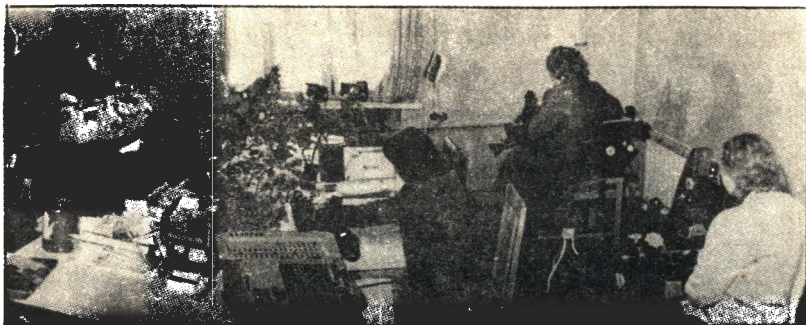


Рис. 2.

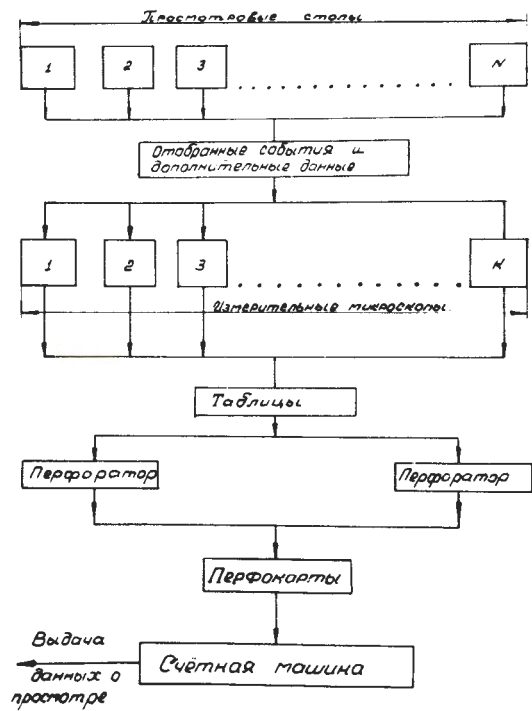


Рис. 3.

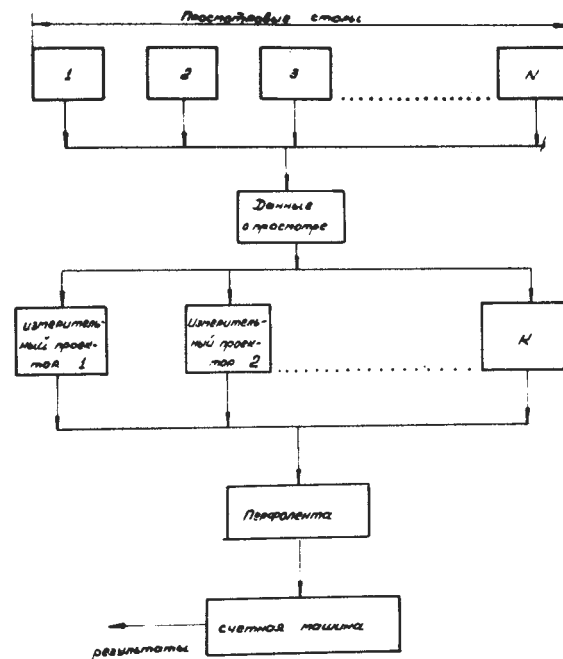


Рис. 4.



Рис. 5.



Рис. 6.



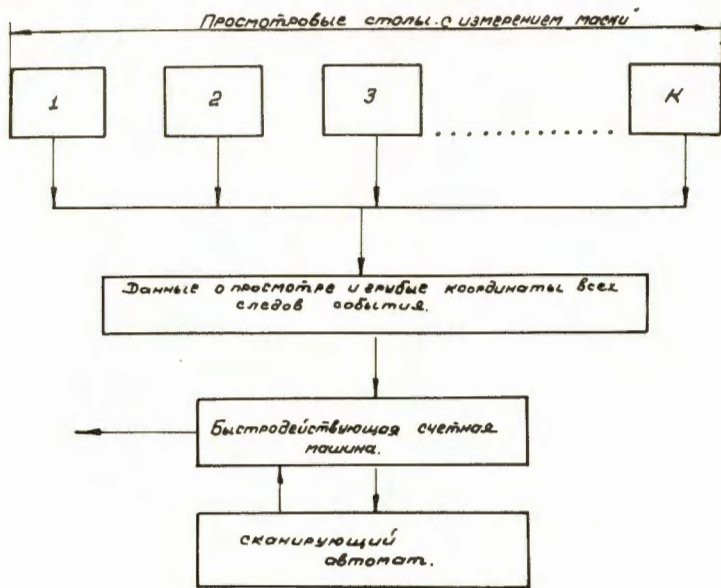


Рис. 8.

