

СЗУИ.З
С-376



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

2205

**МАТЕРИАЛЫ II СИМПОЗИУМА
ПО ЯДЕРНОЙ РАДИОЭЛЕКТРОНИКЕ**

Дубна 10-14 ноября 1984 г.

3003/3 4.

2206

МАТЕРИАЛЫ К СИМПОЗИУМУ
ПО ЯДЕРНОЙ РАДИОЭЛЕКТРОНИКЕ

Дубна 10-14 ноября 1984 г.

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

С 10 по 14 ноября 1964 года в Дубне проходил II Симпозиум по ядерной радиоэлектронике, организованный Объединенным институтом ядерных исследований. В работе Симпозиума приняли участие специалисты из ряда организаций Советского Союза и зарубежных стран - участниц Объединенного института. Симпозиум был посвящен вопросам автоматизации обработки экспериментальных данных. Были обсуждены вопросы применения электронных вычислительных машин в физическом эксперименте, а также вопросы автоматизации обработки снимков с пузырьковых и искровых камер.

Обсуждено более 26 докладов, большая часть которых публикуется в настоящем сборнике.

Ответственный за подготовку сборника к печати

В.М.КОТОВ

СО Д Е Р Ж А Н И Е

	Стр.
Об опознавании образов при отборе снимков с треками частиц. И.И.Цуккерман. СССР	5
Автоматы и полуавтоматы для обработки камерных снимков (обзор). Р.Позе. ГДР	11
Установка для автоматической обработки снимков с пузырь- ковых камер. Е.М.Андреев, С.М.Коренченко, Р.Позе, М.И.Попов, Н.С.Толстой, Ху Ча-вей. ОИЯИ.	19
Полуавтомат для обмера снимков с выводом данных на перфокарты. В.П.Анзон, Д.В.Овсов, М.Танимов. СССР	27
Измерительная установка с записью координат на перфокарты. М.В.Стабников, Б.Г.Турухано, В.В.Добырн, И.С.Мищенко. СССР.	37
Автоматизация вывода информации от микроскопа МИГЭ-1. Ф.Г.Лепехин, К.М.Ушаков. СССР	43
Опыт работы с микроскопом МИГЭ-1. А.С.Ассовская, Ф.Г.Лепехин, К.М.Ушаков. СССР.	47
Разработка комплекса полуавтоматических микроскопов для просмотра и измерения различных параметров следов заря- женных частиц в ядерных фотоэмульсиях. В.В.Алябин, О.А.Артамонов, В.Г.Артемьев и др. СССР.	51
Автоматический комплекс дискретного действия для измере- ния фотоснимков с пузырьковых и искровых камер, а также ядерных фотоэмульсий. П.М.Зейдлиц, В.А.Ямницкий, А.Ф.Макаров и др. СССР	63
Системы, использующие для измерения координат треков на снимках пузырьковых камер метод грубого прослеживания и сканирования в узкой зоне вблизи трека. Л.Л.Лихтенбаум. СССР.	71
Обработка снимков с пузырьковых камер на устройствах растрового разложения типа НРД . О.П.Федотов. СССР	85
Измерение координат на просмотрных столах ультразвуковым методом. П.Амбро. ОИЯИ	97
Экспресс-автомат для обработки снимков трековых камер. П.М.Зейдлиц, В.А.Ямницкий, Н.Т.Онопrienко, М.А.Кузьмичев. СССР.	103

Современные системы для автоматической обработки пленок с искровых камер. (обзор). Г.Г.Векслер. СССР	109
Искровые камеры с автоматическим съемом координат искр. Ф.Г.Лепехин, Б.М.Овчинников. СССР	125
Эксперимент, проводимый на электростатическом генераторе совместно с электронно-счетной машиной. П.М.Зейдлиц, С.П.Цитко, В.А.Ямницкий, А.Ф.Макаров, С.А.Жданович, В.В.Рябка. СССР	133
Магнитофонный универсальный статистический анализатор МУСА-6. И.Крыже, СССР	137
Некоторые теоретические проблемы кибернетизации физического эксперимента. Д.Я.Кузьмин. СССР	149
Метод наименьших квадратов переменного веса. П.М.Зейдлиц, И.А.Колтунов, В.А.Ямницкий. СССР	161

СССР

И.И. Цуккерман

Технические и экономические трудности, возникающие при попытке использовать электронно-вычислительные машины (ЭВМ) для автоматического анализа камерных снимков, определяются, в конечном счете, большим объемом сообщений на входе. Число элементов изображения в снимке измеряется миллионами. С каждым элементом принято связывать одну двоичную единицу (бит). Казалось бы, в каждом снимке содержатся миллионы бит.

В действительности это далеко не так. Подобные рассуждения были бы применимы к флуктуационным изображениям, в которых отсутствуют какие-либо статистические связи между элементами. Напротив, реальные камерные снимки характеризуются значительной статистической избыточностью. Но это значит, что для представления таких изображений потребуется гораздо меньшая информационная емкость, чем при обычном поэлементном кодировании, принятом в некоторых системах ввода изображений в ЭВМ. Для того, чтобы сжать сообщение, нужно при вводе изображений в ЭВМ отказаться от поэлементного кодирования, производить на определенном этапе ввода выбор уже не из элементов, а из образов.

Именно так действует зрительная система. В ходе эволюции она оказалась хорошо приспособленной к такому сокращенному описанию изображений, извлечению информации из изображений. На пути от сетчатки к высшим отделам зрительного анализатора сообщения "сжимаются", представляются во все более и более экономной форме. Благодаря этому мозг защищен от потока избыточных сигналов. Попробуем определить, что делает зрительная система лаборанта, которому поручено просмотреть камерные снимки, опознавая образы событий того или иного типа, и оценим, возможно ли техническое моделирование некоторых операций, осуществляемых при опознавании.

Первый этап опознавания осуществляется уже на уровне сетчатки. Система рецептивных полей сетчатки, в каждом из которых центральная зона возбуждения окружена тормозным кольцом, действует как фильтр пространственных частот $/I/$. Здесь относительно усиливаются верхние частоты, подчеркиваются перепады яркости, мелкие детали. В первом приближении можно полагать, что элемент воспринимается как контурный там, где лапласиан от распределения яркости превосходит некоторый порог ограничения. Такая система хорошо адаптируется. Контурные элементы будут выделены, даже если фон заметно неоднороден.

Из статистики изображений известно, что распределение вероятностей переходов резко неравномерно. Второе приближение к энтропии источника, учитывающее это распределение, существенно отличается от первого, вычисленного по данным "одномерной" статистики. Это указывает на большое значение рассматриваемого типа фильтрации. Система рецептивных полей сетчатки представляет собой своего рода декоррелятор. Статистические связи между элементами изображения после преобразования заметно ослабляются. Создаются предпосылки для дальнейшего сжатия сообщения. Такого типа операции легко моделируются в технике. В частности, разработаны и описаны в литературе пространственные фильтры изображений, ослабляющие "низкочастотный" фон, подчеркивающие контуры (см., например, /2/).

Второй этап опознавания - выявление более глубоких статистических связей в изображениях: статистических связей вдоль контура. На этом этапе происходит выделение протяженных объектов на сложном фоне и среди флуктуаций. Для этого надо располагать анизотропным фильтром, который в одном направлении (вдоль контура) ослабляет верхние частоты, а в другом (поперек контура), ослабляет нижние частоты. В проекционной зоне зрительной коры головного мозга животных действительно обнаружены клетки, отвечающие серией импульсов только на появление в их рецептивном поле отрезка контура, ориентированного определенным образом. Как и рецептивные поля сетчатки, эти поля выявляются в прямых электрофизиологических опытах /3/. Опыты ставились на кошках и обезьянах, но нет сомнений, что подобные поля играют важную роль и в зрительной системе человека.

Изучение этих корковых рецептивных полей показало, что по краям протяженной суммирующей области расположены тормозные зоны (рис.1). Это выгодно отличает рецептивное поле от простейшей модели его, уже применяющейся в технике анализа изображений треков, а именно, от линейного фокуса, производящего суммацию в продольном направлении, но не подчеркивающего перепады в поперечном направлении. Такого типа представление камерных снимков использовано, в частности, в системе PEPR /4/. В этой системе изображение считается линейным фокусом, ориентацию которого дискретно изменяют.

В рассматриваемых корковых полях восстанавливаются распавшиеся из-за флуктуаций контуры и вместе с тем существенно подавляются флуктуации. Теперь описание изображений такого типа, как фотографии треков, сводится к совокупности протяженных отрезков, что требует гораздо меньшей информационной емкости, чем описание исходного изображения по элементам.

Следующий этап опознавания - сокращенное описание контурных изображений с точностью, определяемой требованиями получателя. В рассматриваемом нами случае нет необходимости представлять контуры (например, треки частиц) в виде совокупности всех отрезков, составляю-

щих эти контуры. Достаточно, производя декорреляцию контурных изображений, указать "угловые точки" - те точки, где кривизна контура изменяется более, чем на некоторую пороговую величину. Основанием для такого способа декорреляции и сокращенного описания могут служить психологические эксперименты с предсказанием последующего отрезка контурной линии по кривизне предшествующего отрезка /5/. Косвенным подтверждением правильности такого способа являются данные электрофизиологических исследований зрительной покрывки лягушки /6/. Там обнаружены клетки, отвечающие серией импульсов на появление углов в их рецептивном поле.

Точность, с которой глаз оценивает углы, относительно невелика и измеряется градусами (тогда как острота зрения имеет порядок одной угловой минуты). Сложная система контуров описывается как совокупность особых точек - углов и узлов, положение которых и величины углов оцениваются приближенно¹⁾.

Интересно отметить, что гипотеза об описании сложных контурных изображений в виде совокупности простых конфигураций (система "что") с указанием их приближенного пространственного взаимного расположения (система "где") находит подтверждение в клинике локальных поражений головного мозга. На рис. 2 и 3 демонстрируются некоторые примеры того, как больной с очагом размягчения в левой нижней теменной доле воспроизводит на память два рисунка. Относительно сложные рисунки распались здесь на случайно расположенные простые конфигурации. Система "что" сохранилась, система "где" повреждена.

Одна из технических моделей, пригодная для выявления особых точек контуров - линейный фокус, вращающийся вокруг точки, смещенной относительно центра фокуса, - наподобие того, как вращается стрелка часов. Благодаря такому вращению фокуса легко различаются между собой некоторые простые образы, - например, проекции скрещенных линий и пучки линий, исходящих из одной точки и соответствующие действительным событиям.

Та же задача может быть решена и с помощью дискретных систем - логических устройств, на входную матрицу которых подадут сигналы одновременно от группы элементов изображения. Такая матрица последовательно анализирует все поле изображения /8/.

Все операции, о которых говорилось до сих пор, осуществляются детерминированными системами, закрепленными в зрительном анализаторе генетически, в ходе эволюции. Это надо особенно подчеркнуть в связи с нынешней тенденцией преувеличивать роль самообучающихся структур в технике опознавания. Перцептроны с полем рецепторов, случайно соединенных с ассоциативными клетками, были бы неэффективны из-за того, что обучение производилось бы,

1) Разумеется, это - весьма упрощенное решение задачи сокращенного описания при опознавании. В частности, мы не рассмотрели здесь способов отнесения отрезков к той или иной траектории методов интерполяции и экстраполяции треков. Некоторые соображения относительно этих методов имеются, например, в работе /7/.

начиная со стадии, когда сохраняется вся статистическая избыточность. Число измерений в пространстве сообщений вначале равно числу рецепторов, а области, все точки которых принадлежат данному зрительному образу, "некомпактны". Расстояния между точками не позволяют судить о "близости" изображений.

Строго говоря, операции контрастирования и адаптации, выделения протяженных отрезков, выделения простых конфигураций (узлов, углов), сейчас закрепленные генетически, тоже возникли в результате обучения, которое принято называть эволюционным обучением. Если мы начинали бы обучать некоторую систему распознавания изображений заново, то указанные операции неизбежно появились бы и были бы структурно закреплены. Но незачем это делать каждый раз. Здесь применимо известное изречение: "... Наука сокращает нам опыты быстротекущей жизни". Как и в зрительной системе, в технической системе рационально начинать обучение после того, как произведены указанные операции. Пространство сообщений (образов) будет иметь теперь значительно меньшее число измерений, и при надлежащем задании этих измерений (выборе признаков образов), области, относящиеся к данным образам, становятся компактными.

Можно задавать определенные признаки количественно, как это делает сейчас, давая инструкцию лаборанту о выделении кадров, где отдельные углы и узлы контурных изображений располагаются один относительно другого более или менее определенным образом. Устройство ввода должно будет лишь выделить контурные элементы, протяженные отрезки, углы и узлы, приблизительно характеризовать их количественно, а ЭВМ, куда вводятся эти данные, производит выбор.

Однако можно и не определять признаки заранее, а, используя рассмотренный сокращенный способ ввода (описания) контурных изображений, выделить области в пространстве сообщений, относящиеся к интересующим получателя образам. Сейчас разработаны некоторые методы обучения без предварительного выделения признаков, которые можно будет, по-видимому, использовать и в данном случае.

После отбора кадры поступают для тщательного количественного анализа в устройства, уже не имеющие отношения к теме данного доклада, касающегося лишь зрительных образов в обычном понимании этого термина. Однако, по-видимому, в дальнейшем удастся создать систему автоматического опознавания "физических образов" с учетом данных точных количественных измерений, а в конечном счете, - и самообучающуюся систему для обнаружения новых явлений.

Л и т е р а т у р а

1. В.Д. Глезер и И.И. Цуккерман, "Информация и зрение", изд. АН СССР, 1961.
2. Н.И. Бердин, И.И. Цуккерман, Т.М. Цыкунова, И.Б. Шерстнев, "Техника кино и телевидения", 1962, № 9.
3. D. Hubel, "Am. J. Ophthalm.", 1958, 46, 110.
4. Тафт и др. "Доклад на Международной конференции по физике высоких энергий", Дубна, 1964.
5. F. Attneave, Phys. Rev., 1954, 61, 183.
6. I. Lettvin et al. "Proc. IRE", 1959, 47, 1940.
7. Де Лотто и др., Доклад на Международной конференции по физике высоких энергий, Дубна, 1964.
8. В. McCormick, Доклад на 18-й ежегодной национальной конференции США по счетным машинам, 1963.

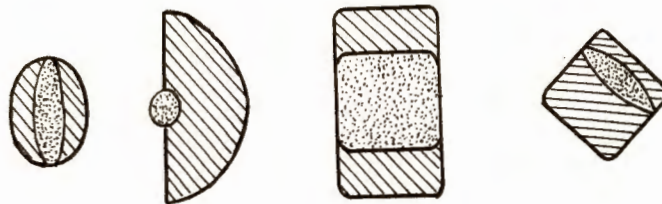


Рис. 1. Схематическое представление корковых рецептивных полей.

Принцип работы

Современные пузырьковые камеры, работающие в пучках мощных ускорителей, способны давать ежегодно несколько миллионов фотографий. На большинстве из этих фотографий зафиксированы события, представляющие интерес для физиков-экспериментаторов и подлежащие обработке.

Обработка включает в себя несколько этапов:

1. Просмотр пленок и отбор кадров, содержащих интересные события.
2. Измерение координат точек следов частиц на фотографиях.
3. Восстановление пространственной картины, идентификация частиц и определение импульсов и углов разлета.
4. Определение физических свойств как отдельного события, так и целого набора событий.

В данном сообщении мы будем рассматривать второй процесс - измерение координат точек.

Для максимального использования возможностей пузырьковых камер требуется точность измерения координат на фотографии в несколько мк. Поэтому первые измерения такого типа велись с использованием микроскопов. Производительность при этом была очень низка. Например, для измерения всех следов одной 4-лучевой звезды (одной стереопары) тратилось примерно 2,5 часа. Для ускорения процесса измерения были созданы полуавтоматы и автоматы.

В полуавтомате сохраняется ручная наводка на отдельные точки, а координаты считываются автоматически и выдаются по сигналу от оператора на перфоленту или перфокарту. Наводка ведется по измерительному экрану, с увеличением порядка 30-50х. Такие полуавтоматы облегчают труд оператора и увеличивают производительность в 5-10 раз. Точность таких установок равна 2-3 мк.

В автоматах помимо измерения координат автоматизировано центрирование по треку и слежение за траекторией частицы. Точность таких приборов в статическом режиме равна 1-3 мк, в динамическом - в пределах 3-8 мк.

Таким образом общим для обоих приборов является система отсчета, а для автоматов прибавляется еще система центрирования и слежения.

За последние годы был создан ряд таких приборов. Первый автомат был сооружен в Радиационной лаборатории Калифорнийского университета Дж. Франком (1957). В настоящее время автоматы имеются в других американских лабораториях, в ЦЕРНе и во многих западно-европейских

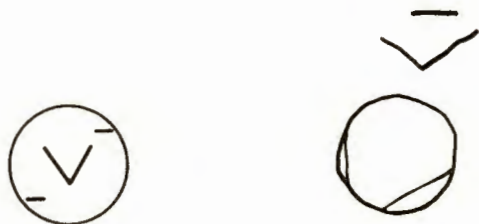
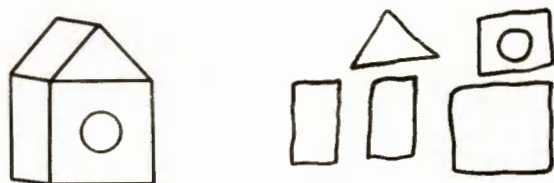


Рис. 2 и 3. Примеры того, как больной с очагом размытия в левой нижней теменной доле воспроизводит на память два рисунка.

институтах. В наших странах были созданы автоматы в Дубне (ЛВЭ и ЛЯП), в Москве (ИТЭФ), был совместно разработан прибор венгерскими и польскими физиками, построен автомат в Берлине. Полуавтоматы имеются в Дубне и в Берлине и строятся в Бухаресте. Ниже мы рассмотрим отдельные узлы этих приборов.

Датчики систем отсчета

Задачей датчиков системы отсчета является преобразование линейных перемещений в последовательности импульсов, которые используются системой отсчета для определения координат точек. В начальной стадии разработок применялись два типа датчиков. В первом для получения импульсов при передвижении фотопленки используются дисковые шифраторы, которые крепятся на микрометрических ходовых винтах. Преимущество таких датчиков - сравнительная простота изготовления и надежность работы после наладки. Недостатками являются большие требования к ходовым винтам, ошибки, вызванные износом и "мертвым" ходом при изменении направления передвижения. Поэтому в последнее время в основном применяется второй тип датчиков, в котором используется эффект муаровых полос, получаемый при наложении друг на друга двух дифракционных решеток. При передвижении одной решетки относительно другой полосы перемещаются в направлении перпендикулярном движению решетки. Если направление этого движения перпендикулярно штрихам решетки, то полосы перемещаются вдоль спектральных порядков. Один такой порядок, сфокусированный на фоточувствительном элементе (например, на фотодиоде), на котором модуляция освещенности вызывает изменение фототока, вызывает сигнал приблизительно синусоидальной формы, который регистрируется и преобразуется электронной схемой. Для определения направления передвижения используются два фоточувствительных элемента, сдвинутые по фазе.

Датчики, построенные на этом принципе, имеют ряд преимуществ. Так как эти датчики непосредственно не соединены с перемещаемым объектом, точность изготовления и люфты в винтах не влияют на точность отсчета. Эта система очень удобна для полной автоматизации процесса измерения. Так как между решетками находится воздушный промежуток, то эта система не создает дополнительное трение. Недостатком можно назвать то обстоятельство, что расстояние между нарезанными сторонами решеток мало (10-100 мк) и крупные пылинки могут поцарапать решетки, попадая в этот промежуток.

В установках ЛВЭ, ИТЭФ и Цейтэн используются датчики, разработанные в ИТЭФ. На рис. I показана принципиальная схема этого датчика.

Другой вариант датчика был изготовлен заводом Карл Цейсс. Преимуществом этого варианта является отсутствие узкого промежутка между решетками, так как тут накладывается друг на друга решетка и изображение другой решетки. К сожалению, заводом было изготовлено только несколько экземпляров, которые имеют ряд, быть может, устранимых недостатков как, например,

чувствительность к изменению температуры и к вибрациям.

Вообще можно сказать, что наладка датчиков систем отсчета, работавших на принципе муаровых полос, в настоящее время в лабораториях хорошо освоена и не доставляет особых трудностей.

Системы отсчета

Задачей системы отсчета является считывание сигналов, поступающих от датчика, причем при перемещении в одном направлении сигналы должны суммироваться, в обратном - вычитаться. Система отсчета состоит из 4-х блоков:

1. Входной блок.
2. Реверсивные счетчики.
3. Промежуточная память.
4. Система вывода данных.

Входной блок формирует импульсы и управляет режимом работы реверсивного счетчика. Как правило, в датчиках применяются 4 фототриода, смещенные по фазе на 90° друг относительно друга, причем первый и третий фототриоды присоединены к одному дифференциальному усилителю и, соответственно, 2 и четвертый - к другому. Этой схемой компенсируются разные уходы при работе фототранзисторов. После дифференциальных усилителей синусоидальное напряжение преобразуется триггерами, потенциально связанными с дифференциальными усилителями, в прямоугольные импульсы. Эти импульсы дифференцируются и разделяются диодными матрицами на импульсы прямого и обратного счета. Эти импульсы поступают на триггеры прямого и обратного счета (знаковые триггеры) и после задержки - на счетный вход. Эти схемы во всех автоматах и полуавтоматах похожи. В некоторых приборах (ИТЭФ, Венгрия, Польша) используется ламповая электроника, а в большинстве - транзисторная техника.

Схема полуавтоматов ОИЯИ несколько отличается тем, что импульсы от триггеров Шмидта после дифференцирования прямо поступают на счетный вход без задержки. Управление режимом работы реверсивного счетчика такое же как и в вышеописанном варианте. При этом счетчиком считается при перебросе один лишний импульс, который после снова вычитается. Такая схема позволяет получить большую скорость счета даже если в реверсивных счетчиках используются диодные ключи.

В качестве реверсивных счетчиков используют обычно двоичные счетчики, отдельные разряды которых соединяются через диодные ключи, которые регулируют прямой и обратный счет.

Для вывода координат во время работы без остановки применяется промежуточная память на триггерах или, в некоторых приборах, на ферритах.

Вывод данных определяется типом счетной машины. Обычно информация выдается на перфоленту или перфокарты.

Если каналы отсчета координат различных приборов для автоматических измерений координат треков близки друг другу по принципу работы, то системы автоматического центрирования и слежения разных автоматов довольно сильно отличаются друг от друга. Ниже мы рассмотрим некоторые варианты этих схем.

I. Франкенштейн:

Фильм крепится на подвижном столике микроскопа. Изображение снимка с увеличением в 12 раз проецируется на экран, обрабатываемый участок проецируется на второй экран с увеличением в 30 раз. Датчик автоматического сопровождения - вращающийся диск с радиальными щелями. Призма Дове используется для совмещения от руки направления изображения трека со щелью. Для отсчета использовались сначала дисковые шифраторы, позже дифракционные решетки. Информация выдается на перфоленту. Общий вид прибора изображен на рис. 2.

2. АОС (ЛЯП):

Фильм закрепляется на подвижном столике. Изображение с увеличением в 10 раз проецируется на экран, обрабатываемый участок с увеличением в 50 раз также проецируется на этот экран. Для отсчета координат используется оригинальная система "Ферранти". Для автосопровождения используется "статический" датчик, который обеспечивает полное сопровождение также по углу. Вывод данных на перфоленту (1).