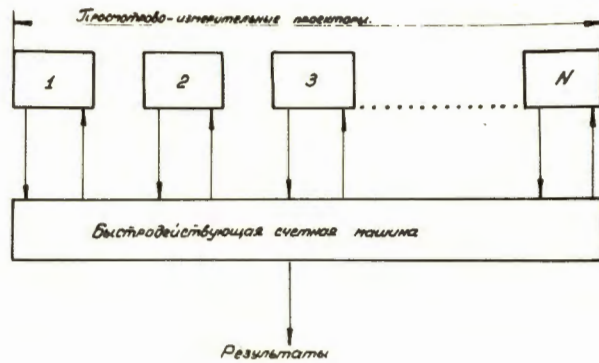


Рис. 9.

FILTER 2164200



Рис. 10.

FILTER 2164200

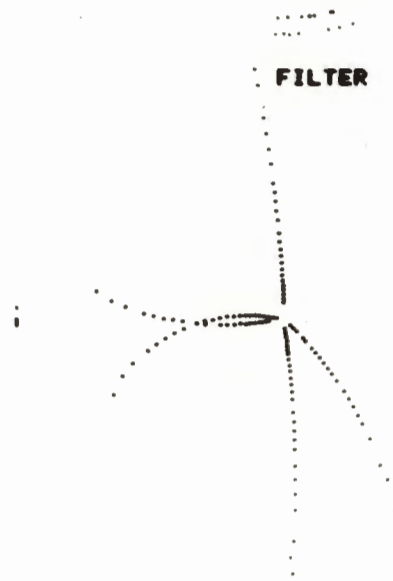


Рис. 11.

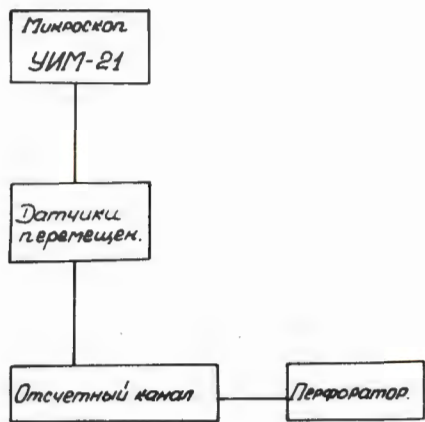


Рис. 12.

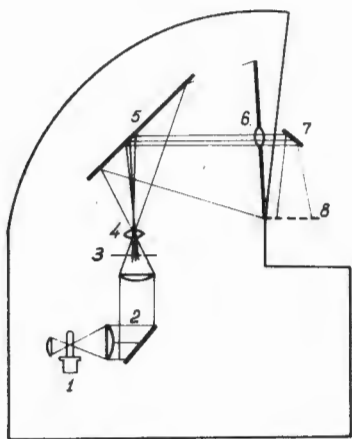


Рис. 13.

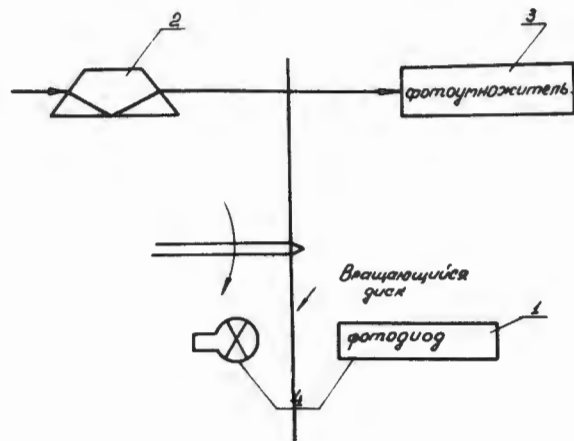


Рис. 14.

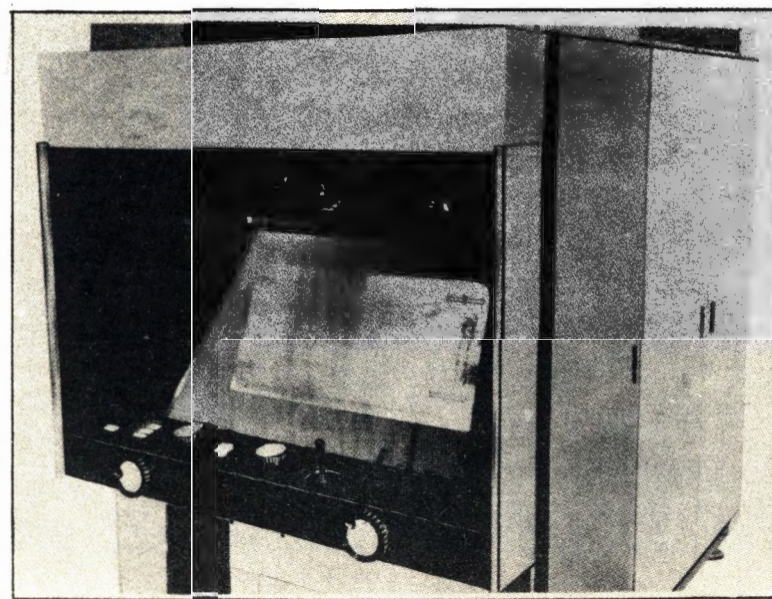


Рис. 15.

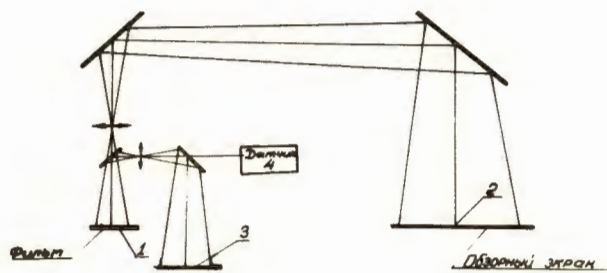


Рис. 16.