3. АПС-1М (ЛВЗ) (см. (2) и (3)).

Фильм закрепляется на подвижном столике. В системе отсчета применен фотоэлектрический датчик, установленный на микрометрических винтах. Измеряемый участок снимка через призму Дове проецируется на мишень трубки "Видикон". Применена промышленная телевизионная установка ПТУ-ОМ, сигналы с которой используются для автосопровождения. Телевизионный экран с увеличением в 140 раз используется как индикатор сопровождения. Призма Дове при слежении автоматически поворачивает изображение трека на телевизионном экране в вертикальное направление. Вывод данных на перфоленту.

4. ИТЭФ (см. (4)).

Пленка крепится на передвижном столике. Отсчет координат производится с помощью дифракционных решеток. В этой системе имеется автоматическое сопровождение на основе вращающейся щели с фотоумножителем. Сопровождение трека производится от руки. Вывод координат точек на перфокарты. Этот прибор целиком собран на электронных лампах.

5. IEP (см. 3, 6, 7, 8)

В этом автомате пленка покоится, а объектив укреплен на подвижном столике. Датчиком сигналов ошибок для автосопровождения служит 4-гранная призма, вращающаяся вокруг оси, параллельной направлению щели.

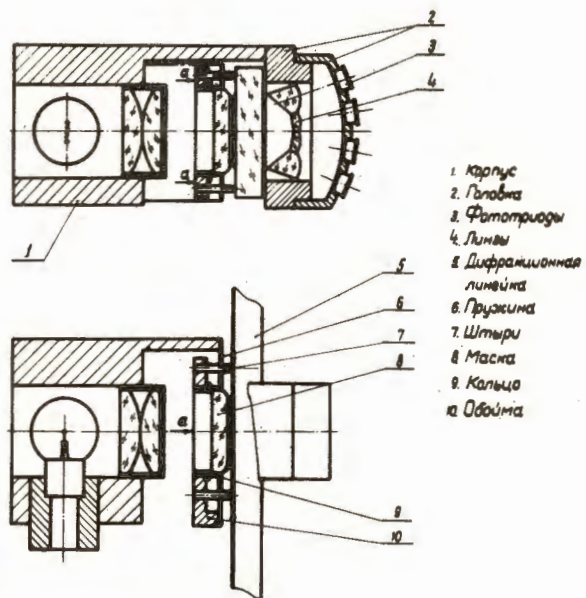
Разные типы полуавтоматов, в которых наводка на точки треков, производится от руки по измерительному экрану с большим увеличением или по сигналу ошибки, получаемому на электроннолучевой трубке, разработаны в ряде лабораторий. Так, в ЛВЗ ОИЯИ, в Берлине (ГДР) в Венгрии, в Казахстане и в Румынии имеются полуавтоматы, собранные на основе микроскопа УИМ-21. Для отсчета используются дифракционные решетки. Данные выводятся в соответствии с типом счетной машины на перфокарты или на перфоленту. Имеется еще полуавтомат, построенный совместно польскими и венгерскими физиками. По принципу он очень близок к "IEP". Существует промышленный полуавтомат французского завода "SOM" и американский полуавтомат "Гермес".

Опыт работы с автоматами и полуавтоматами во всех лабораториях показал, что в среднем для измерения одного 4-лучевого события требуется время от 16 до 20 минут. При этом нет существенной разницы между автоматами и полуавтоматами. Уменьшить это время удалось лишь путем автоматизации поиска кадра, установки на маркерные отметки, путем автоматизации ввода служебных знаков и др. При этом получается добавочное сокращение времени измерений в 1,5-2 раза, а установки существенно усложняются. Таким образом, один прибор за год сможет измерять 20-25 тыс. событий, а современные пузырьковые камеры способны выдавать за год $1 - 5 \cdot 10^6$ событий. Поэтому во многих лабораториях ведутся поиски новых методов измерений.

Эти вопросы будут рассматриваться в других работах, представленных на данном симпозиуме.

Л и т е р а т у р а:

1. Е.М. Андреев и др. ПТЭ № 3 (1961 г.)
2. V.I. Almazov et al. Nucl. Instruments and Methods 20 (1963)
3. Каржавин В.А. Препринт ОИЯИ, № 1552, Дубна 1964 г.
4. Л.Л. Лихтенбаум и др. ПТЭ № 3, 32, 1963 г.
5. Б.Н. Моисеев и др. ПТЭ № 3, 40, 1963 г.
6. G. Van Dardel, Y. Coldschmidt-Clermont and E. Iselin. Nuclear Instruments 2(1958).
7. International Conference on High-Energy Accelerators and Instrumentation CERN, 1959, Y. Coldschmidt-Clermont p. 523-531.
8. Proceedings of an International Conference on Instrumentation for High-Energy Physios. LRL Berkely 1960 Interscience Publishers, New York-London p.223-261



Узел дифракционных решеток.

Рис. 1. Узел дифракционных решеток.



Рис. 2. Общий вид автоматической установки "Франк-Герц".

УСТАНОВКА ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СНИМКОВ С ПУЗЫРЬКОВЫХ КАМЕР

ОИЯ

Е.М. Андреев, С.М. Коренченко, Р.Позе,
М.И. Попов, В.В. Смирнов, Н.С. Толстой,
Ху Ча-вей

Описывается установка для автоматической обработки снимков пузырьковых камер. Вся электронная аппаратура сделана на полупроводниках. Для центрирования используется метод разделения изображения с помощью призм.

Последующая модуляция световых потоков с частотой 400 гц позволяет простым способом получить необходимые сигналы рассогласования. Точность системы отсчета 2,5 мк на пленке. Скорость обмера на пленке до 3 мм/сек. Данные получаются в виде, пригодном для ввода в электронную счетную машину.

Установки для автоматической обработки снимков с пузырьковых камер получили в последнее время широкое распространение.

В описываемом автомате точность отслеживания по треку обеспечивается оптической системой, а вся электроника следящей части устройства от входа и до сервомоторов работает только на переменном сигнале одной частоты (400 гц). Общий вид прибора и детали внутреннего устройства представлены на рисунках 1 и 2.

На рис.3 приведена схема прибора. Пленка (3) освещается световым потоком, создаваемым эллиптическим отражателем (1). С помощью объектива (16) и зеркала (4) увеличенное в 10 раз изображение пленки проецируется на большой экран (15), расположенный перед оператором. Обрабатываемая часть пленки дополнительно освещается с помощью конденсора (2). Эта часть изображения проходит через полупрозрачное отверстие в центре зеркала (4) и затем разделяется на два канала на полупрозрачной грани крышеобразной пентапризмы (9). Один канал используется в дальнейшем для получения сигналов рассогласования с фотодатчика (12). Другой канал используется для получения на дополнительном экране с помощью объектива (14) добавочно увеличенного в 5 раз изображения отслеживаемой части трека. Применение крышеобразной пентапризмы позволяет изображение, увеличенное в 50 раз, привести в соответствие с изображением на большом экране. Это представляет значительное удобство по сравнению с системами, использующими телевизионное увеличение, в которых увеличенное изображение вращается вместе с вращением фотодатчика. Оптический клин (13) устраняет хроматизм в прошедшем через полупрозрачную грань пентапризмы световом потоке. Этот световой поток дает изображение отслеживаемой части трека на фоточувствительном устройстве.

Для удобства работы оператора на оба экрана проецируется световая марка. Положение изображения кадра относительно световой марки на экране соответствует положению того же

Образения относительно фотоустройства. Для проектирования марок на экраны используется светитель (II), маска марки (IO), связанная по повороту с фотоустройством, а также призмы (8) и объективы (5),(7).

Световой поток, прошедший на фотоустройство и давший там изображение трека, делится в фотоустройстве системой прямоугольных призм на 4 равные части, как показано на рис.4. Затем 4 световых потока (A_1, A_2, B_1, B_2) попадают на диск с двумя секторными вырезами, как показано на рис.5. При вращении диска происходит попарно противофазная модуляция световых потоков (рис.6). После модуляции диском другая система призм собирает каждую пару противофазно промодулированных световых потоков на соответствующие фотоумножители (I7) (рис.3).

Суммарный световой поток на один из фотоумножителей (A), в том случае, когда потоки различаются, представлен на рис.6. Ясно, что в том случае, если потоки A_1 и A_2 равны, на входе фотоумножителя нет переменного светового потока. Благодаря этому в описываемом приборе нет уходов нуля, обязанных нестабильности ФЭУ и электронных схем. При смещении изображения трека относительно линии раздела первых призм (рис.4) наступает разбаланс световых потоков, и на выходе ФЭУ появляется переменный сигнал. Его частота (400 гц) определяется скоростью вращения модулирующего диска. При этом амплитуда и фаза переменного сигнала находятся в однозначном соответствии с величиной и направлением смещения. Таким образом, сигналы ошибки получают сразу в виде, пригодном для управления сервомоторами. При этом точность и стабильность центрирования обеспечивается оптической системой, а электронная часть упрощается, что повышает надежность установки.

Сумма и разность сигналов, поступающих с двух ФЭУ, являются сигналами параллельного и противоположного смещения трека. Принципиальное устройство следящей части установки мало отличается от уже применявшейся /1/. В системе используются двигатели с полым ротором, работающие на частоте 400 гц. Опорная частота получается от фотодиода, подсвечиваемого откалиброванной лампочкой через модулирующий диск.

В описываемом устройстве предусмотрен ручной перевод измерительного столика. Такой перевод осуществляется путем введения в цепь управления сервомоторами дополнительных электрических сигналов. Сигналы получают от тахогенераторов (по одному на каждую координату), выдаваемых оператором при помощи простых приводов. Легко показать, что при этих условиях вращение ручки привода однозначно связано с перемещением измерительного столика. Такое решение позволяет гибко и просто менять "редукцию" в зависимости от того, необходим ли быстрый перевод измерительного столика или точный подвод к выбранной точке при ручном измерении. Для отсчета перемещений измерительного столика используются дифракционные решетки. В целом блок-схема и основные параметры системы отсчета мало отличаются от использованной в работе /2/. Цена деления системы отсчета 2,5 мк. Данные для электронной счетной машины выводятся на бумажную ленту с помощью перфоратора ленточного типа.

Все элементы электронной аппаратуры выполнены на полупроводниках. При монтаже электронных схем принята блочно-ячеечная структура, облегчающая монтаж, наладку и эксплуатацию аппаратуры.

На установке можно обрабатывать пленку шириной до 80 мм. Скорость обработки до 3 мм/сек. Точность измерения координат ~ 3 мк.

ЛИТЕРАТУРА

1. Е.М. Андреев, П. Гирш, И.Б. Зарубин, Г.М. Кадыхов и др. Proc. Intern. Conf. on High Energy Accelerators and Instrumentation - CERN 59.
2. Е.М. Андреев, П. Гирш, И.Б. Зарубин, Г.М. Кадыхов и др. ИТЭ, 1961, 3, 52.

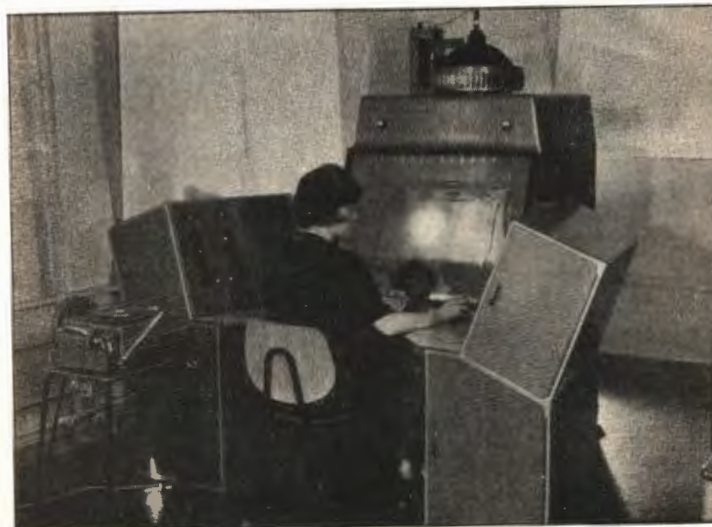


Рис.1. Общий вид установки.

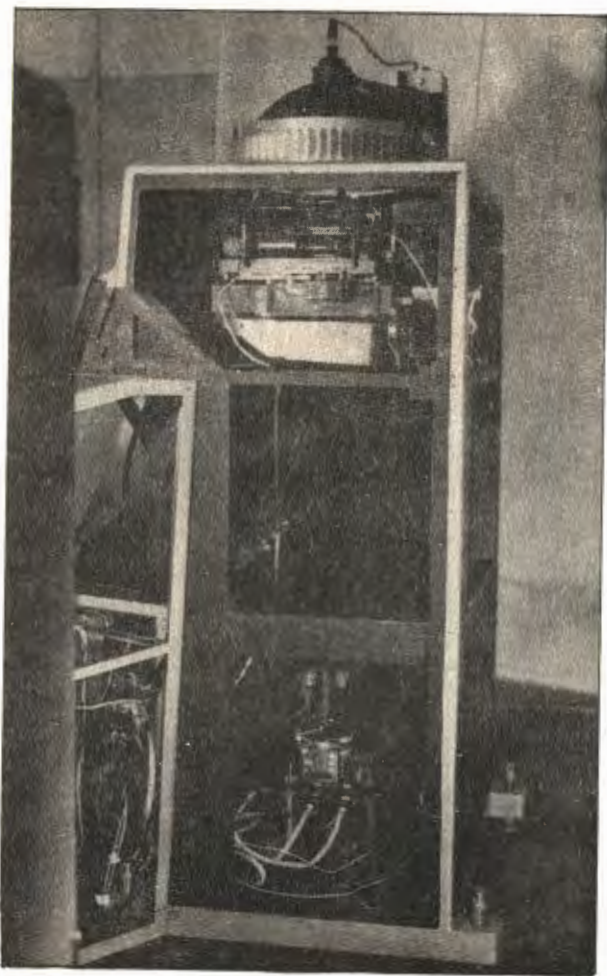


Рис.2. Внутреннее устройство установки.

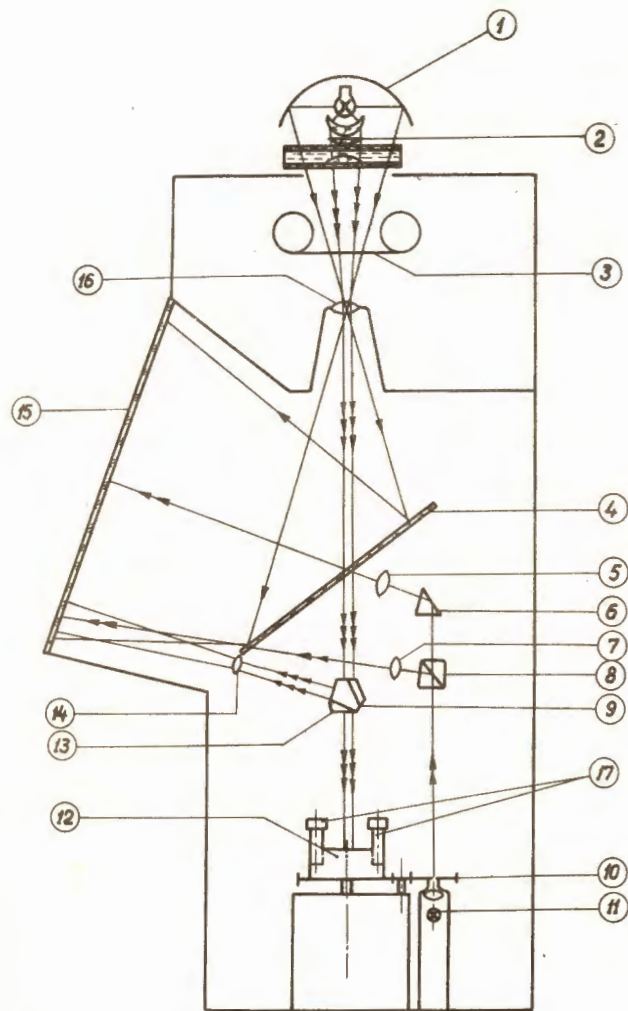


Рис.3. Схема установки.

I - осветитель, 2 - конденсатор, 3 - фотоленка,
 4 - зеркало, 5, 9, 14, 16 - объективы, 6, 8 - призмы,
 9 - крышеобразная пентапризма, 10 - маска марки,
 11 - осветитель, 12 - фоточувствительное устройство,
 13 - оптический клин, 15 - экран, 17 - ФЗУ.

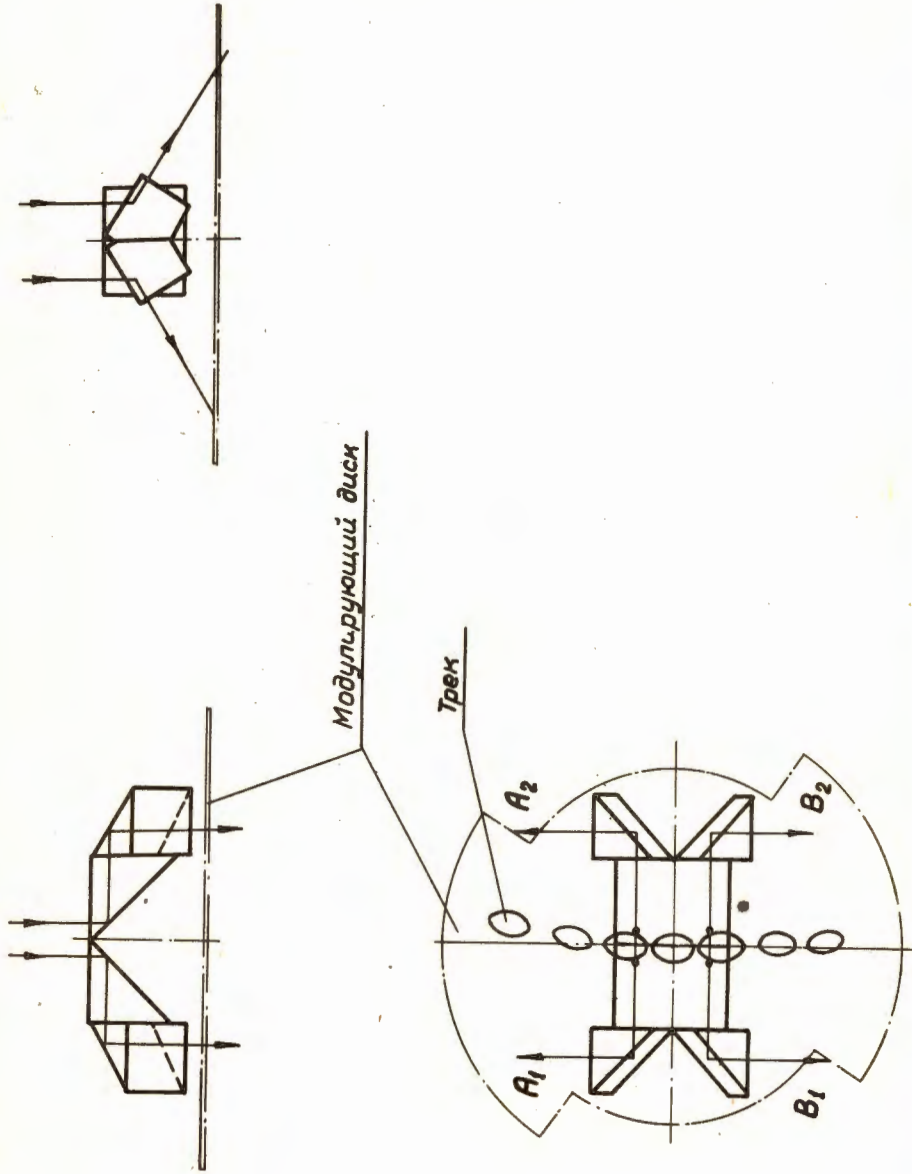


Рис.4. Схема оптического разделения световых потоков перед модулирующим диском.

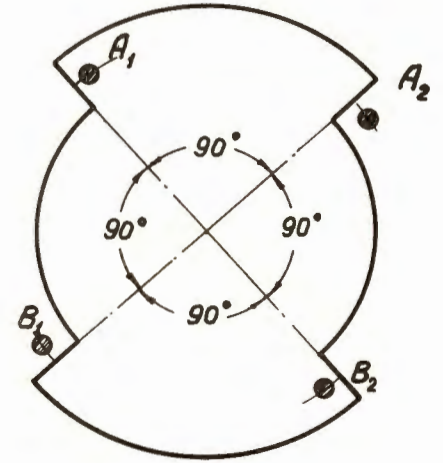


Рис.5. Модулирующий диск.

ПОЛУАВТОМАТ ДЛЯ ОБМЕРА СНИМКОВ С ВЫВОДОМ ДАННЫХ НА
ПЕРФОКАРТЫ

СССР

В.П. Анзон, Ю.В. Овсов,
М.А. Ташимов.

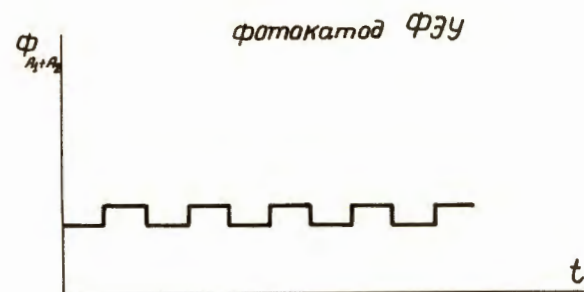
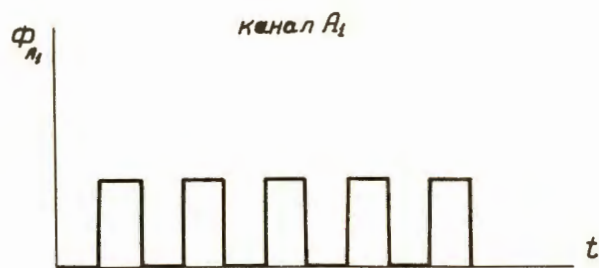


Рис.6. Световые потоки Φ в каналах A_1 и A_2 после модуляции и их сумма на фотокатоде ФЗУ.

Описывается полуавтоматическая установка, предназначенная для обмера снимков с пучковых камер. В основу её положена разработка ОИЯИ (1), а также использован опыт создания аналогичных устройств в ИТЭФ (2) и ИАЭ (2).

Конструктивно полуавтомат выполнен в виде трех основных блоков: а) микроскоп УИМ-2И с лентопротяжным механизмом и фотодатчиками, установленный на стол, в котором смонтирована электронная стойка; б) пульт управления; в) перфоратор. Функциональная блок-схема полуавтомата приведена на рис.1.

Обрабатываемая пленка закрепляется на бобиных лентопротяжного механизма (ЛПМ), установленного на измерительном столике микроскопа. ЛПМ позволяет перемещать пленку как механически, так и вручную. Реверс лентопротяжного механизма осуществляется кнопками "вперед" и "назад" на пульте управления. Прижим пленки при измерении производится электромагнитом, автоматически срабатывающим как только прекращается движение пленки.

Датчиками координат являются электронно-оптические преобразователи линейных перемещений с дифракционными решетками. Используются дифракционные решетки с $\rho = 100$ штрихов/мм.