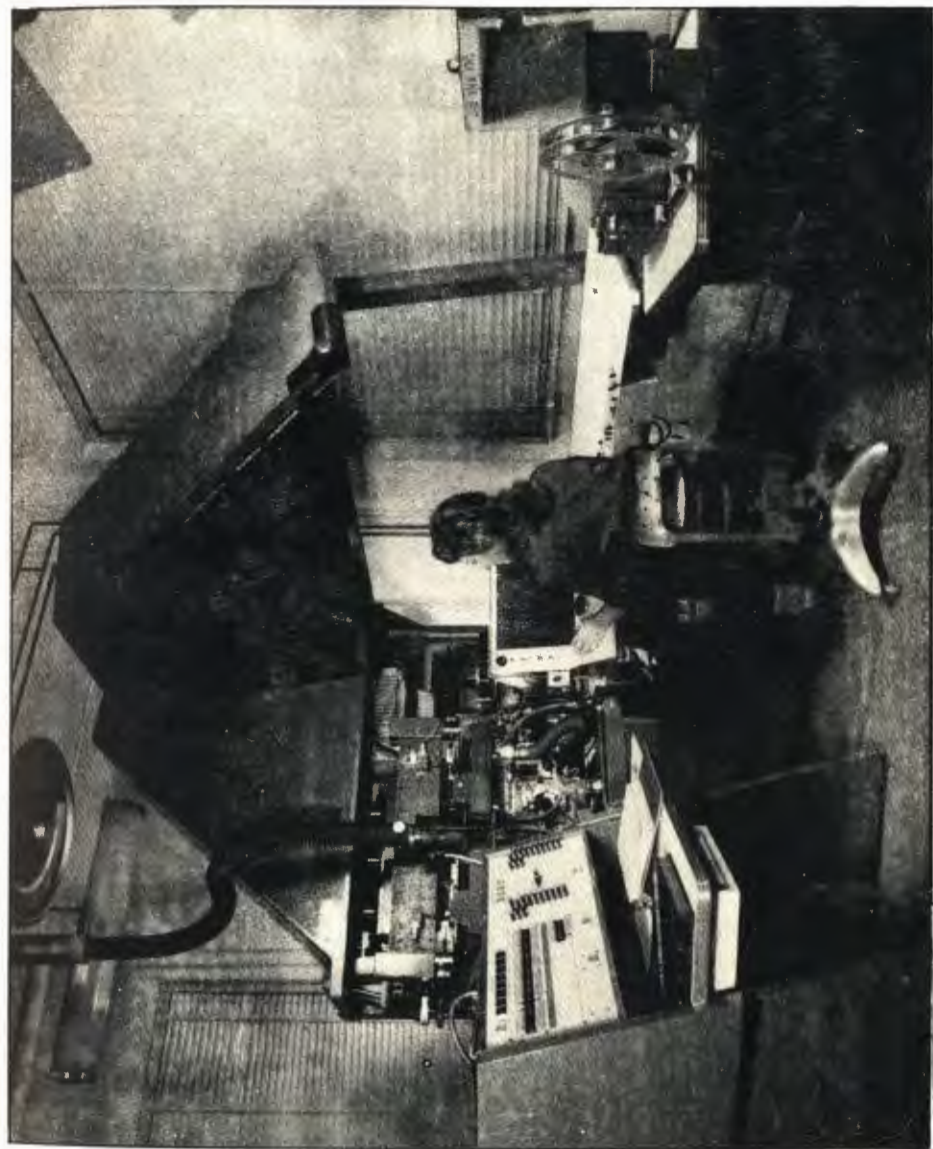


Рис. 17.

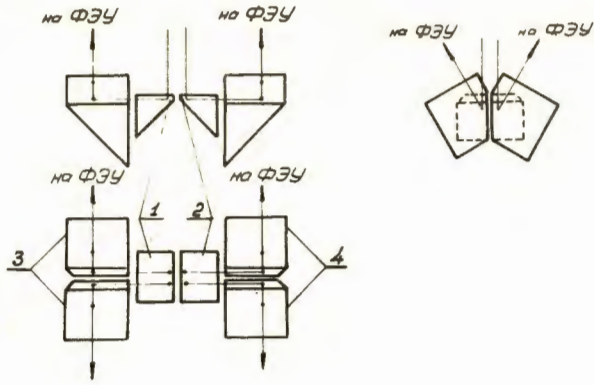


Рис. 18.

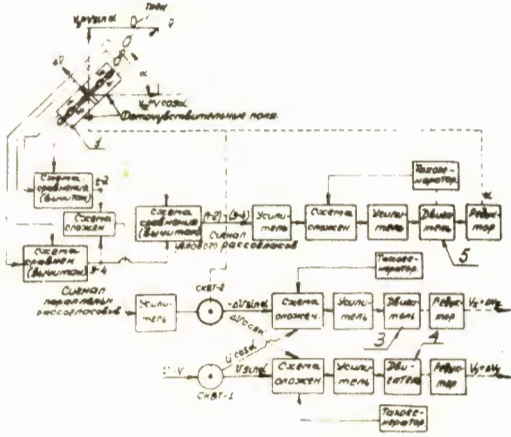


Рис. 19.



Рис. 20.

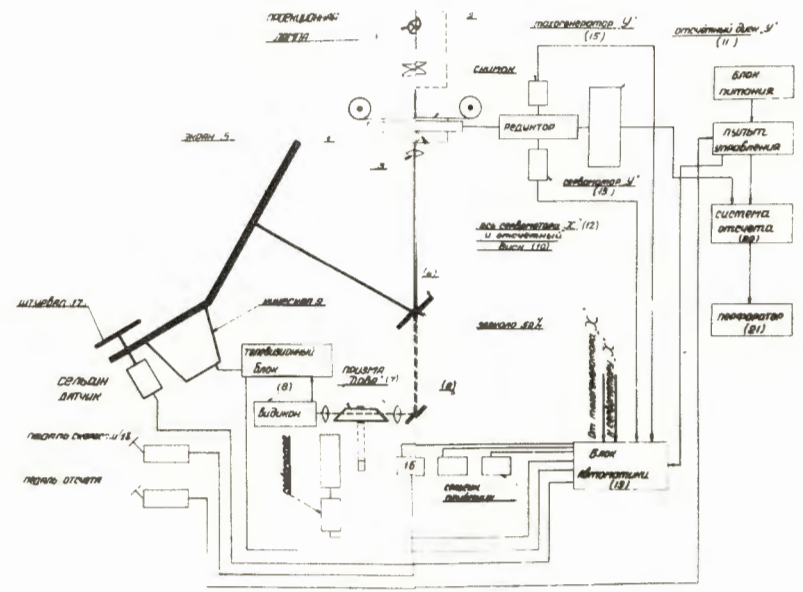


Рис. 21.



Рис. 22.



Рис. 23.

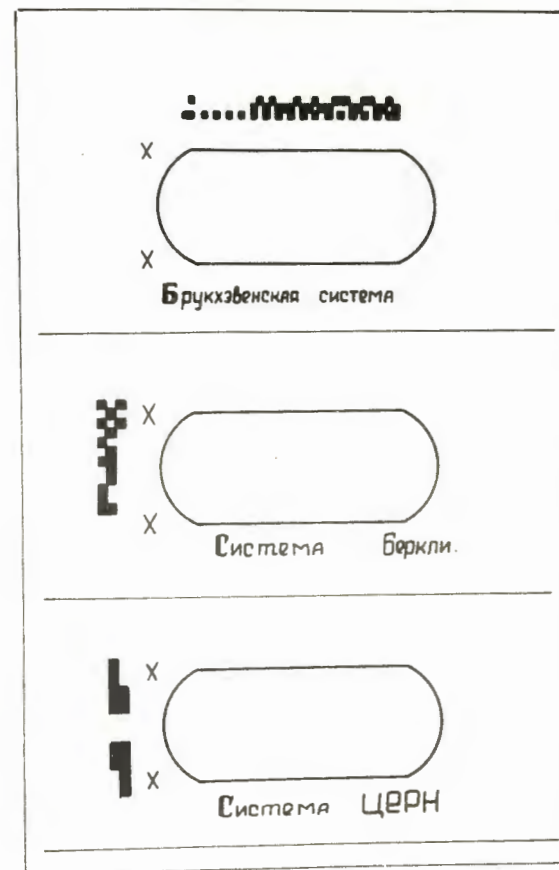


Рис. 24.

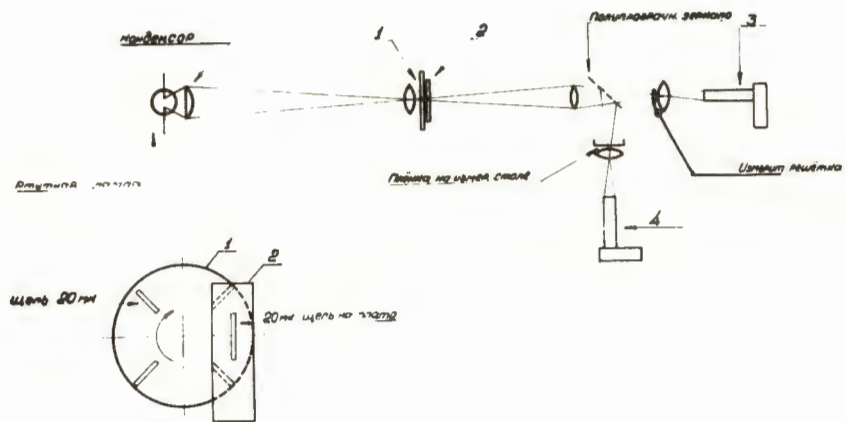


Рис. 25.