Световой поток, проходящий через дифракционные решетки, собирается цилиндрической линзой, вдоль яркой полосы расположены чувствительные элементы датчики - фотодиоды (рис.2). При горизонтальном смещении одной дифракционной решетки относительно другой происходит перемещение интерференционных полос в фокальной плоскости цилиндрической линзы в вертикальном направлении. В результате количество света, попадающего на фотодиоды, периодически изменяется. Соответствующим образом изменяется и внутреннее сопротивление каждого фотодиода. Сопротивление затемненного фотодиода порядка сотен ком, а освещенного - практически равно нулю. Если отрегулировать период интерференционных полос Δ так, чтобы $\Delta = 4\ell$, где ℓ - расстояние между соседними фотодиодами, то выходное напряжение датчика будет изменяться так, как показано на рис.3. Выходные импульсы сдвинуты по фазе друг относительно друга на 90° . Фронты импульсов соответствуют времени перехода фотодиода в насыщенный режим.

Шаг интерференционных полос определяется приближенно выражением $\Delta \approx \frac{d}{\theta}$, где d

- шаг решетки, θ - угол наклона штрихов одной решетки относительно другой, и может регулироваться поворотом маски относительно неподвижной решетки.

Амплитуда сигналов на выходе зависит от глубины модуляции светового потока, проходящего через дифракционные решетки, которая, в свою очередь, для данных решеток определяется расстоянием h между ними. Приблизительно оптимальное значение этого расстояния равно $h_{opt} \approx \frac{d^2}{\lambda}$, где d - шаг решетки, λ - длина волны, соответствующая максимуму чувствительности фотодиодов. В нашем случае

$$h_{opt} \approx \frac{10}{0,45} = 70 \text{ мкм.}$$

Расстояние между решетками фиксируется штифтами подвижной системы, в которой закреплена маска, и сохраняется постоянным при перемещении вдоль всей решетки.

Электронно-оптический датчик на фотодиодах, выполненный на приведенной схеме, обеспечивает получение импульсов большой амплитуды и отличается при этом высокой температурной стабильностью, нечувствительностью в широких пределах и изменению напряжения. Действительно, как видно из приведенных рисунков, амплитуда сигналов на выходе изменяется примерно от величины напряжения источника питания до 0. Привязка амплитуды импульсов к постоянному нулевому уровню практически исключает явление дрейфа при измерении.

Элементы конструкции фотодатчика просты в изготовлении, сборка не требует высокой точности. Возможность регулировки светового потока, попадающего на каждый фотодиод, позволяет использовать в датчике фотодиоды с большим разбросом параметров.

Эквивалентное выходное сопротивление фотодатчика порядка нескольких сотен ком, и это требует в случае схемы на полупроводниках введения определенных элементов согласования сопротивлений. Таким элементом в описываемой установке является эмиттерный повторитель на составном триоде (рис.4). Далее сигнал усиливается (Т-5) и подается на триггер Шмидта (Т-6, Т-7), который формирует крутые фронты перепадов напряжения при любой скорости перемещения кареток микроскопного стола. Это обеспечивает надежный запуск триггера блока определения знака.

При перемещении каретки на каждые 10 мк электронная схема вырабатывает 4 рабочих импульса. Подсчет числа импульсов ведется реверсивными двоичными счетчиками. Напряжение реверса вырабатывается в ячейке определения знака.

В полуавтомате предусмотрен вывод результатов измерений координат треков на 80-колонные перфокарты для последующей обработки на ЭЦВМ. Вывод на перфокарты значительно облегчает обращение к данным, позволяет с помощью стандартных устройств рассортировать анализируемые события по определенным признакам до ввода на ЭЦВМ, вносить исправления и, наконец, использовать для расчетов любую серийную ЭЦВМ с большим быстродействием.

Перфорация карт производится входным перфоратором к машине М-20. Использование перфоратора такого типа дает возможность осуществить считывание и запись со всех разрядов счетчиков каналов X и Y одновременно. При этом существенно упрощается схема выхода и схема пульта управления полуавтомата по сравнению с аналогичными схемами установки ОИЯИ (см./I/)

Функциональная блок-схема вывода данных приведена на рис.5. Импульс записи подается одновременно на все усилители записи счетчиков X и Y и переносит в регистр данные о состоянии всех пересчетных ячеек ("0" или "1"). Принципиальная схема ячейки регистра для одного разряда приведена на рис.6. Чтобы вызвать срабатывание реле Р-1, короткий положительный импульс, снимаемый с нагрузками R_2 усилителя записи Т-1 (если счетная ячейка находилась в состоянии "1"), растягивается одновибратором Т-2 - Т-3 до 50 мсек. С одновибратора отрицательный импульс подается на базу Т-4, работающего в ключевом режиме, и открывает его. Реле Р-1 включенное в цепь коллектора Т-4, срабатывает и одной парой своих Н.Р. контактов становится на блокировку, а через другие контакты подает - 30 в на соответствующий пробивной электромагнит перфоратора.

Считанная информация хранится в регистре до тех пор, пока не произойдет пробивка перфокарты. Для того, чтобы после пробивки вернуть регистр в исходное состояние, т.е. обесточить его реле, в кулачковую коробку перфоратора введен дополнительный кулачок Г-II. Нормально замкнутые контакты кулачка Г-II включены последовательно в цепи самоблокировки всех реле регистра и размыкаются на короткое время в конце рабочего цикла перфоратора. В результате к концу рабочего периода регистр оказывается подготовленным к приему новой информации.

Принципиальная схема пульта управления приведена на рис.7. На пульте сосредоточены органы управления электронной схемой полуавтомата, лентопротяжным механизмом, перфоратором, панель индикации пересчетных ячеек, прибор контроля напряжений источников питания и осциллограф контроля рабочих импульсов электронной схемы. Кроме того, в пульт вмонтировано стандартное клавишное устройство КУ-1М, с помощью которого наносятся на перфокарту служебные признаки.

Кнопка "отсчет" служит для считывания информации со всех разрядов счетчиков и записи ее на перфокарты. При нажатии этой кнопки замыкается цепь разряда конденсатора С-2 (предварительно заряженного до - 150в) через обмотку реле Р-1. Реле срабатывает и своими Н.Р. контактами I-2 становится на самоблокировку. Замкнувшиеся контакты 7-8 создают цепь для разряда конденсатора С-3 через первичную обмотку трансформатора ТР-1. Со вторичной обмотки ТР-1 снимается импульс запуска блока записи. Контакты 4-5 при замыкании подает напряжение + 110в на сцепной магнит (СМ) перфоратора. Срабатывая, СМ приводит в действие механизм пробивки и протяжки карт перфоратора. При замыкании контактов IO-II Р-1 подается - 30в

на электромагниты ЭМ-17 и ЭМ-18 для пробивки маркера.

Управление перфоратором оператор производит нажатием кнопок "Пуск" и "Стоп" на пульте управления.

На одной карте могут быть пробиты координаты 12 точек. При изменении какого-либо из служебных признаков обязательно должна смениться и перфокарта. Для подвода новой карты служит кнопка "Автоматическая протяжка". При нажатии этой кнопки срабатывает реле Р-2 и через н.з. контакты реле Р-3 и свои н.р. контакты IO-II становятся на самоблокировку. При замыкании контактов 4-5 на сцепной магнит перфоратора подается + IIOV и карта начинает продвигаться. В момент прохождения последней позиции пробитой перфокарты срабатывает н.р. контактная группа дополнительного кулачка Г-12 (см. схему соединения контактных групп дополнительных кулачков перфоратора и коммутационных реле пульта на рис.8), замыкая цепь питания реле Р-3. Цепь самоблокировки реле Р-2 оказывается разорванной и перфоратор останавливается. Под пуансонами в этот момент находится первая позиция новой карты. Контакты 7-9 реле Р-2 введены для того, чтобы на время автоматической протяжки перфокарты сигналы на пробивные электромагниты не подавались.

Описанная выше установка эксплуатируется в настоящее время в Лаборатории высоких энергий Института ядерной физики АН Казахской ССР. Большая роль в организации центра по обработке снимков в ИЯФ АН КазССР принадлежит академику И.С.Такибаеву. Активное участие в работе принимали также Э.Г.Босс и А.А.Локтионов.

Л и т е р а т у р а

1. В.Н.Алмазов, И.А.Голутвин, В.Д.Инкин, Ю.А.Каржавин, В.Д.Неустров, В.Д.Степанов
Препринт ОИЯИ 1352 Дубна 1963 г.
2. Л.Л.Лихтенбаум, Б.Н.Моисеев, В.С.Кафтанов ПТЭ № 3, 32, 1963 г.
3. Л.М.Барков, К.Н.Мухин, В.А.Суетин, Р.С.Шляпников, ПТЭ, № 6, 1963 г.

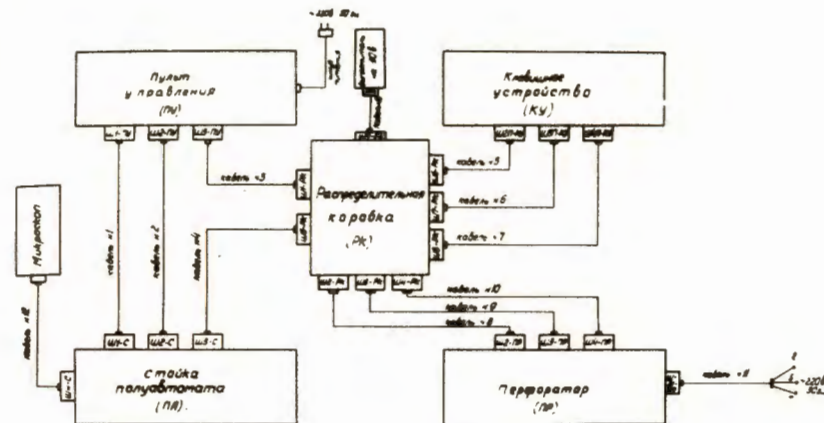


Рис. 1. Схема соединения установки.

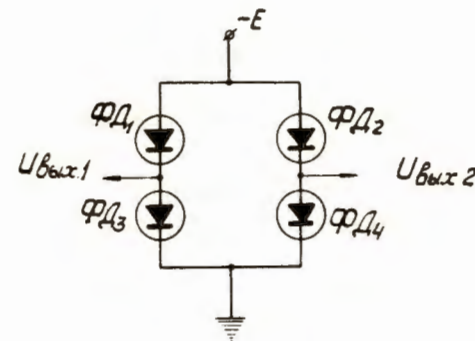


Рис. 2.

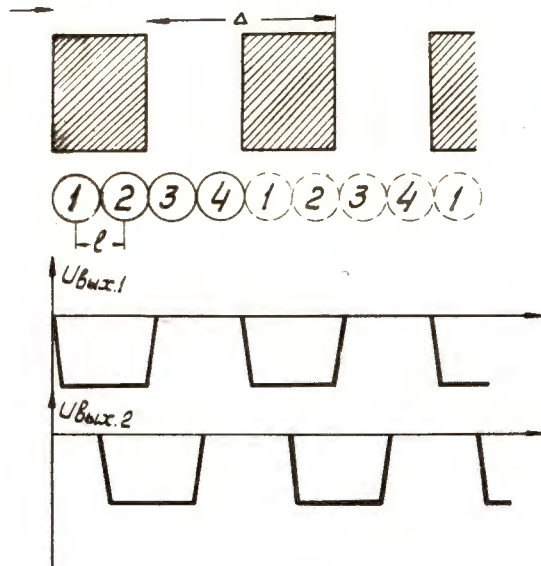


Рис. 3.

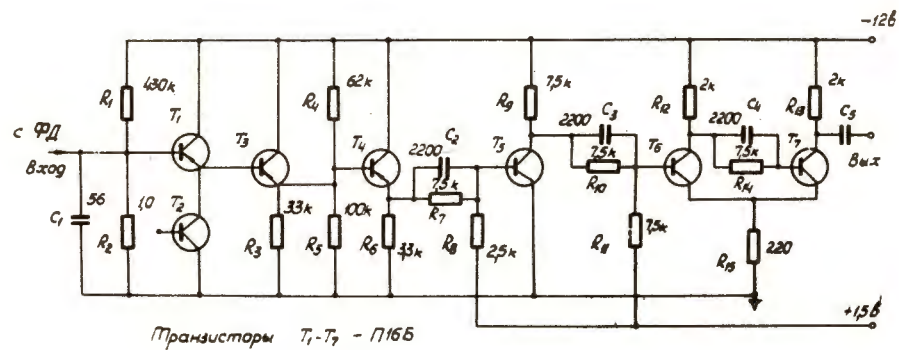


Рис. 4.

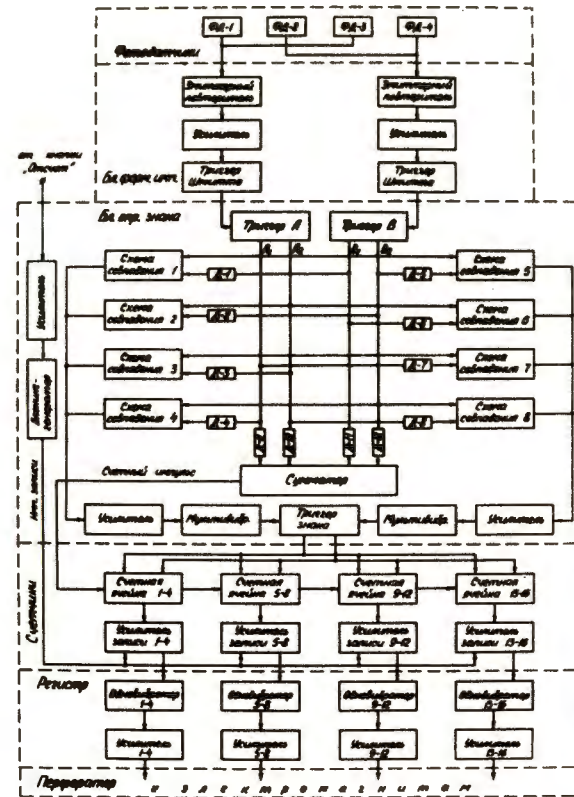


Рис. 5.

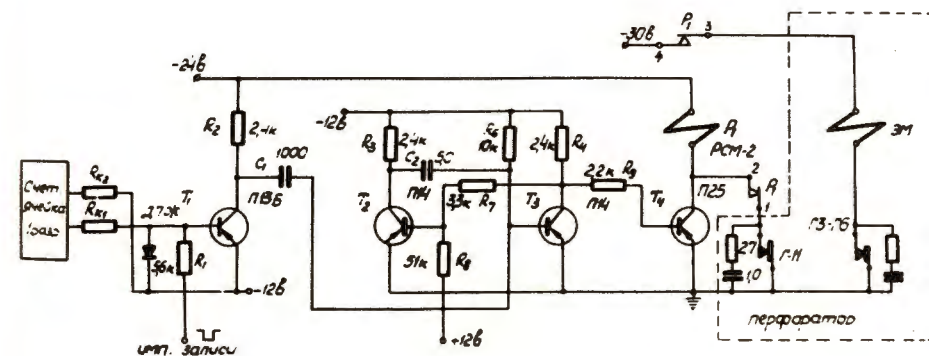


Рис. 6.

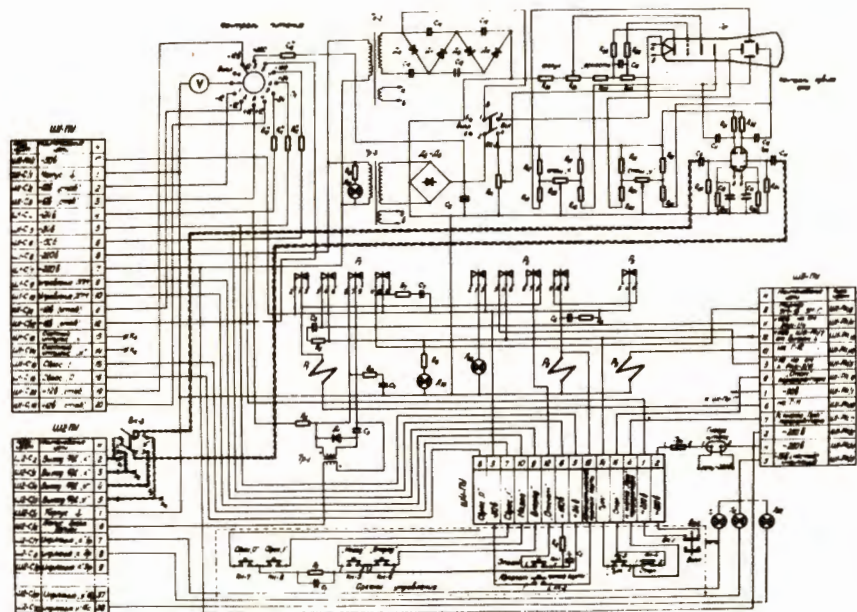


Рис. 7.

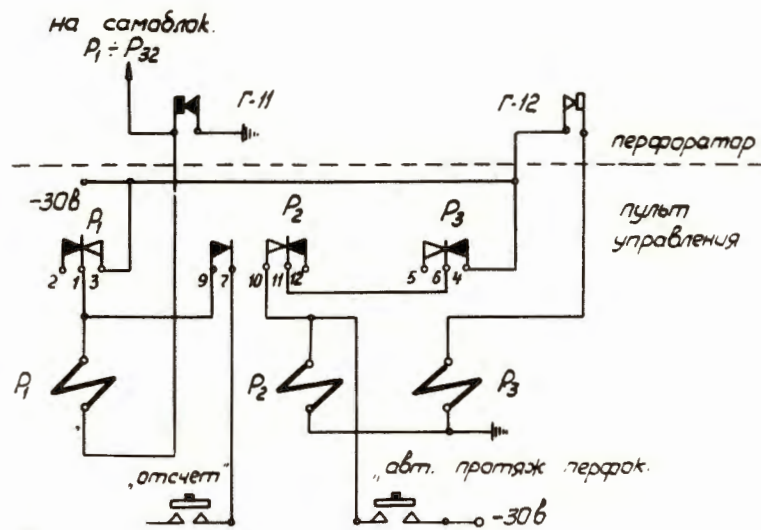


Рис. 8.

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ УСТАНОВКА С ЗАПИСЬЮ КООРДИНАТ НА ПЕРФОКАРТЫ

СССР

М. В. Стабников, Б. Г. Турухано, В. В. Добыри,
И. С. Мищенко

Процесс обмера стереоснимков с пузырьковых камер является весьма трудоемкой задачей. В настоящее время создано несколько типов автоматических установок, предназначенных для обмера стереофотографий /1/.

Эти установки обеспечивают автоматическое движение метки по следу заряженной частицы, а также автоматическую запись координат следа. Эти приборы сложны и требуют высококвалифицированных радиоспециалистов для обслуживания.

Следует отметить, что работа установок с автоматическим слежением зачастую затруднена из-за загруженности кадра посторонними следами.

В связи с этим возникает задача создания простой и надежной установки для автоматической записи координат при обмере фотографий следов заряженных частиц.

Такого рода установка на полупроводниках, предназначенная для записи координат на бумажную ленту, создана и работает в лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

В настоящей работе описана простая полуавтоматическая установка на радиолампах, предназначенная для автоматической записи координат на стандартную перфокарту, эта установка создана в ФТИ им. А. Ф. Иоффе АН СССР при содействии и консультации Института атомной энергии ГКАЗ. Общий вид установки ФТИ приведен на рис. 1. Рассмотрим схему ее работы. Блок-схема установки представлена на рис. 2. Условно её можно разбить на следующие узлы:

1. Измерительное устройство с фотоголовками;
2. Отсчетное устройство;
3. Выходное устройство с пультом управления;
4. Перфоратор;
5. Питание установки.

1. Обмер снимков на установке ведется с помощью измерительного устройства. Основу его составляет микроскоп типа УИМ-21 или УИМ-23.

Для удобства оператора микроскоп оснащен проекционной приставкой, разработанной в ФТИ. Приставка состоит из двух зеркал с наружным покрытием, которые направляют луч от микроскопа на матовый экран, расположенный под углом наилучшего зрения к сидящему за микроскопом оператору.

Установка проекционного экрана заставила изменить конструкцию осветителя. На предметном столике микроскопа крепится лентопротяжный механизм, который позволяет быстро выставлять и обмерять кадры стереопары.

Обмер координат событий на кадре выполняется с помощью дифракционных датчиков линейных перемещений (фотоголовки), которые устанавливаются вместо шкал микроскопа. Датчики линейных перемещений и электронное устройство позволяют автоматически регистрировать продольное и поперечное движение кареток микроскопа. Фотоголовка состоит из осветителя, двух скрещенных реплик с дифракционных решеток и светоприемника.

При движении каретки полосы муаре, возникающие при освещении скрещенных решеток, последовательно пробегают фототриоды светоприемника. При изменении направления движения подвижной решетки муаровые полосы движутся в обратном направлении. При движении муаровой полосы четыре фототриода вырабатывают синусоидальные сигналы, сдвинутые на 90° в зависимости от направления движения подвижной решетки. Фототриоды типа ФТ-1 позволяют получить сигнал в 4-4,5 вольт при потенциале коллекторной шины в 9 в.

Отметим некоторые особенности конструкции фотоголовки ФТИ. По сравнению с конструкцией, предложенной в ИТЭФ, отсутствует диафрагма и щель, выбирающая порядок спектра. Полностью изменена конструкция светоприемника. Линзо-призмовая сборка заменена обычной линзой $f = 3$ см. Эти особенности увеличили светосилу фотоголовки, упростили ее изготовление и отладку.

2. Блок-схема отсчетного устройства представлена на рис.3. В основу отсчетного устройства положена разработка ИТЭФ. Отсчетное устройство обеспечивает обмер координат точки на площади 200,0 мм x 100,0 мм с точностью $\pm 2,5$ мк. Отсчет ведется с любой точки, выбранной оператором за ноль. Отсчетное устройство состоит из двух симметричных каналов отсчета X и Y. Каждый канал состоит из блока реверса счетчика и блока индикации. Общим для обоих каналов является блок запрета.

Рассмотрим работу отдельных блоков канала отсчета X. Канал отсчета Y работает аналогично.

На вход блока управления подаются 4 напряжения с фототриодов, сдвинутые на 90° , по фазе величиной 3,0 в.

Блок управления преобразует входной сигнал в отрицательные импульсы амплитудой 20в, длительностью 10 мсек. Затем сигналы по трем цепям подаются на последующие блоки (см.рис.3). Первая и вторая цепь соединены с блоком реверса, третья - с блоком запрета и реверсивным счетчиком. При росте координаты импульсы идут по первой и третьей цепи, при уменьшении - по

второй и третьей. Импульсы, идущие по третьей цепи, задержаны по отношению к первой и второй на 20 мсек, которые необходимы для срабатывания блока реверса. Частота следования импульсов меняется в пределах 0-30 кгц, в зависимости от скорости подачи кареток микроскопа.

Блок реверса управляет "направлением" счета счетчика. При наличии импульсов на первом входе блок вырабатывает на первом выходном канале постоянное напряжение + 380 в, на втором + 250 в. В этом случае счетчик суммирует импульсы с блока управления, приходящие по третьему каналу. При наличии импульсов на втором входе, блок реверса устанавливает на первом выходе + 250в, на втором + 380 в и счетчик начинает вычитать приходящие на его вход по третьему каналу импульсы. После перемены направления движения каретки микроскопа первый импульс попадает на блок реверса и только после 20 мсек задержки - на счетчик. За 20 мсек блок реверса успевает переключить "направление" счета.