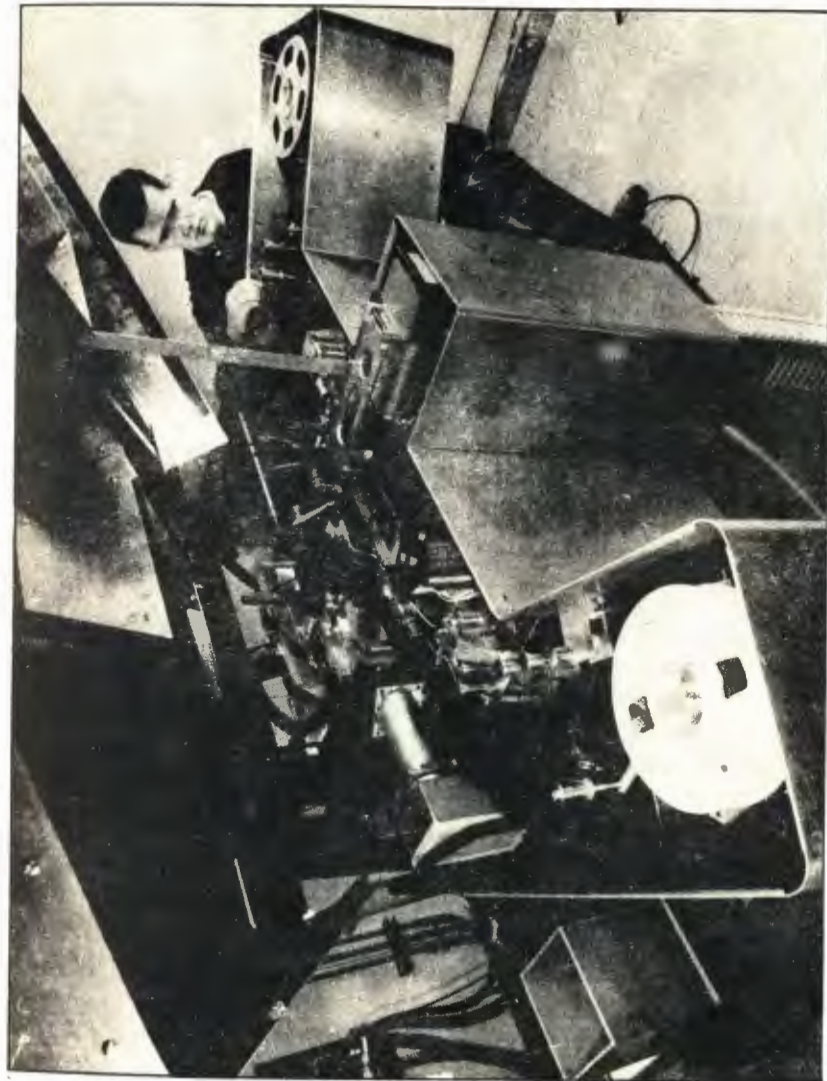


Рис. 26.

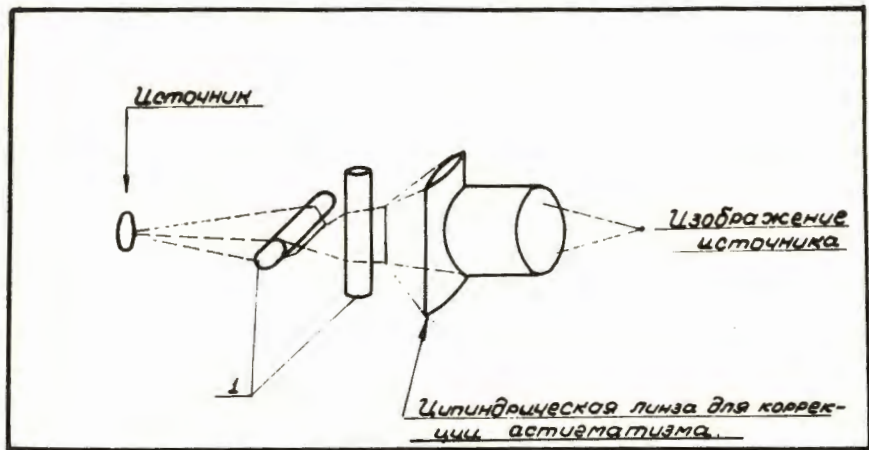


Рис. 27.

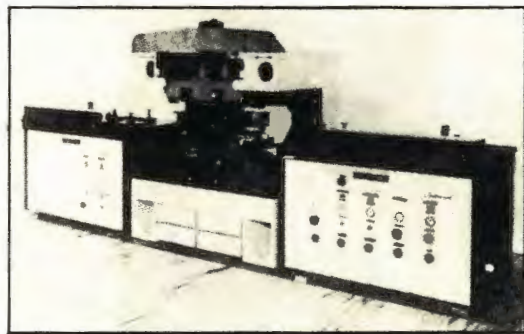


Рис. 28.

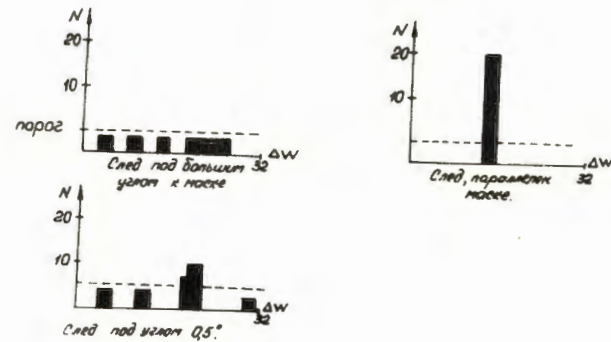
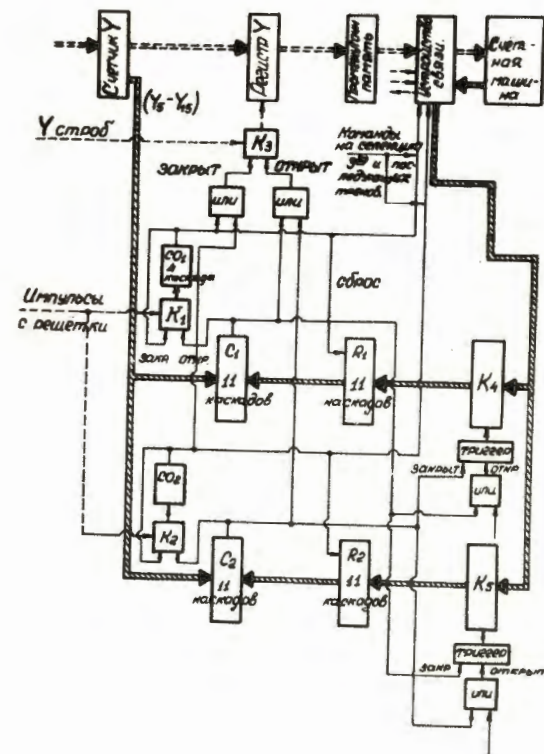


Рис. 29.



Блок-схема внешней селекции.

Рис. 30

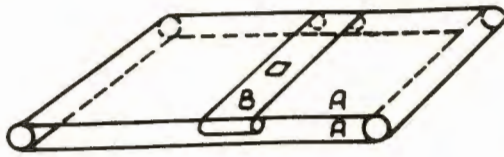


Рис. 31.

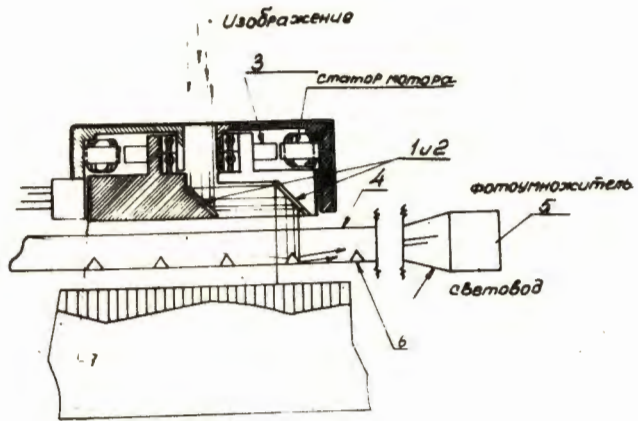


Рис. 32.

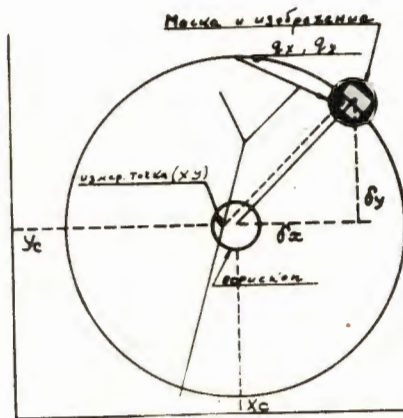


Рис. 33.

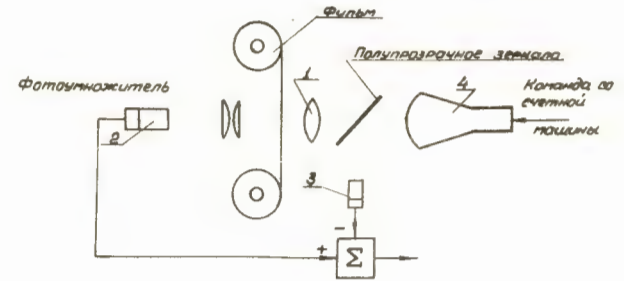


Рис. 34.