На вход реверсивного счетчика поступают импульсы по третьему каналу от блока управления, кроме того счетчик управляется блоком реверса и входными сигналами блока запрета. Выходы счетчика соединяются с выходным регистром (15 каналов) и блоком индикации (15 каналов). На счетчике всегда набрано число, соответствующее координате точки под перекрестием относительно выбранного начала координат. Для "списывания" этого числа используется выходной регистр, выходы которого (15 каналов) соединены с перфоратором. При поступлении сигнала считывания с блока запрета срабатывают каналы, отвечающие набранному на счетчик числу, и пробиваются соответствующие отверстия в перфокарте.

Блок запрета служит для "списывания" информации со счетчика. На вход блока запрета поступают сигналы считывания от оператора, а по каналам 3 - от блоков управления X и Y. Нежелательна подача сигнала считывания в момент переключения реверсивного счетчика. Так как максимальное время переключения счетчика равно 20 мсек, то в течение 20 мсек после прихода сигнала по третьему каналу на вход счетчика, сигнал считывания на выходе блока запрета появиться не может. Кроме того, сигнал на выходе блока запрета обеспечивает включение выходного регистра за 10 мсек. Блок запрета обслуживает оба канала X и Y.

Блок индикации служит для контроля работы счетчиков.

3. Управление установкой ведется с пульта, который собран на базе клавишного устройства. На пульте размещены следующие органы управления установкой.

1. Включение установки.
2. Регулировка осветителя микроскопа.
3. Сброс реверсивных счетчиков на "ноль".
4. Клавиши для набора постоянных признаков: номера события, номера программы и т.д.
5. Педаль пробивки постоянных признаков и координат на перфораторе.
6. Переключатель рода работы установки на шесть положений. Он введен для контроля работы оператора.

4. Выходным узлом установки является перфоратор. В установке используется перфоратор, работающий на перфокартах. Управление перфоратора выполняется с пульта. Постоянные признаки набираются на клавиатуре, а затем в виде электрических импульсов поступает на перфоратор. Значение текущих координат поступает на перфоратор с отсчетного устройства. Для питания установки необходимо переменное напряжение 220в 50 герц и постоянное напряжение 110в.

Установка имеет два самостоятельных блока питания. Первый обеспечивает постоянное напряжение ± 300 в при токе 400 ма. Второй блок обеспечивает переменное напряжение 6,3 в для питания накальных цепей, а также напряжение 12в и 6в для питания осветителей фотоголовки и осветителя микроскопа.

Установка достаточно надежна в работе.

Измерения показали, что скорость обмера следов на ней в 10-13 раз превышает таковую на обычных микроскопах.

Авторы считают своим долгом поблагодарить академика УССР А.П. Комара за постоянное внимание и советы, академика А.И. Алиханова за поддержку настоящей работы, а также Б.Н. Моисеева и Л.Л. Лихтенбаума за предоставление чертежей автоматической установки и ценные консультации.

Л и т е р а т у р а

1. Д.Багг, УФН, 74, 675, 1961.

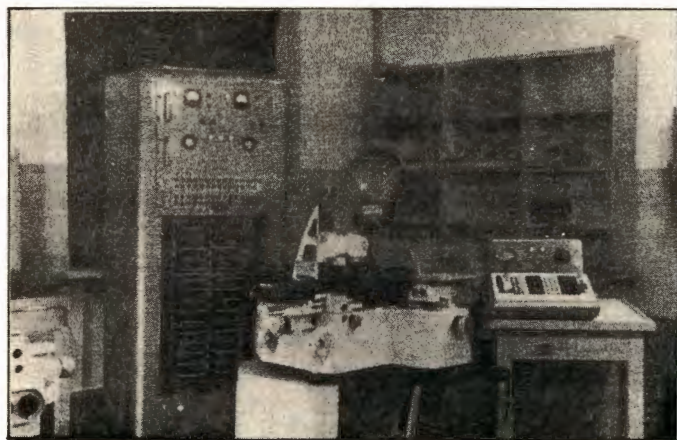


Рис.1. Общий вид установки.

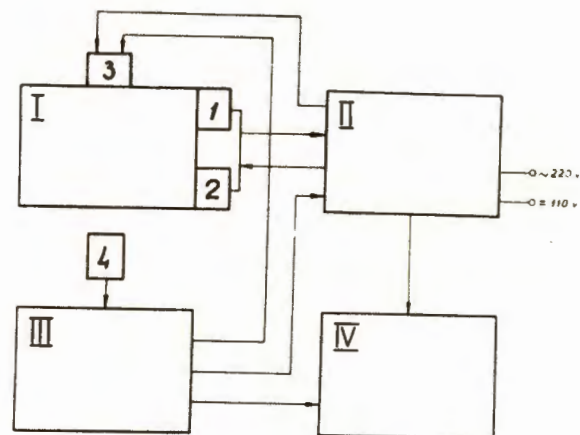


Рис.2. Блок-схема установки.

- I- Измерительное устройство с фотоголовками.
- II -Отсчетное устройство
- III - Выходное устройство с пультом управления.
- IV- Перфоратор.

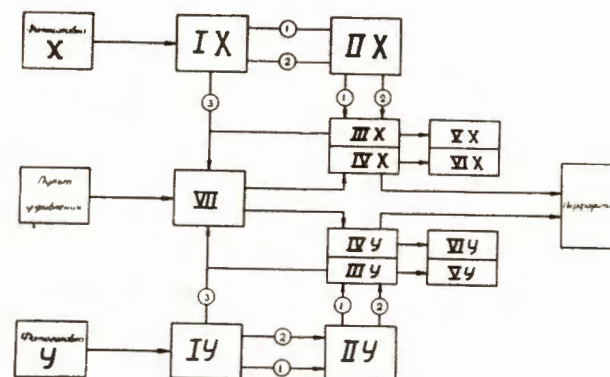


Рис.3. Блок-схема отсчетного устройства.

- I - Блок управления.
- II - Блок реверса
- III-IV - реверсивный счетчик с блоком регистра.
- У-UI - Блоки индикации счетчика и регистра.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ВЫВОДА ИНФОРМАЦИИ ОТ МИКРОСКОПА МИГЭ-1

СССР

Ф.Г.Лепехин, К.М.Ушаков

Микроскоп МИГЭ-1 является специализированным измерительным прибором, предназначенным для измерения геометрических характеристик следов частиц в ядерных эмульсиях.

Ранее работавший в комплексе с вычислительным устройством ВУМ-1, МИГЭ-1 выдавал числовую информацию на магнитную ленту, с которой она вводилась в ВУМ-1 для обработки.

Недостатки данного комплекса заключались в следующем:

1. Отсутствовал какой-либо контроль за правильностью занесения информации на магнитную ленту.

2. Наличие жестких программ для решения задач в чисто специализированном устройстве ВУМ-1 лишало оператора возможности вычислять какой-либо другой параметр по данной записи.

3. Дополнительные затраты технических средств и усилий на обслуживание ВУМ-1.

Эти недостатки и привели нас к заключению о необходимости усовершенствования вывода и переработки информации с микроскопа типа МИГЭ.

В проделанной работе основную часть занимает автоматический вывод информации с микроскопа МИГЭ-1 на ленточный перфоратор, что позволяет производить вычисления на универсальной ЭВМ Минск-1 по любой воспринимаемой этой машиной программе.

На рис.1 показана функциональная схема устройства вывода информации.

Движение столика микроскопа, а также движение бинокулярной насадки передается на электромеханические датчики типа "Вал-цифра" соответственно по каждой из координат. Всего имеется 6 датчиков (по трем координатам столика и по трем координатам бинокулярной насадки).

Длины отрезков по координатам преобразуются преобразователями "Вал-цифра" в двоичный код и выдаются по сигналам опроса в схему логики "Л". Эта схема перерабатывает выданную в двоичном коде информацию в вид, удобный для занесения её на перфоленту и для последующего непосредственного ввода в ЭВМ Минск-1.

Вся логическая схема собрана из стандартных феррит-транзисторных ячеек Ф Т Я трех типов, схемы которых показаны на рис.2 (а,б,в).

Логическая схема выполняет следующие функции:

- а) по команде с пульта управления вырабатывает пятикратные импульсы опроса по I2 разрядам трех датчиков "Вал-цифра", соответствующих заданной программе;
- б) преобразует параллельный код в последовательный двоичный код;
- в) после каждого опроса выдает через формирователь на печать по три двоичных разряда, начиная со старшего, осуществляя, таким образом, двоично-восьмеричную систему записи чисел;
- г) выдает в двоично-десятичном коде исходную информацию, устанавливаемую переключателями на пульте управления.

Схема логики питается двумя последовательностями импульсов 500 гц, смещенными по фазе на 180° и вырабатываемыми генератором тактовых импульсов Г Т И. В режимах контроля, настройки и очистки на схему подаются те же две последовательности импульсов, но уже с частотой 50 кгц.

Логическая схема выдает уже скомпанованную в двоично-восьмеричном (либо в двоично-десятичном) коде информацию на формирователь в виде последовательных серий импульсов длительностью $10 + 12$ мсек и амплитудой I2 в. Формирователь расширяет импульсы до $I2 + I6$ мсек и, усилив их до 48 в, подает на магниты перфоратора.

Блок формирователей состоит из шести одинаковых схем (по числу дорожек перфорирования), каждая из которых составлена из ждущего блокинг-генератора с дополнительной положительной обратной связью через усилительный каскад и усилителя мощности с трансформаторным входом (см.рис.3).

Перфоратор работает с частотой I6 гц, так что всю информацию о пространственном положении отдельной точки и исходные данные он заносит на перфоленту за 2 секунды.

Исходные данные, устанавливаемые семью переключателями и имеющие в своем полном объеме 28 двоичных единиц, заносятся на ленту в двоично-десятичном коде. Сюда заносятся данные о коэффициенте усадки фотоэмульсии, о масштабных коэффициентах, о номере пластины, о номере следа, а также данные о необходимой программе вычислений на ЭВМ Минск-I.

Машина Минск-I имеет 30-разрядный приемный регистр, но преобразователи "Вал-цифра" выдают I3-разрядные числа. Учитывая это обстоятельство, в целях сокращения времени и ленты, перфоратор отбивает только те строки, в которых заносится выведенная информация (5 строк вместо I0). К тому же, поскольку приходится иметь дело только с положительными числами, то строка знака также не печатается. Всё это сокращает вдвое время записи и ленту.

Помимо основных режимов работы (занесение исходных данных, введение координат центра расщепления, запись координат следа и конец ввода массива чисел) имеется возможность измерять ионизацию по спектру просветов, т.е. работать по одной из координат, не занося на ленту значения остальных координат.

Предусмотрена возможность контроля правильности вывода информации путем поразрядного сравнения на схемах совпадения прямого и обратного калибровочного кода в совокупности с световой сигнализацией.

Таким образом, описанная система вывода информации свободна от вышеуказанных недостатков и к тому же более экономична во времени и в затрачиваемых средствах на получение и обработку информации.

Л и т е р а т у р а

1. Петрова В.И. и др. Доклад на 6-й конференции по ядерной радиоэлектронике 1964 г. Москва
2. Barkas, U.S.R.I. 8482.

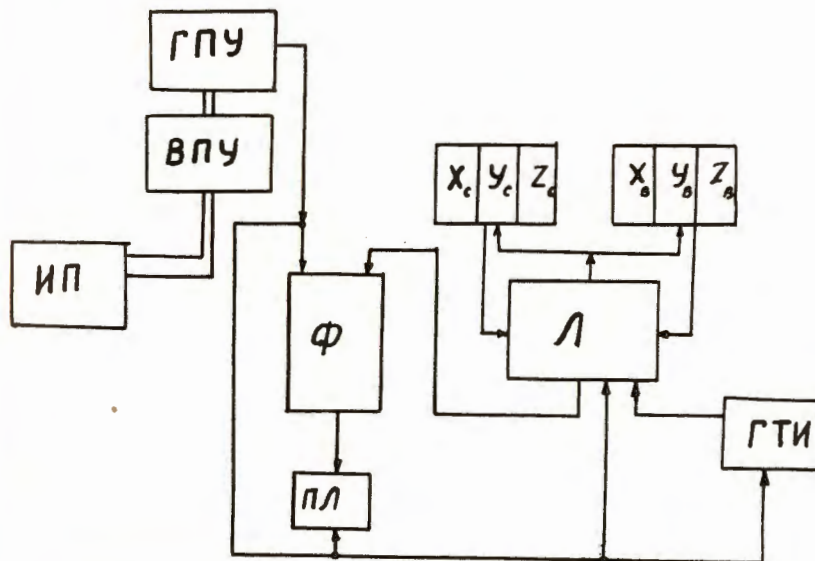


Рис. I Функциональная охема системы вывода информации с микроскопа МИГЭ-I.

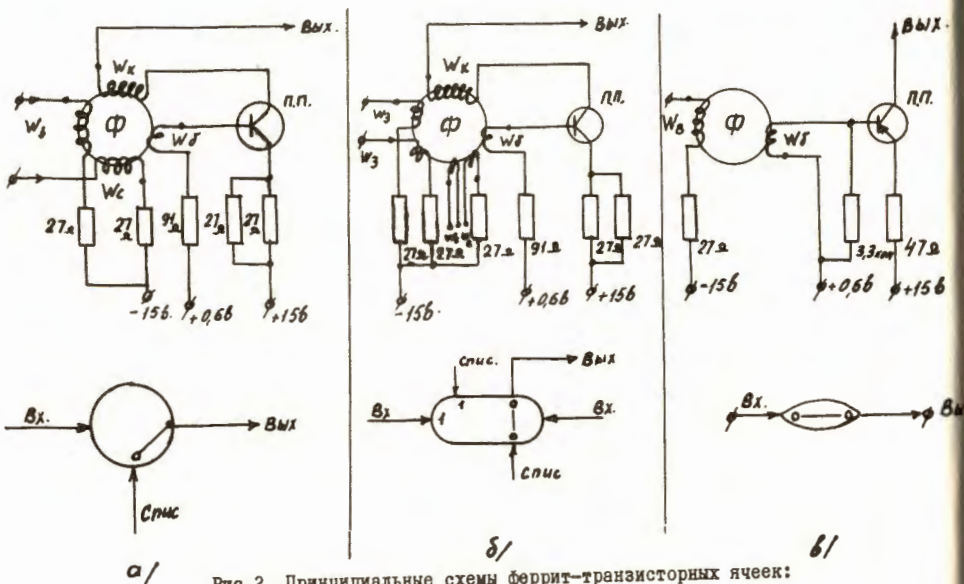


Рис.2 Принципиальные схемы феррит-транзисторных ячеек:

- а) Схема ячейки Я-1;
- б) Схема ячейки Я-2;
- в) Схема ячейки У.

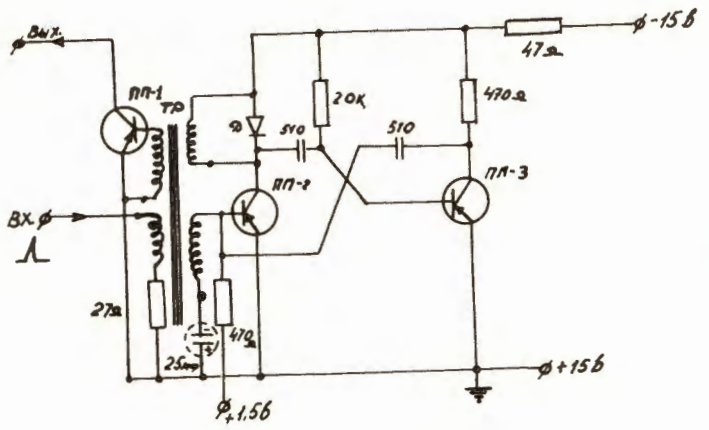


Рис.3. Схема формирования импульсов.

СССР

А.С.Ассовская, Ф.Г. Лелехин,
К.М.Ушаков

1. Введение

Измерение многократного рассеяния частиц в ядерных фотоэмульсиях координатным методом прочно вошло в практику лабораторий /1/. Большая трудоемкость съема и обработки информации по рассеянию стимулировала разработку многочисленных устройств для автоматизации этих процессов /2,3/.

Из устройств, поставляемых промышленностью, сегодня существует только микроскоп МИРЭ-1, выпускаемый Ленинградским объединением оптико-механических предприятий (ЛОМП).

Опыт работы на этом приборе и материалы, полученные при его испытании в Ленинградском физико-техническом институте им. А.Ф. Иоффе АН СССР, являются темой данного сообщения.

2. Расположение числового материала при выводе

Информация на бумажную ленту перфоратором ПЛ заносится при нажатии кнопки "запись" в следующих трех режимах:

- а) "Исходные данные". В этом случае печатается шесть чисел в двоично-десятичном коде, несущих служебную информацию. Эти числа устанавливаются наблюдателем на пульте перед началом работы.
- б) "У - координата". В этом режиме печатается значение У - координаты, снятое с двоичного датчика типа "вал-цифра". Это тринадцатизнарядное двоичное число.
- в) "Конец ввода". На ленту заносится признак, означающий конец данного массива чисел при их групповом вводе в ЭВМ.

3. Результат испытаний

Шумы стола и микромеханизма были измерены многолучевым интерферометром. Шум микромеханизма в интервале 1 мм через 50 мк оказался меньше 0,01 мк. Зависимость шума стола от длины ячейки характеризуется показателем степени длинны ячейки, равном 0,574.

4. Характеристика программ, подготовленных для обработки данных по рассеянию. Обработка результатов на универсальной ЭВМ дает возможность использовать ячейки любой кратности с перекрытием или без него, вычислять разности любого порядка, использовать более точные оценки распределений вторых разностей, вычислять среднее значение с исключением или замещением аномально больших значений вторых разностей, наконец, получать средние значения вторых разностей или импульсов по серии измерений данного следа в ряде слоев эмульсионной камеры.

Нами пока реализованы только самые простые программы. Вычисляются средние значения вторых разностей \bar{D} с исключением разностей $\geq \bar{D}$ или без исключения, оценивается стандартное отклонение, находится сумма и число положительных и отрицательных значений вторых разностей. При измерении на ячейке t вычисление всех величин ведется через qt , где $q = 1, 2, \dots, 8$.

Имеется программа для вычисления спектра отклонений от среднего в единицах стандартного отклонения через 0,2. Для обработки эмульсий, облученных в магнитном поле, имеется программа с вычислением среднего значения третьих разностей.

Для каждой программы имеется контрольное событие, которое просчитывается вначале и в конце обрабатываемых массивов. Время обработки массива, в основном состоящее из ввода и вывода данных, составляет 1-2 минуты.

5. Калибровочные измерения

В рабочей камере, состоящей из 60 слоев $10 \times 10 \text{ см}^2$ эмульсии БР НИКФИ-400, облученной π -мезонами с импульсом 7,2 Бэв/с с целью исключения в последующей работе ложного рассеяния на рабочих следах, измерено рассеяние на пучковых следах.

Отсчеты Y - координат наблюдателем сделаны через 250 мк, в 19 слоях на 86 следах, при общей длине всех следов около 2,5 м за шесть рабочих дней.

Это соответствует средней скорости записи 300 значений Y - координат в час. Технически возможная скорость записи, после того как след найден и установлен, примерно в 4 раза больше. Таким образом, время на вспомогательные операции затрачивается в 3 раза больше, чем на вывод информации и дальнейшее увеличение скорости вывода нецелесообразно.

Аналогичная работа по калибровке камеры нами выполнялась и на микроскопе МБИ-8М обычным способом. При одинаковом объеме работы, включая вычисления, времени было затрачено в 20 + 25 раз больше.

Существенный вклад в экономию времени, конечно, даёт обработка данных на ЭВМ.

Отношение же только технически возможных скоростей самого процесса съёма информации на МБИ-8М и МИРЭ-1 для одного и того же наблюдателя равно восьми.

6. Измерения рассеяния на рабочих следах

В этом случае необходимо почти всегда каждый след измерять по участкам в ряде слоев камеры до необходимой длины или выхода из камеры. Это увеличивает время на вспомогательные операции и существенно уменьшает общую скорость измерений.

За два месяца работы на МИРЭ-1 нами измерено 260 рабочих следов быстрых частиц. Длина каждого измеренного следа составляла около 2 см. Средняя скорость измерений получается 5+6 следов за рабочий день.

Максимальная скорость, достигнутая при таких измерениях, составляла 10 следов за 6 рабочих часов оператора.

В большом объеме аналогичных измерений на микроскопе МБИ-8М мы не проводили.

Оценки, которые можно было бы сделать, приводят к заключению, что время на измерения и обработку рабочих следов на микроскопе МИРЭ-1 сокращается примерно в 10 раз.

7. Характеристика технического состояния системы вывода информации.

Благодаря тому, что основные элементы системы выполнены на феррит-транзисторных ячейках, она обладает высокой надежностью. Не включая период тренировки, в процессе которого были выявлены ненадежные элементы, за время непрерывной эксплуатации, в течение которого были выполнены все рабочие и калибровочные измерения, отказы имели место, в основном, в приводном устройстве шагового двигателя из-за больших токовых нагрузок и длительной работы. Часть отказов за это время вызвана несовершенством системы управления. Большинство же неисправностей системы вывода информации было за счет ненадежности механической системы ленточного перфоратора ПЛ. Среднее число всевозможных отказов за месяц при непрерывной работе равно 4 + 5.

8. Исходя из опыта эксплуатации системы вывода информации микроскопа МИРЭ-1, можно сформулировать некоторые общие требования к такого рода системам.

Прежде всего необходимо увеличить надежность перфоратора ПЛ. Нет необходимости заносить на ленту излишнюю информацию. В нашем случае все числа положительны и нет необходимости печатать признак знака.

Машина позволяет также в нашем случае сократить число строк на ленте с 10 до 5, где вполне размещаются тринадцать рабочих разрядов.

Немаловажный недостаток системы вывода информации микроскопа МИРЭ-1 состоит в отсутствии какого-либо контроля за правильностью занесения информации.

Наиболее кардинальным решением было бы осуществление непосредственного ввода в ЭВМ информации от ряда устройств, подобных микроскопу МИРЭ-1 /4/.

Л и т е р а т у р а

1. Ллк К.Л. Яан и Ву Цзянь-Сян.
Методы измерения основных величин ядерной физики.
Мир, М., 1964 г.
2. Беловицкий Г.Е., Кораблев Л.Н., Сухов Л.В., Штранг И.В.
ПТЭ, № 2, стр.86, 1959.
3. Duff M.J.B., Nucl. Instr. and Meth.,
15, № 1, p.87-94, 1962.
4. Y. Goldschmidt - Clermont,
Международная конференция по физике высоких энергий.
Препринт ОИЯИ Е-1806, Дубна, 1964.