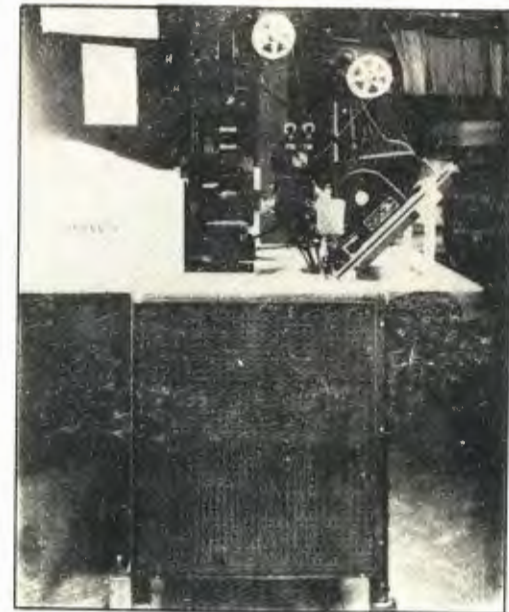


Рис. 35.

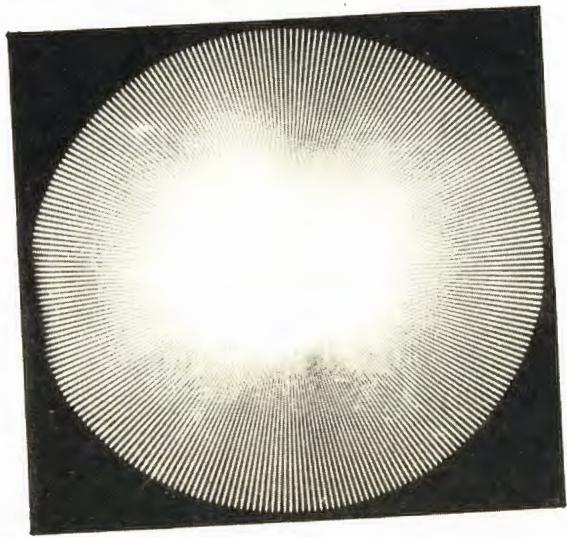


Рис. 37.

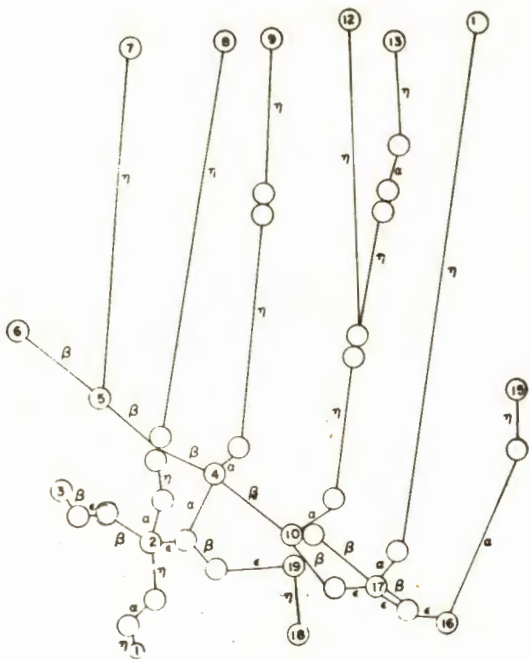


Рис. 38.

П Р И Л О Ж Е Н И Е

Технические характеристики некоторых вычислительных машин /43/

Фирма и модель	Емкость оперативной памяти на ферритовых сердечниках	4-32 тыс.	4-16 тыс.	48	36 лб.зн.	1	24	12	Среднее время доступа, мксек	1 Прерывание программы	Стоимость в тыс. долл-ларов
ИБМ-709		4-32 тыс.	4-16 тыс.	48	36 лб.зн.	1	24	12	есть	есть	1750-3750
ИБМ-7090		32 тыс.	-	80	36	1	4,4	2,2	есть	есть	2000-2500
ИБМ-7094		32 тыс.	-	80	36	1	4	2	есть	есть	3000
КДК-6600	16-262 т.	-	-	-	60	1	1,3	1,3	есть	есть	5000
ЦДП-1	1-16 т.	-	-	64	18	1	10	5	есть	есть	150