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКИХ МИКРОСКОПОВ ДЛЯ ПРОСМОТРА И ИЗМЕРЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ СЛЕДОВ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В ЯДЕРНЫХ ФОТОЭМУЛЬСИЯХ

СССР

В.В.Алябин, О.А.Артамонов, В.Г.Артемов,
В.А.Беляев, М.С.Бороздина, Л.Г.Браудзе, В.А.Вавулин,
Ю.С.Волков, И.М.Долинский, В.А.Жамов, И.Л.Зарубина,
В.А.Кондрашова, М.И.Колпаков, Л.М.Кривецкая,
Н.В.Курцер, Ф.Г.Лепехин, Ю.К.Макаров, Г.А.Матвеева,
О.А.Миронов, С.С.Настюшенко, В.А.Панов, Р.М.Рагузин,
В.М.Ракигин, М.Н.Расев, А.А.Сидоров, Г.Е.Скворцов,
Б.И.Смирнов, А.П.Тарасов, А.В.Тягмбеда, Н.М.Федоро-
ва, Н.В. Шарыгин, Ф.И.Шуйская, Б.М.Яковлев.

Как известно, исследования и измерения на следах заряженных частиц в ядерных фотоэмульсиях выполняются в настоящее время по двум основным этапам: а) просмотрные работы, б) измерения различных параметров следов. Оба этапа чрезвычайно трудоемки и весьма актуальным является ускорение этих работ.

Для решения указанной задачи в течение 1959-1961 гг. были разработаны и изготовлены следующие макеты полуавтоматических микроскопов:

1. Полуавтоматический просмотрный микроскоп МППЭ-1 (рис.1).

Прибор состоит из штатива микроскопа 1, привода 2 с печатающим устройством и блоком питания и стола микроскопа 3. Оптическая схема микроскопа обеспечивает визуальное наблюдение препаратов с увеличением от 70 до $1350\times$. В схеме предусмотрено введение сменных измерительных сеток. Кинематическая схема (рис.2) обеспечивает шаговое и непрерывное перемещение столика по оси X со скоростями 4, 10, 20, 40 и 60 мм/мин и шагами в 100, 250, 500, 1000 и 1500 мк. Непрерывное возвратно-поступательное перемещение по оси Z производится со скоростями от 6 до 100 мк/сек. Указанные диапазоны скоростей позволяют создать оптимальные условия наблюдения со всеми объективами. Перемещение по координате Y производится вручную. Значения координат X, Y и Z передаются на печатающее устройство, где и фиксируются на бумажной ленте, причем, координаты X и Y записываются с точностью 0,05 мм, а координата Z - 0,01 мм. На микроскопе можно производить измерения на пластинках размером до $120 \times 220 \text{ мм}^2$. Фотопластина может поворачиваться вокруг оптической оси.

2. Микроскоп для измерения геометрических параметров следов МИГЭ-1 с вычислительным специализированным устройством ВУМ-1 (рис.3). Прибор состоит из микроскопа 1, записывающего устройства 3 и стола 2. Увеличение оптической системы от 70 до $1800\times$. Размеры препарата до $120 \times 220 \text{ мм}^2$. Кинематическая схема микроскопа показана на рис.4. Измерение

исходных координат X, Y, Z производится с помощью точных микроинтов, соединенных с позиционными преобразователями угла поворота в тринадцатиразрядный двоичный код. Число, установленное на преобразователе, записывается на магнитной ленте. Микроскоп позволяет производить измерения и вычисление длин и косинусов углов по трем программам. При I-ой программе измерения производятся перемещением предметного столика; цена отсчета при этом составляет по осям X и $Y - 0,05$ мм, по оси $Z - 0,0025$ мм. по II-ой программе измерения выполняются в поле зрения с ценой отсчета по осям X и $Y 0,0001$ мм (при объективе $90\times$) и по оси $Z - 0,0002$ мм. При измерениях по III-ой программе координата X снимается со столика, а координаты Y и Z - в поле зрения микроскопа. Вычислительное устройство ВУМ-I является специализированной вычислительной электронной машиной; имеет одноадресную систему команд. Арифметические и логические узлы выполнены на феррит-транзисторных ячейках. В качестве выходного устройства используется стандартное печатающее устройство БЦПУ-15. Средняя скорость вычислений - 300 опер/сек. Время решения одной задачи около 3 сек.

3. Полуавтоматический микроскоп МИЭ-I (рис.5) служит для измерения ионизации однозарядных и многозарядных частиц. Прибор состоит из микроскопа, привода, пульта с выходными устройствами и стола. Функциональная схема (рис.6) обеспечивает выдачу на выходных устройствах:

а) Для однозарядных частиц: № измерения, полной длины следа, полного числа просветов, полной длины просветов, числа просветов и суммарной длины просветов на ячейке, спектра просветов (8 интервалов через $0,5$ мк).

б) Для многозарядных частиц: № измерения, полной длины следа, ширины импульса на половине высоты, площади следа на длине 10 мк.

Результаты измерений однозарядных частиц фиксируются на десятичных счетчиках и печатающем устройстве, а многозарядных частиц - в произвольных единицах на бумажной ленте самописца ЭИП-09. Съем информации производится сканированием изображения следа при помощи перемещения его относительно щели с переменными размерами. Сигнал с ФЭУ поступает после усиления в счетное и логическое устройства и далее на выходные устройства. Электронная часть прибора выполнена на лампах.

4. Полуавтоматический микроскоп МИРЭ-I является специализированным прибором для определения и записи координаты Y при измерении многократного кулоновского рассеяния. Функциональная схема (рис.7) обеспечивает получение шаговых перемещений препарата на $50, 100, 250, 500$ и 1000 мк со скоростями от 25 до 350 мк/сек. Перемещение биштриха для отсчета координаты Y связано преобразователем угла поворота в двоичный код. Двоичное число, установленное на преобразователе, через схему опроса и формирования значения Y записывается на бумажную ленту перфоратора. На эту же ленту записывается

дополнительная информация, установленная на панели пульта. Последующая обработка информации должна производиться на универсальной вычислительной машине, например, "Минск". Координата Y измеряется на микроскопе с ценой деления $0,025$ мк. Размеры просматриваемых фотопластин до 120×220 мм². Перемещение по X на 60 мм. Установочная часть имеет поворот на 360° и позволяет достаточно удобно подвести к центру поля зрения микроскопа любую точку на препарате. Шумы столика составляют не более $0,03$ мк на ячейке > 500 мк, шумы микромеханизма - не более $0,01$ мк на ячейке 50 мк. Для контроля шумов в микроскоп встроено многолучевое интерференционное устройство.

5. Краткие результаты испытаний микроскопов и выводы из них

Все описанные выше макеты полуавтоматических микроскопов находятся в настоящее время в Ленинградском ФТИ им. Иоффе. Сравнение производительности труда при просмотре и измерениях на этих полуавтоматизированных микроскопах по сравнению с работой на микроскопах МБИ-9 и МБИ-8 м представлено в таблице.

Микроскоп	Увеличение производительности труда
МППЭ-I	в 1,5-2 раза
МИЭ-I	в 5-10 раз
МИЭ-I	в 20 раз
МИРЭ-I	в 10-15 раз

На основе опыта по разработке и эксплуатации указанных макетов были сделаны следующие выводы:

1. Введение механизации перемещений и записи при просмотрных работах не увеличило существенно производительности труда, так как приемником информации остался человек и пропускная способность зрительного канала ограничивает скорости перемещений.

2. Применение специализированных вычислительных устройств в настоящее время не целесообразно, так как большинство потребителей имеет универсальные ЭВМ и это позволяет иметь на микроскопе только выходные устройства для записи исходных данных, используемых при последующей обработке на ЭВМ.

3. Наиболее целесообразными оказались приборы для измерения геометрии следов МИЭ-I и рассеяния следов МИРЭ-I, которые было решено взять за основу при разработке опытных образцов полуавтоматических микроскопов МИЭ-2 и МИРЭ-2 для серийного производства.

6. Полуавтоматические микроскопы МИЭ-2 и МИРЭ-2

Оба микроскопа производят запись результатов измерения и вспомогательной служебной информации на бумажную ленту с помощью ленточного перфоратора ПЛ.

Увеличение оптической системы от 230 до 2630^x.

Размеры просматриваемых фотопластин до 120x220 мм.

Установочная часть столика имеет возможность поворота на 360° и возможность перемещения по осям X и Y соответственно на 120 и 220 мм. В комплект микроскопа входят объективы-планмонокроматы, позволяющие измерять эмульсии толщиной до 550 мк. Для считывания значений исходных координат используются позиционные трансформаторные преобразователи угла поворота в двоичный код. Микроскопы имеют арочную конструкцию штатива, что не менее чем в 6 раз увеличило их жесткость по сравнению с микроскопами МБИ-9 и МБИ-8 и обеспечивает уверенное спокойное проведение измерений.

В осветителе микроскопа используется лампа накаливания ОП-12-100. Питание приборов производится от сети переменного тока напряжением 220 вольт. Потребляемая мощность около 0,3 квт.

Полуавтоматический микроскоп МИГЭ-2 (рис.8) в отличие от МИГЭ-1 позволяет производить измерения не по трем программам, а при любом сочетании измеряемых координат, снимаемых как в поле зрения, так и на предметном столике. Пределы перемещения измерительного столика 40 мм. Точность измерения на столике по осям X и Y - 0,005 мм, по оси Z - 0,001 мм. Цена деления низшего разряда преобразователей при измерениях в поле зрения по осям X и Y - 0,0001 мм, по оси Z - 0,0002 мм. Как показывает опыт эксплуатации МИГЭ-1, этот микроскоп можно также использовать для измерения ионизации однозарядных частиц. Функциональная схема микроскопа показана на рис.9.

Полуавтоматический микроскоп МИРЭ-2, в основном, подобен микроскопу МИРЭ-1. Однако, в нем сделаны различные изменения, улучшающие конструкцию. К числу таких основных изменений относятся: введение дополнительных шаговых перемещений в 1, 3 и 10 мк, что позволит проводить измерения и с переменными шагами; замена 13 десятичных наборников 30-разрядным двоичным наборником.

Оба этих микроскопа сейчас могут быть изготовлены по заказу потребителей.

7. Некоторые перспективы дальнейшей разработки микроскопов для ядерной физики

Ближайшими работами на 1964-1965 г. предусматривается изготовление опытного образца микроскопа для измерения кулоновского рассеяния МИРЭ-3, который в дальнейшем будет выпускаться взамен микроскопа МБИ-8м. Этот микроскоп предназначен также, как и микроскоп МБИ-8м, для "ручных" измерений, однако, он имеет ряд преимуществ, связанных с повышением удобств и надежности измерений и расширением возможностей прибора.

Предусматривается также разработка нового микроскопа взамен микроскопа МБИ-9, ко-

торый, являясь также ручным микроскопом для просмотра и измерения ионизации и геометрии следов, предусматривает возможность установки на нем различных предметных столиков и устройств для автоматизации измерений и перемещений.

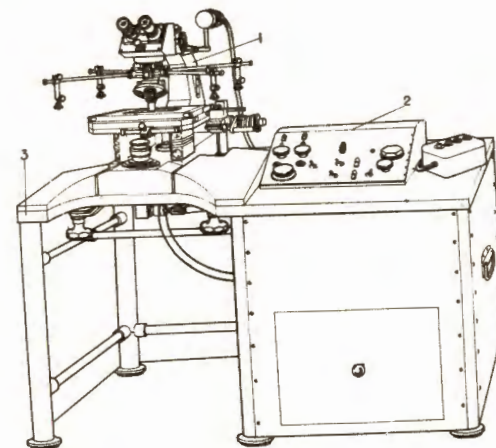


Рис. 1.

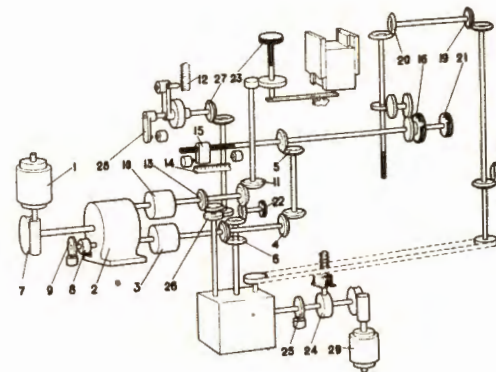


Рис. 2.

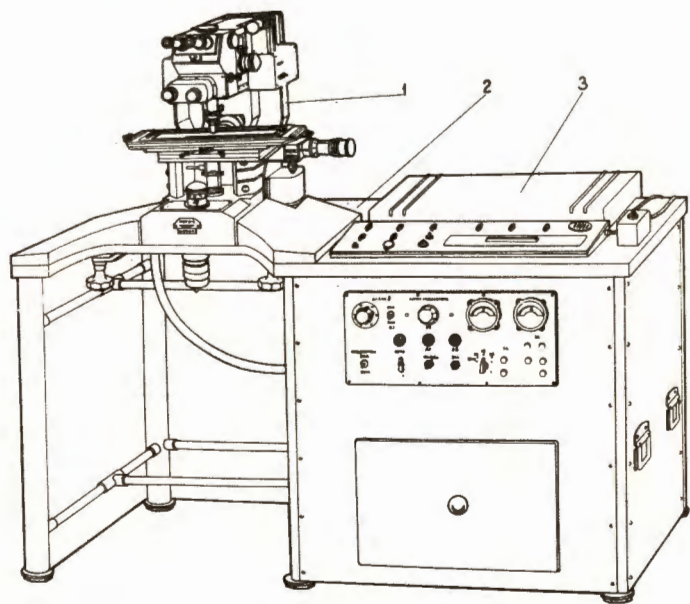


Рис. 3.

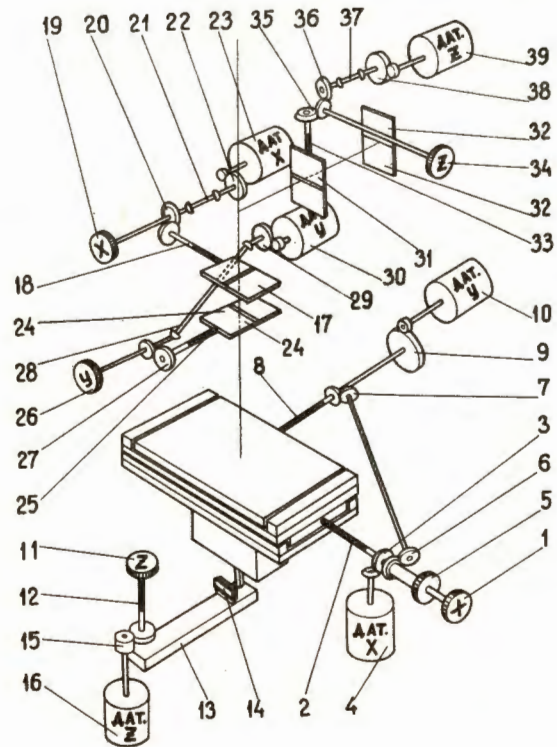


Рис. 4.

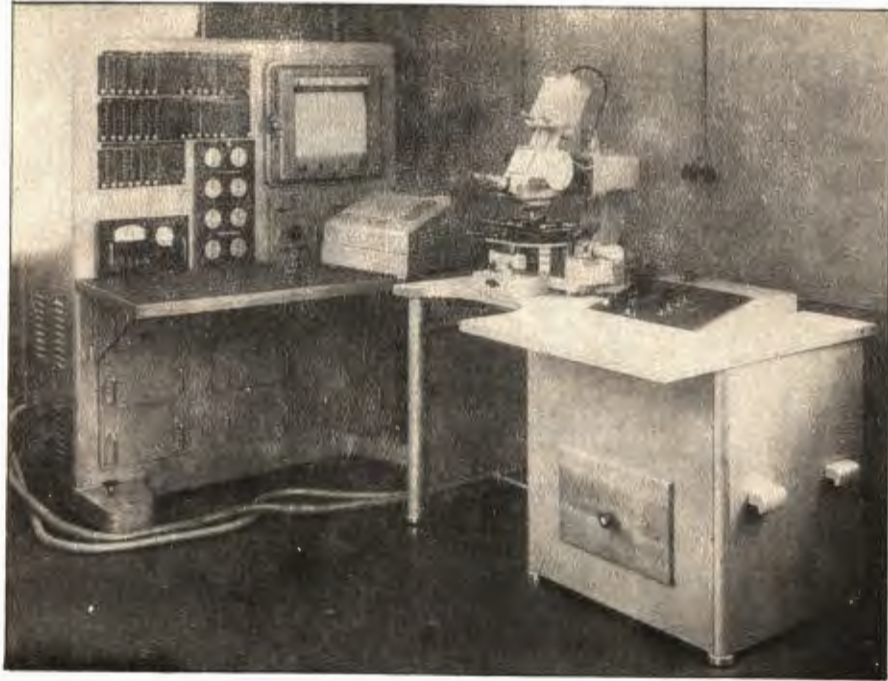


Рис. 5.

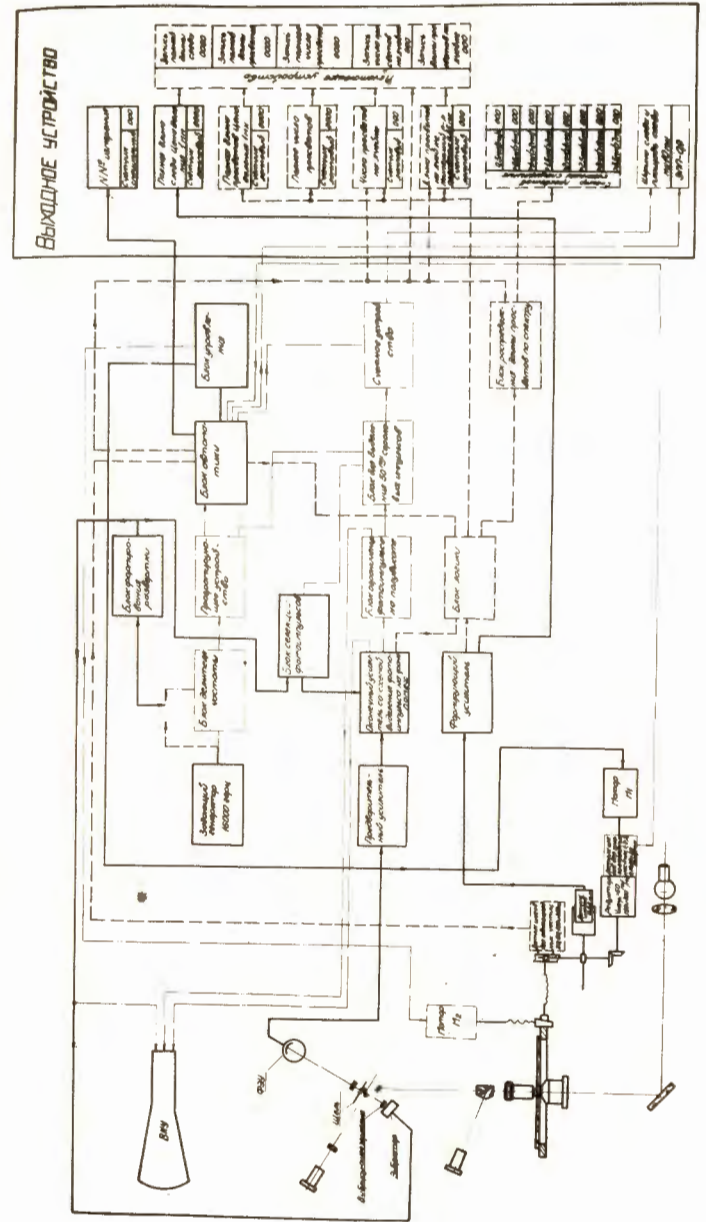


Рис. 6.

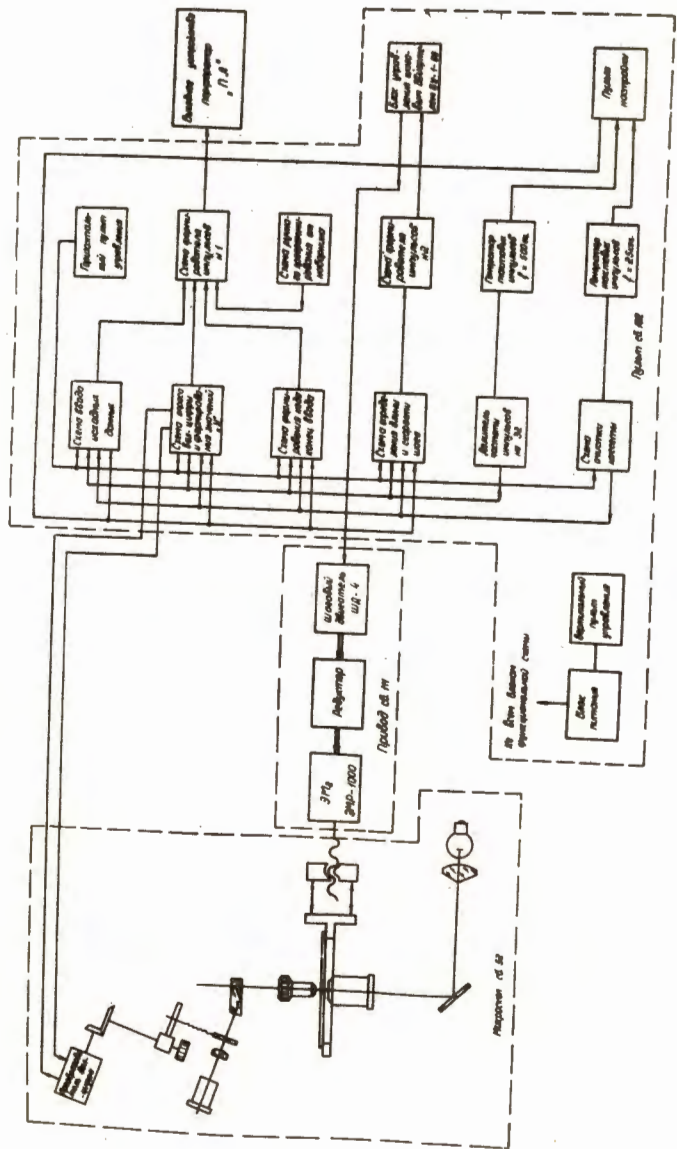


Рис. 7.

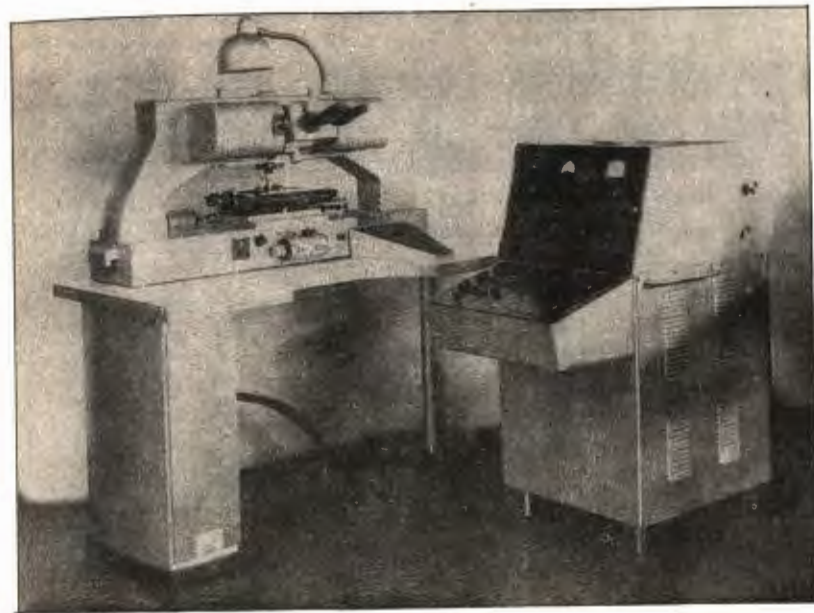


Рис. 8.

АВТОМАТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИСКРЕТНОГО ДЕЙСТВИЯ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИИ ФОТОСНИМКОВ
ПУЗЫРЬКОВЫХ И ИСКРОВЫХ КАМЕР, А ТАКЖЕ ЯДЕРНЫХ ФОТОЭМУЛЬСИЙ

СССР

П.И. Зейдлиц, В.А. Ямницкий,
А.Ф. Махаров, М.А. Кузьмичев,
В.В. Рябка, О.А. Дданович,
Н.Т. Оноприенко, И.А. Колтунов

В докладе сообщаются сведения об устройстве, назначении и основных характеристиках дискретного универсального автоматического комплекса, включающего в свой состав электронно-вычислительную машину "Днепр".

Комплекс, построенный целиком на стандартных элементах электронно-вычислительной машины, позволяет производить измерения координат, ионизации, многократного рассеяния на фотоснимках и в ядерных фотоэмульсиях. Данные с измерительных датчиков передаются непосредственно в запоминающее устройство машины "Днепр".

Блок-схема комплекса

Упрощенная блок-схема описываемого автоматического комплекса представлена на рис.1. На этом рисунке изображен лишь датчик для обмера снимков с трековых камер. Датчик для измерения координат треков в ядерных фотоэмульсиях будет описан ниже.

Схема автомата не отличается, в принципе, от схем существующих автоматов, но построение почти всех узлов основано на иных принципах.

Оптическая система, состоящая из осветителя, объектива и системы зеркал, проектирует увеличенное в 20 раз изображение фотоснимка, расположенного на измерительном столике, на обзорный экран.

Полупрозрачное зеркало пропускает часть светового потока на узел разворота изображения и, далее, на мишень передающей трубки типа суперортикон. В автомате применена промышленная телеустановка типа ПТУ-3М, сигналы с которой используются для автоматического сопровождения трека. На экране телевизионного приемника получается изображение участка измеряемого трека, увеличенное в 200 раз.

Узел разворота изображения (зеркальный аналог призмы Дове) позволяет развернуть изображение на мишени передающей трубки на любой угол, не нарушая его центровки.

В любой момент времени производится измерение координат той точки трека, которая проектируется в центр телевизионного растра. Для центрирования трека в растре служит следящая система.

Видеосигнал в схеме выработки ошибок преобразуется в величины боковой Δ и угловой $\delta\varphi$ ошибок (см.рис.2).

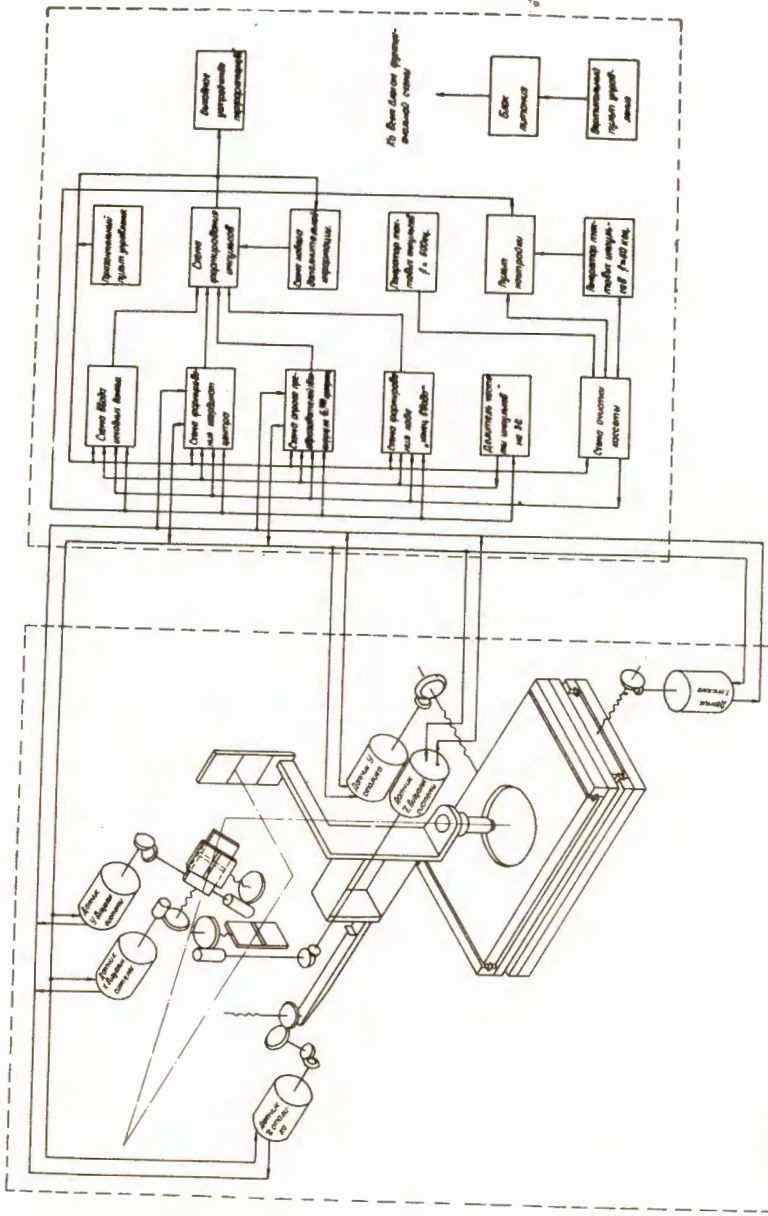


Рис. 9.

Сигнал угловой ошибки используется для разворота изображения (с помощью шагового двигателя M_ψ) до положения, когда касательная к треку становится параллельной оси раstra.

Сигнал боковой ошибки используется для автоматического центрирования трека по отношению к раstrу. Перемещение измерительного столика осуществляется шаговыми двигателями M_x и M_y . Величины перемещения измерительного столика по X и Y зависят от угла наклона трека к осям координат (см.рис.3).

Здесь Δ - вектор боковой ошибки, ΔX и ΔY - компоненты боковой ошибки, разложенные по осям X и Y . Вектор Δ , естественно, направлен по нормали к треку. Тогда:

$$\Delta X = -\Delta \sin \varphi; \quad \Delta Y = \Delta \cos \varphi.$$

Угол φ берется из узла разворота изображения, пересчет осуществляется в \sin - \cos узле. Величины ΔX и ΔY получаются в унитарном коде и подаются в виде импульсов на шаговые двигатели M_x и M_y . Эти же импульсы, подсчитанные в узле счетчиков координат, дают точные координаты точки трека, проектируемой в данный момент в центр раstra.

Описание работы отдельных узлов

Для автоматического сопровождения трека используются сигналы с выхода видеосмителя телеустановки. Из поля зрения телевизионной трубки с помощью кадровых полустробиов I и II строчного строга высекается участок с размерами 2/3 по кадру и 1/3 по строке (см.рис.4).

Стробированный видеосигнал с помощью пороговой схемы преобразуется в прямоугольный импульс, который используется для управления триггерами T1 и T2 (см.рис.5).

Передний фронт видеосигнала устанавливает триггер T1 в "единицу". Триггер T1 запускает генератор с частотой $f_1 = 4$ мГц. Задний фронт видеосигнала сбрасывает триггер T1 в "0", прерывая тем самым генерирование серии импульсов n_1 , и одновременно устанавливает в "1" триггер T2, который запускает генератор с частотой $f_2 \pm 2f_1 = 8$ мГц. Задний фронт строчного строга сбрасывает триггер T2 в "0", срывая генерацию серии импульсов n_2 .

Полученные пакеты импульсов n_1 и n_2 подсчитываются точным счетчиком. Счет в этом счетчике начинается не с нуля, а с $-n_0$, где n_0 - полуширина строчного строга (в масштабе количества импульсов с частотой $f_2 = 8$ мГц).

Таким образом в счетчике за одну строку накопится величина $n_1 + n_2 - n_0$. За время от конца одного до начала следующего строчного строга эта величина передается в сумматоры боковой и угловой ошибки, после чего счетчик сбрасывается, но не на нуль, а на $-n_0$.

В сумматорах происходят следующие операции:

$$\begin{array}{l} \text{сумматор } \Delta \mid \sum (n_1 + n_2 - n_0) \text{ в пределах 1-го кадрового полустробиа} \\ \text{сумматор } \delta\varphi \mid \sum (n_1 + n_2 - n_0) \\ \text{сумматор } \Delta \mid \sum (n_1 + n_2 - n_0) \text{ в пределах 2-го кадрового полустробиа} \\ \text{сумматор } \delta\varphi \mid \sum -(n_1 + n_2 - n_0) \end{array}$$

Таким образом, по прошествии одного полукрадра в сумматорах накопятся следующие числа:
сумматор Δ : $\sum (n_1 + n_2 - n_0) + \sum (n_1 + n_2 - n_0)$
сумматор $\delta\varphi$: $\sum (n_1 + n_2 - n_0) - \sum (n_1 + n_2 - n_0)$
Одновременно с этим отдельный счетчик считает число видеосигналов N в пределах обих кадровых полустробиов.

Задний фронт 2-го кадрового полустробиа дает команду на деление величин, накопленных в сумматорах, на величину N . Деление осуществляется методом последовательных вычитаний до тех пор, пока число в сумматоре не изменит знак.

Таким образом, число циклов вычитания представляет собой результат деления в унитарном коде.

Эти же результаты деления и являются величинами боковой и угловой ошибок, выраженные в унитарном коде:

$$\Delta = \frac{\sum (n_1 + n_2 - n_0) + \sum (n_1 + n_2 - n_0)}{N}$$

$$\delta\varphi = \frac{\sum (n_1 + n_2 - n_0) - \sum (n_1 + n_2 - n_0)}{N}$$

Легко видеть, что Δ представляет собой среднее расстояние от геометрического центра тяжести пузырька до оси раstra и обращается в нуль, если трек проходит через центр раstra. Угловая ошибка обращается в нуль при параллельном расположении трека и вертикальной оси раstra.

При отклонении трека в разные стороны от оси раstra знаки Δ и $\delta\varphi$ изменяются.

Следует отметить, что величина N играет особую роль. Поскольку размеры кадрового строга постоянны, число N , отнесенное к числу строк в кадровом строге N_c , есть заполнение трека пузырьками по длине, т.е. интегральная ионизация в пределах кадра:

$$\text{ионизация} = \frac{N}{N_c}$$

Величина N_c известна заранее, поэтому для характеристики ионизирующей способности быстрых (релятивистских) частиц достаточно выводить величину N .

При работе на нерелятивистских (сплюснутых) треках интегральная ионизация определяется по площади трека на заданной длине и подсчитывается сумматором ионизации (см.рис.5) как $\sum n_1 + \sum n_2$.

В случае измерения дифференциальной ионизации движение по треку осуществляется достаточно малыми шагами, в течение каждого шага в машину передается информация с одной строки. Все операции по определению спектра разрывов (длины пузырьков) выполняются машиной по специальной программе.

Итак, ошибки Δ и $\delta\varphi$ вырабатываются 50 раз в секунду. За 1/50 сек ошибка обычно не успевает накопиться более, чем 5+10 мк и, поскольку применяемые исполнительные двигатели

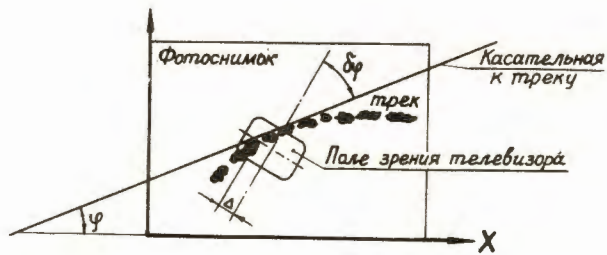


Рис. 2.

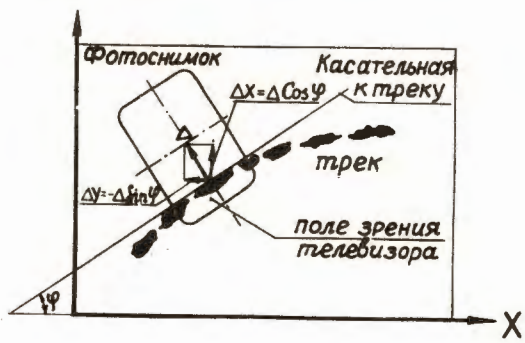


Рис. 3.

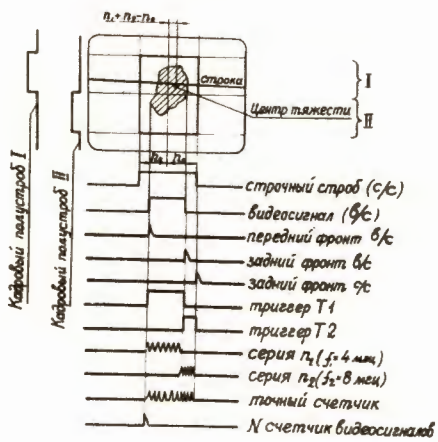


Рис. 4.

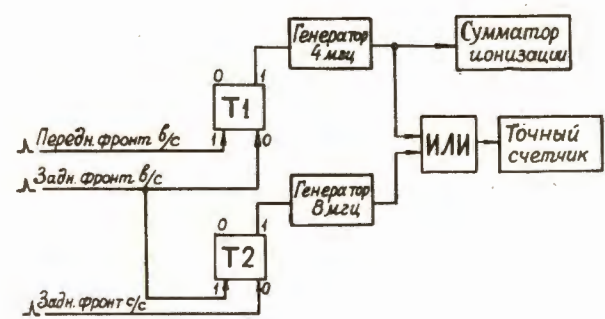


Рис. 5.

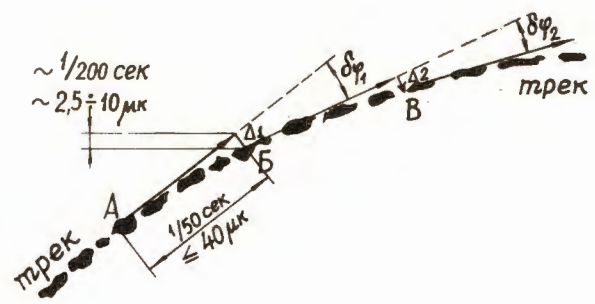


Рис. 6.

СИСТЕМЫ, ИСПОЛЬЗУЮЩИЕ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ КООРДИНАТ ТРЕКОВ НА СНИМКАХ ПУЗЫРЬКОВЫХ КАМЕР
МЕТОД ГРУБОГО ПРОСЛЕЖИВАНИЯ И СКАНИРОВАНИЯ В УЗКОЙ ЗОНЕ ВЕЛИЗИ ТРЕКА

СССР

Л.Л. Лихтенбаум

В В Е Д Е Н И Е

С появлением измерительных проекторов, первым среди которых был Франкенштейн, физики впервые получили в свои руки аппаратуру, измерявшую координаты точек треков на фотографиях в форме, понятной для вычислительных машин. Это был важнейший шаг не только потому, что эти устройства позволили измерить координаты тысяч треков, но и еще потому, что этот шаг показывал, насколько увеличиваются возможности экспериментатора благодаря разумному использованию вычислительных машин. К тому же это толкнуло математиков на разработку программы обработки данных камерных измерений. Однако были в методике использования измерительных проекторов не только светлые, но и темные стороны. В самом деле, в лабораториях, использующих измерительные проекторы, знают, что довольно часто случаются измерения на проекторах, возвращаются с вычислительных машин, как не прошедшие, и их приходится перемеривать снова. Как правило, причиной возврата являются ошибки при измерении координат опорных меток и первичных треков. Большинство этих ошибок происходит либо от невнимательности оператора, либо по неисправности прибора, которую пропустил обслуживающий персонал. Однако такие ошибки обнаруживаются слишком поздно, уже после возвращения непрошедшего через машину случая, когда уже трудно установить обстоятельства, сопутствовавшие возникновению ошибок. К тому же, при определении координат, на их точность влияют статические и динамические ошибки следящей системы, а в режиме ручной центровки точность определяется в значительной мере квалификацией оператора и его добросовестностью, да и скорость получения данных невелика из-за необходимости визуальной центровки. Рассмотрение этих сторон работы измерительных проекторов привело к поискам решения, свободного от этих недостатков; а именно, визуального центрирования на треке, и к поискам возможности немедленного анализа измеряемых данных с целью немедленного получения ответа - правильно ли измеряется событие, не вкралась ли ошибка. Иными словами, возникла идея совместной работы измерительного проектора с быстродействующими вычислительными машинами. Пионером в этом направлении явился доктор Альварец, предложивший в 1960 году идею просмотрового измерительного проектора СМП /1,2,3,5/

Просмотрово-измерительный проектор СМП

Собственно СМП представляет собой измерительный проектор, рис. I, в котором координаты на снимках измеряются по изображению двумя отсчетными системами, одна из которых грубая, а вторая точная /6,7/. Процесс измерения состоит в том, что оператор проводит входным отверстием чувствительной головки, на которое попадает часть изображения, по треку или по меткам; при этом грубая отсчетная система приблизительно определяет положение чувствительной головки относительно неподвижной координатной сетки и находит ближайший к данному участку узел координатной сетки, а точная измерительная система, использующая принцип сканирования в узкой зоне, точно определяет расстояние данного участка трека до выбранной координатной отметки. При этом все измерения ведутся по изображению, без точной центровки оператора на треке или на метке. Оператору достаточно только навести чувствительную зону, имеющую диаметр примерно 0,6 см на трек. Это намного облегчает работу оператора. При этом вышается и точность, так как определение точной координаты середины данного участка трека уже не зависит от оператора, а производится системой точного измерения автоматически. Данная измерительная система СМП представляет собой сканирующее устройство, развертывающее изображение снимка по координатной сетке с заранее измеренными координатами. Идея использования сканирующего устройства для точного определения положения ближайшего участка трека по отношению к точке, координаты которой известны, является весьма плодотворной. Пути создания измерительных проекторов со сканирующими устройствами идут в ряде лабораторий, как, например, в лаборатории им. Резерфорда в Англии, в лаборатории профессора Соковского в Варшаве, в институте экспериментальной и теоретической физики в Москве, в военно-морской исследовательской лаборатории США, в Ереванском физическом институте, в институте физики высоких энергий в ГДР / 5,8,9,10/.

Сканирующее устройство СМП

В настоящее время разработано довольно много систем сканирующих устройств, общим для всех них является применение развертывающего устройства, позволяющего получить информацию о положении трека в пределах небольшой чувствительной зоны. Так для этой цели в системе СМП используется сканирующее устройство (рис. 2), которое состоит из зеркального вращающегося перископа, на входное отверстие которого попадает изображение части кадра, стеклянной фотопластины, на непрозрачной поверхности которой выдавлены прозрачные углубления диаметром 0,5 мм, нанесенные с большой точностью (25 микрон), в узлах квадратной сетки со сторонами 1 см; светоприемника, состоящего из кольцевой линзы и фотоумножителя. Работа системы, определяющей точные координаты, происходит следующим образом: свет от изображения попадает

на первое зеркало вращающегося перископа, которое отклоняет световой пучок в направлении второго зеркала. Второе зеркало отстоит от первого на расстоянии 2,4 см, оно отражает свет на поверхность стеклянной пластины с опорными метками. При вращении перископа пятно света, отбрасываемое зеркалом на стеклянную пластинку, движется по кольцу, пересекая при своем движении ряд прозрачных опорных меток. Свет, рассеянный метками, собирается кольцевой линзой и попадает на фотоумножитель, создавая на его выходе импульсы напряжения. Изображение трека, попадая во входное отверстие перископа, также начинает обегать кольцевую зону, пересекая метки. Затемнение света, попадающего на метку, вызванное изображением трека, вызывает на выходе ФЭУ появление импульса отрицательной полярности, расположенного на плато, определяемого прохождением светового пятна (рис. 3). Специальная электронная схема, вырабатывает сигнал, соответствующий середине сигнала от трека, который позволяет определить мгновенное значение точных координат середины трека. Для определения этих координат используются счетные импульсы, записанные на барабане перископа, считываемые специальными магнитными головками. Эти импульсы подсчитываются электронными счетчиками, что позволяет определить мгновенное значение составляющих радиуса вектора, связывающего центр входного отверстия перископа с опорной меткой, которую в данный момент пересекает изображение трека. /6,7/

Способ измерения точных координат в СМП

Образование точной координаты происходит следующим образом: составляющая радиуса вектора $R_x = R \cos \varphi$; $R_y = R \sin \varphi$, где φ - мгновенное значение угла поворота перископа. Зная грубые координаты центра входного отверстия, чувствительной головки, измеренные грубой измерительной системой, мы можем определить приближенные координаты центра вращающегося пятна, пересекающего в данный момент опорную метку

$$x_n = x_r + R_x \quad y_n = y_r + R_y.$$

Эти координаты вычисляются вычислительной машиной, непрерывно связанной с СМП. Чтобы перейти к точным координатам опорной метки, которые заранее измерены с большой точностью, полученные координаты x_n, y_n округляются до ближайшего целого числа. Эта операция также производится вычислительной машиной. Для определения точных координат точки трека необходимо проделать следующие операции: из точных координат опорной метки, которая найдена благодаря полученным ранее округленным координатам, вычесть мгновенные значения составляющих радиуса вектора, величины которых определены в момент пересечения опорной метки изображением трека. Таким образом, точные координаты точки трека будут:

$$x_T = x_0 - R_x; \quad y_T = y_0 - R_y,$$

где

$$x_0, y_0 \text{ точные координаты опорной метки.}$$

Вычисление этих координат легко делается вычислительной машиной. За один оборот перископа сигнал для определения координат может появиться несколько раз, в соответствии с тем, что изображение трека может пересечь несколько опорных меток^{4/}.

Сканирующие устройства других лабораторий

Другой вариант сканирующего устройства был доложен на конференции по физике высоких энергий в августе 1964 г. в докладе Кондона и Герца "Применение телевизионной передающей трубки к измерениям снимков с пузырьковых камер"^{II/}, в котором сообщалось о разработке сканирующей системы, использующей в качестве сканирующей головки видикон с растровым разложением по элементам строк. В этой системе растр состоит из 256 строк, каждая строка разделена на 36 элементов. Информация о треке получается путем анализа этих элементов (рис. 4) и подсчетом числа затемненных участков мишени, параллельной треку. Из этой информации машина извлекает координаты участка трека длиной в 1 мм по пленке и добавляет их к координатам центра оптической системы, измеряемым обычным способом с помощью дифракционных решеток.

В лаборатории профессора Сосновского в Варшаве также ведется разработка сканирующего устройства. В предлагаемой системе осуществляется развертка изображения кадра в проекционном устройстве с помощью двух взаимно перпендикулярных вращающихся щелей, создающих два световых луча опрашивающих кадр. Бегущая строка изображения от одной из щелей, попадая на щель перед фотоумножителем, позволяет получить сигнал, фиксирующий мгновенное угловое положение этой щели, затем строка, перпендикулярная первой, от второй щели создает второй видеосигнал, позволяющий определить время от момента прохождения щелью реперной отметки до момента пересечения этой же щелью трека, измеряемое числом импульсов. Таким образом определяется сначала одна координата точки трека, скажем X , а затем координата Y .

В институте теоретической и экспериментальной физики было предложено для сканирования зоны вокруг трека и определения точных координат использовать механическую систему из двух колеблющихся взаимно-перпендикулярных щелей, создающих колеблющиеся отверстие, направление и амплитуду колебаний которого можно менять, изменяя амплитуду колебаний щелей. Координаты колеблющегося отверстия предлагается измерять посредством дифракционных решеток, нанесенных фотографическим путем прямо на колеблющиеся пластины со щелями (рис. 5). Счетные импульсы считаются от среднего положения решеток до возникновения переднего фронта видеосигнала, затем считается каждый второй импульс до возникновения заднего фронта видеосигнала. Таким образом к концу видеосигнала получается расстояние середины трека от

среднего положения решеток. Измеряемую таким образом координату предлагается добавлять к координатам центра колеблющейся системы, измеряемым с помощью дифракционных решеток обычными методами. Описанное выше сканирующее устройство предлагалось как добавочная часть к имеющимся в ИТЭФ измерительным проекторам. В этом же направлении разрабатывается электронное сканирующее устройство, использующее телевизионную развертку. Лаборатория С.Я.Никитина совместно с МИФИ разрабатывает просмотрно-измерительный проектор, аналогичный прототипу МР.

В Институте Физики высоких энергий в ГДР разработаны два варианта сканирующего устройства: электронный, использующий видикон, и механический, использующий вращающееся многогранное зеркало. В электронном варианте изображение части кадра, заключенное внутри круга ϕ 2 мм, по пленке, отбрасывается на видикон, в котором вырабатывается видеосигнал при пересечении электронным лучом изображения трека на мишени видикона. Расстояние середины трека от начала линии развертки, оптически совмещенного с осью проекционной системы, определяется подсчетом числа импульсов, получаемых от специального генератора, за время между началом развертки и моментом пересечения разверткой изображения трека плюс число импульсов внутри трека, считаемых через один. Измеренное таким образом расстояние добавляется к координатам центра оптической системы, измеряемым обычным способом дифракционными решетками, связанными с движущимися платформами измерительного микроскопа.

В предлагаемом механическом варианте часть изображения отбрасывается на вращающееся двенадцатигранное зеркало, которое перемещает это изображение перпендикулярно щели, за которой находится фотоумножитель, выдающий видеосигнал от трека. Получаемая таким образом добавка координаты прибавляется к координатам оптического центра. Предусмотрено дополнительное устройство для измерения ионизации.

В Ереванском физическом институте ведется разработка сканирующего устройства, использующего механическую развертку изображения с помощью движущейся щели, позволяющей получить видеосигнал от трека и определить его координаты как добавку к координатам оптического центра на кадре, которые измеряются дифракционными решетками, связанными с каретками измерительного микроскопа МБИ, а величина добавки измеряется как и в других проектах, подсчетом числа импульсов, от специального генератора за время между моментом пересечения щелью границы зоны и границы изображения видеосигнала, с прибавкой половины импульсов, приходящих на вход счетчика за время пересечения щелью изображения видеосигнала. В электронной части предлагаемого сканирующего устройства используются стандартные элементы от вычислительной машины Раздан 2. Вывод информации предполагается производить непосредственно в машину Раздан 2.

Сканирующее устройство, разработанное в Беркли, позволяет определить "добавку" к точной координате узла координатной сетки, ближайшего к данному участку трека. Нахождение же этого узла координатной сетки осуществляется с помощью грубой координатной системы, являющейся частью просмотрового стола, который представляет самостоятельный интерес, как пример остроумного решения конструкции. Просмотровый стол включает в себя лентопротяжный механизм на одну пленку с тремя проекциями, оптическую часть, в которой использованы три объектива с фокусным расстоянием 300 мм. В проекционной системе используется длинный световой луч (около 3 м) для того, чтобы иметь малую расходимость светового пучка и минимальную дисторсию, и чтобы сделать изображение резким как на поверхности измерительного стола, так и на стеклянной пластинке с опорными метками. Система из двух зеркал, закрепленная на стеклянной колонне, придающей ей достаточную жесткость, отбрасывает увеличенное в 15 раз изображение на поверхность измерительного стола (Рис.6). Верхняя поверхность измерительного стола представляет собой белую шторку, укрепленную на роликах, в которой сделан вырез шириной 10 см, внутри которого может двигаться вторая шторка поперек стола. В маленькой шторке пробито отверстие диаметром 0,6 мм, под которым укреплен перископ. В краях шторки пробиты отверстия, позволяющие грубо определять положение перископа.

В проекте, разрабатываемом в ИТЭФ, используется измерительный проектор, переоборудованный под пленку шириной 80 мм. Оптическая система этого проектора позволяет получать на экране увеличенное в двадцать раз изображение кадра. Часть изображения кадра системой призм отводится в сканирующее устройство, которое определяет "добавку" по одной из осей координат к координатам центра сканирующего устройства. Измерительный проектор является достаточно жесткой конструкцией, поэтому не приходится опасаться изменения положения зеркал относительно экрана. Так как на чувствительную зону сканирующего устройства попадает только центральная и притом очень маленькая часть изображения, можно пренебречь дисторсией объектива, что отличает эту систему от СМП, где поправки на дисторсию вводятся при вычислениях на ЭВМ. Варшавский проект предполагает разработку специального стола, на котором изображение создается бегущим световым лучом. Эта система также позволяет пренебречь дисторсией.

В настоящее время только СМП в Беркли является работающим прибором, на котором фактически ведутся измерения. Остальные предложения являются проектами, находящимися на разных стадиях технического воплощения. По последним опубликованным данным /6,7/ измерения координат одного трека требуют на СМП 10-15 сек. Средняя квадратическая ошибка составляет 4 микрона по пленке.

Как стало ясно из предыдущего описания, вычислительная машина, непрерывно связанная с системой СМП, является ее неотъемлемой частью /4,6/. В первоначальном варианте предлагалось использовать совместно с СМП вычислительную машину ИБМ 709. В работающей системе СМП используется машина ИБМ 7040. Связь вычислительной машины и измерительных проекторов СМП регламентируется специальной исполнительской программой В.М. Один из вариантов такой программы имеет следующую структуру: начало операций происходит в тот момент, когда оператор нажимает кнопку пишущей машинки, после чего В.М. печатает на пишущей машинке запрос о номере кадра и типе события, которое должно быть обработано. Оператор печатает ответ. Вычислительная машина устанавливает нужный кадр в проекционной системе, проверяет соответствие номера кадра заданному номеру и предлагает начать измерение. Всякий раз, когда координаты точек и номер СМП появятся на линии прямой связи, требование прямой связи посылается в машину, в результате чего происходит переход от выполнения программы вычисления к программе связи с СМП и координаты немедленно поступают в буферную память. После того, как координаты опорных меток и треков поступили в память машины, она приступает к выполнению программы фильтрации полученных данных. Операция фильтрации занимает в машине ИБМ 709 около двадцати секунд на событие. После фильтрации машина может выдать отфильтрованные данные на магнитную ленту. Следующей операцией является операция геометрического восстановления, при выполнении которой вводится коррекция на искажения в проекционной системе. Во время выполнения программы геометрического восстановления, машина, в случае обнаружения неправильных данных, требует от оператора перемера в плохом участке события. Так как процесс обработки идет очень быстро, практически одновременно с обмером координат, то операция перемера происходит в том же положении пленки и не отнимает дополнительного времени. Благодаря такой системе, как бы диалога между машиной и оператором, когда машина все время контролирует ход измерений, ошибки оператора могут быть на ходу поправлены, что позволяет получить более надежные данные. По окончании программы пространственного восстановления машина может либо вывести полученные данные на магнитную ленту, либо в соответствии с заложенной гипотезой проводит кинематическую подгонку, опять-таки не теряя связи с оператором, и в случае возникновения трудностей машина извещает об этом оператора и требует либо дополнительных данных, либо отвергает предложенную гипотезу. Все операции связи с оператором осуществляются при помощи пишущей машинки и просмотрового проектора СМП. Поскольку процесс обработки на машине данных занимает секунды, а процесс обмера события требует времени порядка минуты, одна вычислительная

машина может работать совместно с несколькими СМП. Для вычислительной машины ИБМ 709 возможно совместное использование 3-8 СМП. Для машины ИБМ 7090 число совместно используемых СМП может быть доведено до 15. Естественно, что исполнительная программа вычислительной машины организована таким образом, что воспринимает данные от очередной СМП только в том случае, если есть достаточно свободное место в памяти машины. При выполнении этого условия включается подпрограмма, занимающаяся вводом информации в память и разрешает начать ввод данных, в случае отсутствия места в памяти, ввод запрещается до освобождения места в памяти за счет обработки данных. Из опубликованных данных видно, что процессы ввода и связанные с ними операции занимают меньше одного процента машинного времени и поэтому не уменьшают сколько-нибудь заметно скорости вычислений. В современном состоянии считается, что 15 СМП, связанных с ИБМ 7090 смогут обрабатывать 4 события каждую минуту. Такая система могла бы обрабатывать 500000 событий в год при односторонней работе. Можно привести сравнительные данные СМП и Франкенштейна о количестве выброшенных и прошедших обработку событий.

Сравнение СМП и Франкенштейна

Таблица сравнительных данных

	К-63		П-63	
	СМП	Франк.	СМП	Франк.
Процент сброшенных данных	13,4	16,3	4,7	7,7
Процент подогнанных кинематических гипотез	72,5	73,3	92,9	78,0

Хотя сравнительные данные пока еще отличаются не очень сильно, дальнейшее улучшение программы сделает СМП значительно более быстродействующей и дающей более надежные данные системой, чем Франкенштейн^{/6/}.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

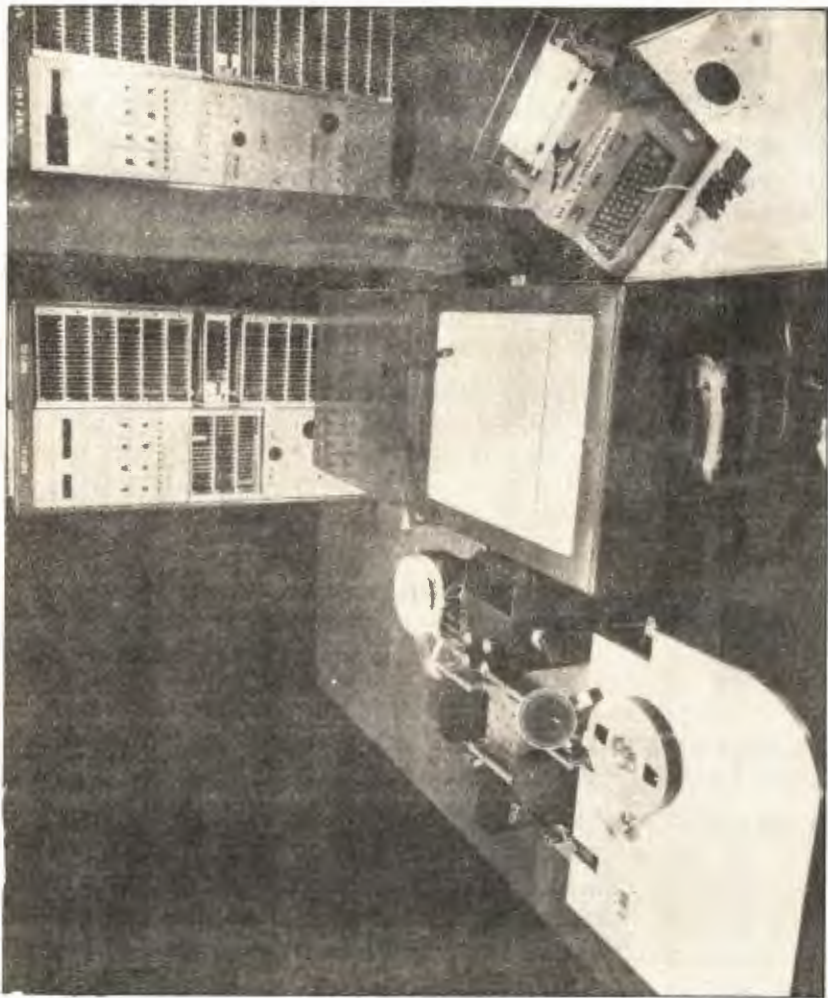
Из сказанного видно, что система СМП, связанная с современной быстродействующей вычислительной машиной, является почти идеальным инструментом для обработки сложных событий. В системе СМП существует два очень привлекательных момента: первый момент - это сканирующее устройство, позволяющее без кропотливой центровки на треке, а только проводя вдоль него чувствительной головкой, снимать информацию в пределах полосы вокруг трека, ширина которой равна ширине чувствительной зоны головки; вторым моментом является совместное использование СМП и вычислительной машины, позволяющие получать весьма надежные данные.

Оборудование измерительных проекторов типа Франкенштейн сканирующими устройствами того или иного типа, стоящими сравнительно недорого, позволило бы повысить скорость об-

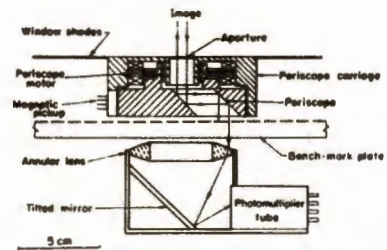
работки, а в случае присоединения к вычислительной машине сделало бы измерительные проекторы конкурирующими с СМП.

Л и т е р а т у р а

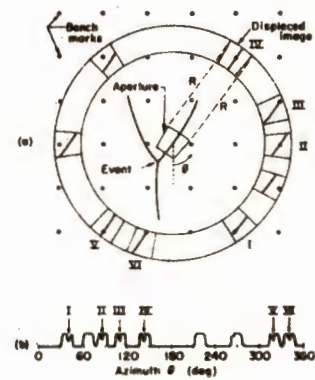
1. G.R. Macleod. The development of data analysis systems for bubble chambers, for spark chambers and for counter experiments. Nuclear Instruments and Methods 20. 1963.
2. R.I. Hulsizer. Development of a bubble chamber data analysis using several scanning - measuring - projectors on-line to a digital computer. Nuclear Instruments and Methods 20. 1963.
3. Д. Каржавин. Автоматизация измерений по снимкам с пузырьковых камер. Препринт ОИЯИ 1964. № 1552, Дубна.
4. W. Humphrey. Programming for the SMP. Programming for HPD and other Flying spot devices, Proceeding of meeting on programming in Paris. 1963.
5. Y. Goldschmidt-Clermont. Progresses in data handling for high energy Physics. The 1964 International Conference on high energy physics.
6. W. Humphrey and R. Ross. Operation of the SMP data analysis system. The 1964 International conference on high energy physics.
7. P.C. Davey, R.I. Hulsizer, W.E. Humphrey, J.H. Munson, R.R. Ross, A.J. Schwenin. Scanning and Measuring Projector. The review of Scientific Instruments 35. 1964.
8. R. Rose (DDR) privat communication
9. Сосновский (ЛНР) частное сообщение
10. P. Condon and A. Herz. Application of Television Pickup to Bubble Chamber Measurement. The 1964 International Conference on High Energy Physics.



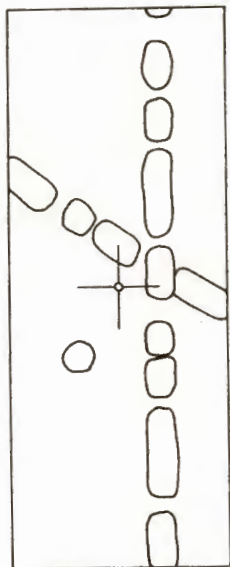
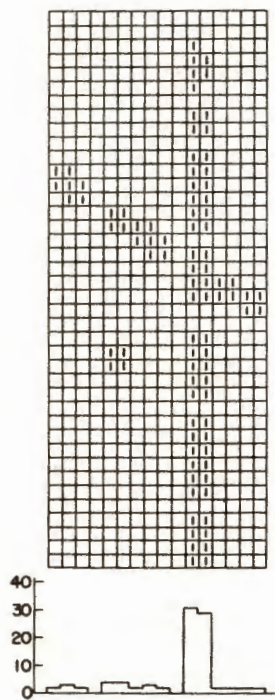
1. Общий вид просмотрового измерительного проектора СМП.



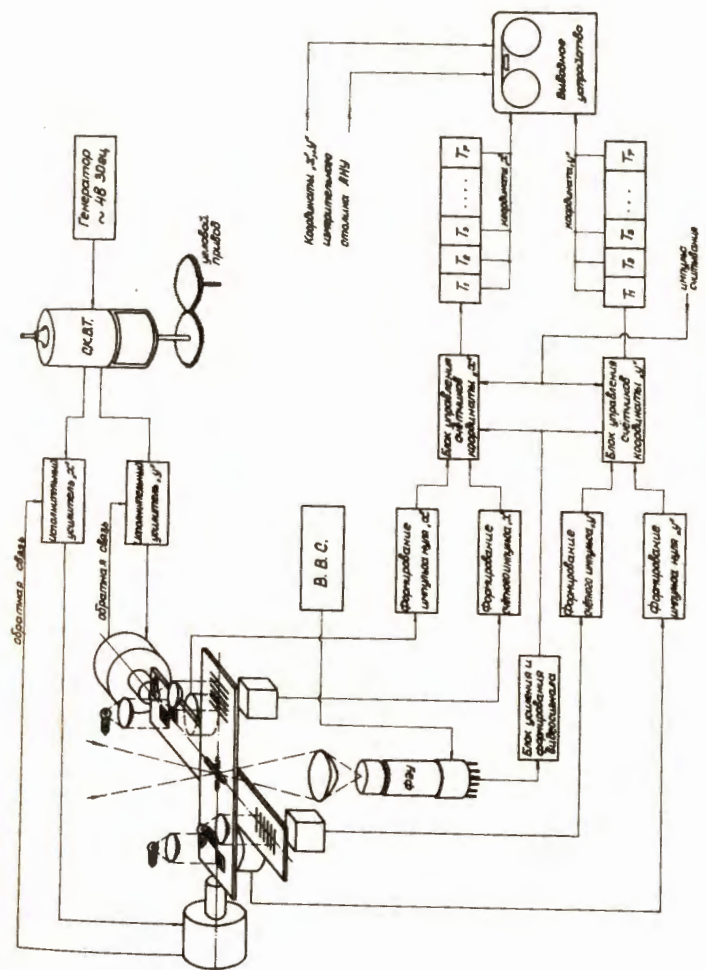
2. Сканирующее устройство СМП.



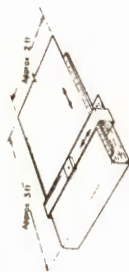
3. Образование сигнала для отсчета точных координат в СМП.



4. Растровое разложение в сканирующем устройстве Кондона и Герца.



5. Проект сканирующего устройства ИТЭФ.



6. Схема просмотрового стола СМГ.

(О б з о р по НРД)

СССР

О.П.Федотов

Прошло 4 года со времени опубликования Хау и Поуэллом проекта устройства растрового разложения снимков пузырьковых камер с помощью "летающего светового пятна" /1,2/. С тех пор те или другие разновидности устройства НРД, или, как их еще называют, FSD, получили большое развитие в лабораториях многих стран, в том числе в Беркли, Брукхавене, ЦЕРНе, Резерфордской лаборатории, во Франции, а также в СССР - ФТИ АН УССР, ОИЯИ и ИТЭФ / 3,4,5,6,7 /.

С появлением НРД физики-экспериментаторы получили устройство, позволяющее повысить скорость обмера координат треков на камерных снимках по сравнению с существовавшими до этого приборами в несколько десятков раз. Помимо обмера координат устройство растрового разложения дает возможность автоматизировать операцию просмотра и получить полностью автоматический процесс обработки камерных снимков. В этом, пожалуй, главное преимущество НРД перед другими современными системами обработки. Однако сейчас, пока еще задача автоматизации просмотра не нашла своего рационального решения, параллельно с поисками этого решения, НРД используется для обмера и обработки снимков, прошедших предварительный просмотр человеком. В таком применении один прибор НРД может обрабатывать до 0,5 - 1 млн. событий в год.

I. Обработка снимков с неавтоматизированным просмотром

Процесс обработки снимков с неавтоматизированным просмотром включает в себя обычно следующие операции: 1) просмотр и грубый обмер, 2) точный обмер координат, 3) обсчет геометрии и кинематики события в электронно-вычислительной машине и получение окончательных результатов. Вторая операция производится при непосредственном участии электронно-вычислительной машины (ЭВМ).

I) Просмотр и грубое цифрование снимков

Полученная при фотографировании камер пленка поступает на просмотрный стол, оборудованный грубым отсчетным устройством. Оператор просматривает пленку, находит снимок, содержащий интересное событие, и обмеряет грубо три координаты на каждом

треке события и координаты опорных меток. Эта информация вместе с номером пленки, номером события и проекции и дополнительными сведениями о характере события отбивается на перфокарте. После проверки перфокарты вводятся в ЭВМ; в некоторых лабораториях информация с перфокарт переписывается на магнитную ленту перед вводом в машину.

На просмотрном столе координаты точек трека и меток снимаются с точностью 50–100 мк. Обычно координаты отсчитываются с помощью преобразователей перемещения в импульсы реверсивных счетчиков. Так, например, производится цифрование на столе "Миледи" /8/, общий вид которого представлен на рис.1. В ИТЭФ разработан просмотрный стол типа координатографа с отсчетом координат по изображению снимка на столе с помощью кодирующих дисков. Координаты измеряемой на этом столе точки выводятся без применения счетчиков сразу в обычном двоичном коде. Цена отсчета, приведенная к пленке, 10 мк, поэтому просмотрный стол может использоваться и как полуавтоматическое измерительное устройство с выводом координат на перфокарты для тех задач, где точность порядка 10 мк достаточна. Снимок проектируется с 10-кратным увеличением на поверхность стола размерами 80 x 80 см. Подобный просмотрно-измерительный стол (с ценой отсчета 10 мк) разработан также в ЦЕРНе /9/. Площадь стола 120x120 см. Отсчет координат ведется с помощью число-импульсных датчиков и реверсивных счетчиков.

В связи с появлением больших камер возникла задача просматривать и грубо обмерять снимки больших форматов, длиной до 200 + 250 мм. Так как для просмотра необходимо иметь перед оператором весь кадр целиком, а для обмера нужно иметь изображение размером не менее 1:1, 1:2 по отношению к камере, приходится идти на увеличение размеров просмотрного стола. В ЦЕРНе, например, разработан стол с двумя экранами длиной 2 м (рис.2). На этом столе одновременно работает 4 просмотрщицы, по две на каждой проекции. В ИТЭФ предполагается вести просмотр снимков длиной более, чем 80 мм, на столе большого размера, а цифрование, т.е. грубый обмер отобранных событий вести по частям на просмотрно-измерительном столе площадью 80 x 80 см.

Просмотр и грубый обмер снимков обычных форматов по данным Беркли и Брукхэвена /3,5/ занимает 3–5 минут. Таким образом 10–15 просмотрных столов при 8-часовой работе в сутки могут давать до 500 тысяч подготовленных для НРД снимков в год.

2) Получение точных координат треков. Вопросы связи ЭВМ с устройством растрового разложения / 10,11, /.

На втором этапе обработки вычислительная машина по введенным в нее данным с просмотра определяет, какие треки и на каких проекциях события, а также в каком направлении и с каким

шагом нужно разлагать в растр. Фотопленка с просмотрового стола переносится в устройство растрового разложения, управление которым передается вычислительной машине. Пока на устройстве разложения по команде с ЭВМ система поиска кадра находит нужный кадр и устанавливает его на начало обмера, ЭВМ аппроксимирует по заданным трем точкам треки отрезками окружности или параболы и по их уравнениям определяет координаты дорожек вдоль треков, из которых будет сниматься информация. Ширина дорожек выбирается такой, чтобы треки события заведомо попали в них, обычно это 10–15 ширины трека, т.е. около 300 мк. Для привязки данных, полученных на просмотровом столе, к системе координат измерительной платформы устройства разложения, в начале разложения снимка сканирующее пятно опрашивает координаты опорных меток на пленке.

Подсчет координат краев дорожек на каждой строке разложения производится одновременно с движением измерительной платформы с пленкой под разворачивающим устройством, с таким расчетом, чтобы они были готовы к моменту начала очередной строки разложения.

Разложение снимка сначала производится в направлении поперек трекам первичного пучка частиц. Такое разложение делается всегда. Второе, ортогональное, скалирование производится при наличии треков события, идущих под углом, меньшим 30° к направлению нормального сканирования. В некоторых лабораториях за наименьший угол принят угол 45° . По данным Бено и др. [12] точность обмера координат пузырьков разрывного трека при сканировании под углом 90° к треку составляет примерно 3 мк, под углом 45° — 4 мк, а под углом 30° — 7 + 8 мк. Это связано с тем, что пересечение пузырька трека не по центру его, дает в случае наклонного (неперпендикулярного) к треку сканирования координату, смещенную от оси трека, так как снимаются всегда координаты, соответствующие середине видеосигнала от пузырька. Середина видеосигнала получается обычно аналоговым или цифровым способом с точностью около $1/10$ ширины видеосигнала.

Разложение снимка производится световым пятном диаметром 15–20 мк, которое в прототипе НРД получается с помощью двух пересекающихся под углом 90° щелей, одна из которых неподвижна, а вторая расположена по радиусу вращающегося диска (рис.3). Для освещения щелей используется лампа мощностью около 1 квт. В Брукхэвене в приборе "Марк-2" (I4) используются вместо щелей цилиндрические "нитяные" линзы диаметром 1 мм (рис.4). Это позволяет получить достаточной интенсивности изображение источника света на пленке при использовании лампы на порядок меньшей мощности. При этом достигнуто уменьшение диаметра сканирующего пятна до 8 мк. В ИТЭФ в этих же целях экономии света перемещение придается широкому параллельному пучку света, который затем фокусируется на пленку в виде движущегося пятна диаметром 15 мк.

В последние годы для сканирования снимков стали широко применяться катодно-лучевые трубки с высоким разрешением (до 4000 строк). На трубках удается получить световое пятно диаметром 8 мк.

Положение светового пятна на снимке в FSD определяется с помощью амплитудной (черно-белой) решетки с шагом порядка 20 мк, на которую отводится часть сканирующего светового луча, и генератора интерполяционных меток, сигналы с которых считаются двоичными счетчиками. Координаты положения измерительной платформы под линией развертки определяются, ставшей уже обычной, дифракционной системой, использующей эффект муаровых полос, с точностью 2-2,5 мк. Сейчас ведутся разработки систем на отражательных решетках (предложенных Герасимовым ГОИ), которые позволяют работать с очень большим (до нескольких сантиметров) зазором. В случае использования катодно-лучевых трубок надобность в определении координат с помощью дифракционных решеток отпадает, так как современные трубки со специальной коррекцией токов отклоняющих систем, позволяет получить координату положения пятна по значению отклоняющих токов с точностью лучше, чем 10^{-4} . Однако это довольно сложные системы и проще оказывается иногда использовать дифракционные решетки. Так, например, сделано в экспресс-автомате Харьковского ФТИ, где определение обоих координат положения пятна на трубке ведется с помощью амплитудных решеток /8/.

Точные координаты треков снимка, полученные при сканировании, выводятся затем в ЭВМ и сравниваются с координатами краев дорожек маски. Те из координат, которые попали внутрь дорожек, пропускаются в память машины. Применение такой селекции (метод цифровой маски) уменьшает количество выводимой со снимка информации примерно на порядок. Так, со снимка, содержащего 20-30 пучковых треков, при шаге сканирования 50 мк можно получить 30-50 тысяч точек. Эта лента составляет затем ввод для программы геометрической реконструкции.

FSD позволяет вести также измерение ионизации треков. Цена этой информации состоит в увеличении времени обмера снимков, поскольку требуется меньший шаг сканирования, примерно равный диаметру пузырька.

Время обмера координат треков на устройстве растрового разложения зависит от конструкции сканирующего устройства, от шага сканирования и от параметров применяемой для управления вычислительной машины. Собственно устройство разложения (её оптико-механическая часть) позволяет сканировать три стереопроекции за 5-10 сек. На катодно-лучевой трубке можно получить время обмера - меньше 1 сек.

Теперь подробнее остановимся на связи ЭВМ и устройства разложения на примере одной из программ совместной работы ЭВМ с устройством разложения, которая была написана в Беркли с помощью Брукхэвена и ЦЕРНа для машины фирмы ИБМ и названа "ХЕИЗ" /I4, i5/. "Хейз" вы-

полняет все необходимые операции управления устройством разложения, т.е. диспетчерские функции, а также производит селекцию информации с помощью цифровой маски и фильтрацию информации, снятой внутри дорожек маски.

По программе "Хейз" сравнение координат треков, пересеченных линией сканирования, с координатами краев производится в вычислительной машине, куда передаются координаты всех треков на строке. В ОИЯИ и ИТЭФ, в отличие от "Хейз", селекция информации производится непосредственно на устройстве растрового разложения путем отпирания выхода фотоумножителя только в моменты пересечения сканирующим пятном зон маски. Управляющие фотоумножителем сигналы выделяются при совпадении координат положения сканирующего пятна и координат дорожек маски, записанных заранее вычислительной машиной в специальные регистры сравнения или счетчики. Этот метод уменьшает требование к вычислительной машине. Подобный способ селекции предложен в ЦЕРНе /16/.

Большое внимание в устройствах НРД уделяется фильтрации информации, полученной из зон маски, т.к. соседние с полезным треком точки чужих треков (в основных пучковых треков) сильно ухудшают точность построения треков события из разрозненных точек. Количество вредной фоновой информации, находящейся в зонах маски при наличии 20 пучковых треков на снимке, составляет примерно 1:1, 2:1 по отношению к полезной. В программе "Хейз" фильтрация осуществляется следующим образом. Подпрограмма фильтрации берет группы по 20 точек из каждой дорожки. Строятся гистограммы расстояния точек от края дорожки. Точки треков, параллельных касательным к краям дорожки, дают максимальный пик. Дискриминация по определенному уровню определяет несколько точек, с большой вероятностью принадлежащих треку события. Найденные точки выводятся на магнитную ленту для ввода в геометрическую программу. Обычно этих точек оставляют 5-10 на трек. В программе, развитой Резерфордской лабораторией для машины Ферранти-Орион, несколько другая технология фильтрации /17/. Программа фильтрации работает с группами точек, соответствующими 32 сканирующим линиям (это постоянная длина элементов трека). После определения точек трека путем построения гистограмм, полученные данные используются для уточнения положения и сужения дорожки на следующий отрезок трека; постепенно дорожка сужается с 300 до 20 мк. Большой интерес представляют способы, в которых фильтрация информации производится непосредственно на устройстве растрового разложения, до ввода в ЭВМ. Эти методы основаны на использовании такого параметра, как угол наклона трека. В установке ОИЯИ /4/, в устройстве ПЕПР (Массачусетский технологический институт /3,18/) сканирование снимков ведется не пятном, как обычно, а щелью (отрезком линии) длиной 1 мм в масштабе пленки. Используется набор щелей с разным наклоном, или одна сканирующая щель (получаемая по предложению Баррена и Вудли /19/ на экране катодно-лучевой трубки), которая может иметь 30 различных значений угла наклона от -45°

до $+45^{\circ}$ по отношению к направлению сканирования. Таким образом, для любого угла наклона сканируемого трека можно подобрать такое угловое положение цели, при котором она будет с точностью $1,5^{\circ}$ параллельна треку. Амплитудная селекция сигналов трека, при сканировании целью с таким наклоном, позволяет исключить информацию от треков, идущих не параллельно полезному треку, т.к. при разнице углов наклона трека и цели всего в 2° сигнал уменьшается уже в 2 раза. Управление наклоном сканирующей цели ведется из ЭВМ. Метод позволяет хорошо фильтровать точки, лежащие внутри маски. Недостатком его является невозможность измерения ионизации треков. В ИТЭФ фильтрация осуществляется также непосредственно при сканировании, при этом информация о ионизации треков сохраняется.

Опрос трека не в отдельных точках, а определенными кусками (элементами) длиной l мм имеет еще одно преимущество. Он позволяет кодировать треки значительно меньшим объемом информации, если выводить координаты начала элементов, длину элементов и угол их наклона. Такой способ дает примерно десятикратное уменьшение объема выводимой информации. Это сильно уменьшает требования к вычислительной машине при обработке снимков методом цифровой маски (т.е. при неавтоматизированном просмотре) и облегчает "машинный просмотр" снимков при полностью автоматизированной обработке.

Программа "Хейз" на различных вычислительных машинах идет разное время. На ИБМ-7090 "Хейз" занимает 5 сек из 15 сек всего времени обмера снимка на сканирующем устройстве, так что 10 сек. остается для программы геометрической реконструкции и кинематического об-счета /3/. На ИБМ-709 "Хейз" занимает в 3 раза больше времени и кинематический обсчет маши-на провести не успевает. Это делается потом отдельно.

Средняя скорость обработки, полученная сейчас в Беркли на НРД + ИБМ -7090 - $3 + 5$ соб./мин. Несколько меньшая скорость - примерно 1 соб./мин. получена в Брукхэвене /4/.

Программа "Хейз" занимает 12 тысяч слов из всей оперативной памяти ИБМ-7090 в 32 тысячи слов. Оставшиеся 20 тысяч слов используются для размещения геометрической и кинематической программы. Однако полностью эти программы не уместятся в оперативной памяти, что приводит к частым обращениям к магнитной ленте и появлению частично обсчитанных событий. В Беркли сейчас 1,5 часа в день используются дополнительно для геометрического и кинематического обсчета событий.

В целях экономии памяти вычислительной машины и исключения проблемы одновременности нескольких программ, в некоторых лабораториях предложено отделить большую вычислительную машину от устройства растрового разложения и возложить на нее лишь обязанности по геометрическому и кинематическому обсчету информации, снятой при сканировании снимка (например, в Дубне см. /4/). Иногда к этим обязанностям прибавляют еще фильтрацию информации. Инфор-

мация вводится в машину в этом случае на магнитной ленте. Все операции по управлению и селектированию выполняет малая ЭВМ, целиком "посвященная" только этим обязанностям и постоянно связанная с устройством растрового разложения. Во Франции /20/ для этих целей выбрана машина СДС-160 с хорошо разработанной памятью на магнитной ленте, быстродействием 60 тысяч операций в секунду и оперативной ферритовой памятью на 32 тысячи слов. При таком разделении труда к.п.д. большой вычислительной машины возрастает, правда за счет очень малого к.п.д. использования времени малой машины. Действительно, в то время как обзор снимка на устройстве разложения занимает 15-30 сек, чистое время, необходимое для подсчета координат дорожек маски и выработки команд управления на такой машине, как СДС-160 не более 1 сек. В ИТЭФ также разработан один из вариантов раздельной работы большой вычислительной машины от устройства растрового разложения. Для управления применяется не вычислительная машина, а специальное промежуточное устройство.

Б.Н.Моисеевым /21/ был разработан еще один метод выбора информации со снимка с помощью не цифровой, а рисованной маски. При просмотре оператор грубо (с точностью $1 \pm 0,5$ мм по изображению) рисует событие на бумажном носителе, который затем разлагается в растр синхронно с разложением снимка. Сигналы от пересечения сканирующим пятном линий рисунка служат селекторными (разрешающими считывание) для импульсов с фотоснимка. Это позволяет вести обзор снимков без использования ЭВМ для управления и селекции.

3. Обсчет геометрии и кинематики событий

Как известно, программа геометрической реконструкции определяет по измеренным координатам кривизну и направление треков в пространстве и пространственные координаты вершины события. Эта программа работает с небольшим числом точек на треке. Для треков, которые хорошо описываются окружностью или параболой, берется по 3 точки. Треки с торможением восстанавливаются по 5 + 10 точкам (обычно столько остается после фильтрации) путем аппроксимации винтовой линией или полиномом 4-го порядка. В ИТЭФ для треков с сильным торможением для случая тяжелых камер программа работает даже с большим количеством точек (до 30-40). Программа пространственного восстановления ("ФОГ"/5/) на машине ИБМ-7094 идет примерно 0,5 сек. На машине с быстродействием 20 тысяч операций в сек программа занимает несколько секунд.

Наибольшее время из вторичных программ занимает кинематическая программа. Обсчет гипотез возможного типа взаимодействия и определение кинематических параметров по программе "Клауди" на ИБМ-7094 занимает 2 сек. На машине меньшего быстродействия (порядка 20 тысяч действий) кинематическая программа при неблагоприятной последовательности подбора гипотез затягивается иногда до 1-3 мин.

В среднем на машинах типа М-20 все вторичные программы будут занимать до 3-х минут, из них на программу пространственного восстановления в Дубне, например, идет 22 сек.

При кинематическом обсчете бывает случай, когда ни одна из имеющихся гипотез не проходит. В этом случае оказывается очень плодотворной связь физика с памятью вычислительной машины по телетайпу, как это осуществлено в "Квесте" /4/. Оператор, анализируя снимок, может добавлять различные нейтральные треки в событие и передавать их в ЭВМ. Помимо телетайпной связи развиваются еще несколько типов каналов связи человека с ЭВМ, в том числе звуковая. В Брукхавене разработан очень удобный тип связи. Оператор видит результаты обсчета на экране осциллоскопа и с помощью "светового карандаша" вносит свои предложения в программу. Связь человек = ЭВМ должна заметно повысить скорость и качество кинематического обсчета.

П. Автоматизация просмотра снимков

Первоначальные попытки опознавать события вычислительной машиной, вводя в нее всю информацию, снятую на FSD, показали, что на существующих машинах это делать неэкономично /22/. Поэтому сейчас наиболее перспективным считается путь, который состоит из 3-х этапов: 1) уменьшение объема информации путем выделения на снимке элементов треков, т.е. таких достаточно коротких отрезков треков, чтобы их считать прямыми и различать по положению, углам наклона и длине. 2) Связь элементов в треки. 3) Выбор треков, которые составляют событие.

Сейчас развиваются два способа уменьшения объема информации. Первый из них заключается в том, что со снимка с помощью FSD снимается вся информация и собирание точек треков в элементы треков производится в вычислительной машине. Машина по первым нескольким точкам трека прослеживает треки и запоминает их в виде параметров элементов. В Брукхавене, например, на машине ИБМ-7090 переработка 15000 точек в элементы занимает 1 сек, что сравнимо со скоростью получения информации с FSD. В Беркли проект ДАПР предполагает использовать машину ИБМ-7094 II с памятью 65000 слов. Ожидаемая скорость переработки - 18000 координат в секунду. Проект будет завершен в 1966 году.

Второй способ - получение элементов треков аналоговым методом непосредственно при сканировании снимков. Этот способ осуществлен в ПЕПРе /18/, он основан, как уже упоминалось, на сканировании снимка отрезком линии. ПЕПР включает в себя машину ЦДП-I (о памятью 32 тысячи слов и обширным запасом команд) и входное устройство на катодно-лучевой трубке с разрешением 1000 строк. ПЕПР работает в двух режимах. Первый режим - поиск. Он состоит в том, что разложение снимка производится отрезком линии (штрихом), имитированным на экране трубки, последовательно с различными наклонами. После кодировки всей информации в виде

элементов треков, составления из элементов целых треков и определения событий, ПЕПР переходит ко второму режиму работы – точное цифрование треков события. На экране трубки теперь получается обычное сканирующее пятно, которое опрашивает треки в зонах, определенных при поиске. Опрос снимка в первом режиме производится за 5 секунд (для 50 треков на снимке) и в результате его получается 3000 элементов треков. Цифрование треков события производится с точностью ± 4 мк. ПЕПР рассчитан на обработку 1 млн. событий в год.

Маккормик с сотрудниками в Иллинойском университете /23/ спроектировали модель специальной опознающей машины. Эта машина имеет три устройства: устройство ввода, блок опознавания и управляющую вычислительную машину. В качестве входного устройства применена трубка с высоким разрешением (4096 x 4096). Блок опознавания представляет собой довольно сложное арифметическое устройство, основой которого является двухмерный сдвигающий регистр. Блок содержит 50000 триодов и 130000 диодов. Для управления и определения стратегии просмотра разработана вычислительная машина, которая работает с 10 разрядными числами, извлекаемыми из регистров блока распознавания. Снимок обрабатывается отдельными участками площадью 1 мм^2

Каждый участок при сканировании разбивается на $1024 (32 \times 32)$ элемента и информация с них ("0" или "1") записывается в соответствующую ячейку двухмерного регистра, где они будут опрашиваться на содержание элементов. Вычислительная машина выявляет элементы треков, связывает их в треки, и выбирает те треки, которые участвуют в интересном событии. Время просмотра стереотриады 72 дюймовой камеры должно быть около 1 сек. Работы должны быть завершены в 1965 году.

З а к л ю ч е н и е

Развитие обработки снимков методом растрового разложения сейчас идет по двум линиям /24/. Во-первых, это применение все более быстродействующих вычислительных машин и новых программ. Во-вторых, это развитие более сложных измерительных устройств, передача им больших функций по предварительной обработке и кодировке информации, что ослабляет требования к вычислительным машинам. Очень перспективным в этом смысле является применение высокочастотных катодно-лучевых трубок, которые позволяют наиболее простым способом осуществлять различные виды и направления разверток и дают большую скорость съема информации со снимка.

Естественно, что наилучшие результаты достигаются при гармоническом развитии и техники съема информации со снимков и вычислительных машин и их программ.

Окончательное решение проблемы обработки, т.е. автоматизация просмотра и доведение скорости обработки на одном измерительном устройстве до 1 млн. событий в год, целиком зависит от развития и применения все более скоростных вычислительных машин.

Л и т е р а т у р а

1. P.V.C. Hough, B.W. Powell. A method faster analysis of bubble chamber photographs. *Nuove Cimento*, X, 18, 1960.
2. P.V.C. Hough, B.W. Powell. A Method for the faster analysis of bubble chamber photographs. *Proceedings of the Berkeley Conference on Nuclear Instrumentation* p.242, 1960.
3. G.R. Macleod. *Nuclear Instruments and Methods* 20, 1963, 367-383.
4. Y. Goldschmidt-Clermont. *Proceeding of the 1964 International Conference on High Energy Physics, Dubna, 1964.*
5. D. Hall. *FSD Operating Experiences at Berkeley, Cern 63-34, p.17. 1963.*
6. Д.А. Каржавин Автоматизация измерений по снимкам с пузырьковых камер. Препринт ОИЯИ №1552. Дубна, 1964 г.
7. П.М. Зейдлиц и др. Экспресс-автомат для обработки снимков пузырьковых камер и микро-вых камер. Доклад на настоящем симпозиуме.
8. M. Benot et al. *Miledy, Cern 63-5*
9. G. Kuhn. *Cern 64-28*
10. T. Lingjarde. *The H.P.D. Logic, Cern 62-10 1962 February.*
11. B.W. Ewershed *On-Line computer control for the HPD, Cern 63-21. June 1963.*
12. M. Benot, Y. Goldschmidt-Clermont, L. Montanet, B. Powell. *La mesure des photographies de Chambres a bulles au Cern, Industries Atomiques 7/8 - 1963.*
13. R.B. Palmer. *A Flying Spot Film Measuring Machine Employing Crossed Glass Fibers. Applied Optics, vol.2, N10, October, 1963.*
14. H.S. White et al. *Nuclear Instruments and Methods 20, 1963 p.393.*
15. D. Hall. *General explanation of Haze Including differences between LRL, BNL and Cern. 63-64, p.7, 1963.*
16. Issu Miura. *Cern 62-23*
17. J.W. Burren, M.I. Mitchel. *A Method of Filtering HPD Data Using Track Following. Cern 63-34, p.29, 1963.*
18. I. Pless. *A Precision encoding and pattern recognition system (PEPR). 1964 International Conference on high energy Physics in Dubna.*
19. J.W. Burren, W.A. Woodley. *The Use of a Flying Line for Automatic scanning of Bubble Chamber photographs, Nuclear Instruments and Methods, 20, 1963.*
20. M. Bloch, Schift. *Off-line Treatment of HPD Digitisings. Cern 63-64, p.57, 1963.*
21. Б.Н. Моисеев Препринт ИТЭФ № 187, 1963.
22. P.V.C. Hough *Cern. Report. 62-37. 1962.*
23. В.Н. Мосорский and R. Narasimhan. *Nuclear Instruments and Methods. 20. 1963. 401-406.*
24. L. Kowarski. *Programming for HPD and other flying spot devices. Introduction, Cern 63-34. 1963.*

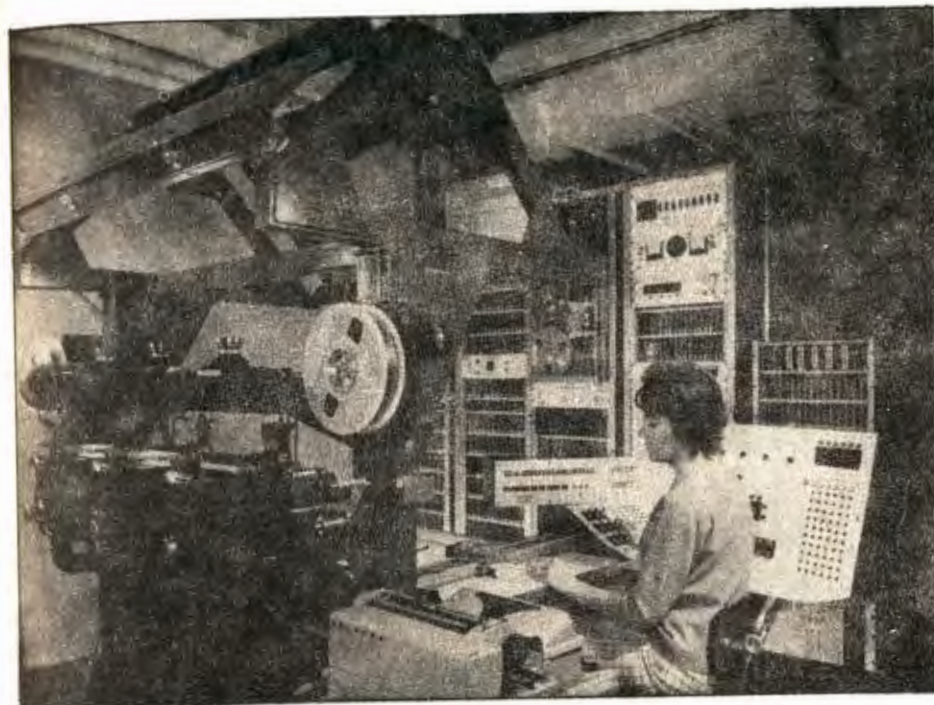


Рис.1 Просмотровый стол "Миледи".

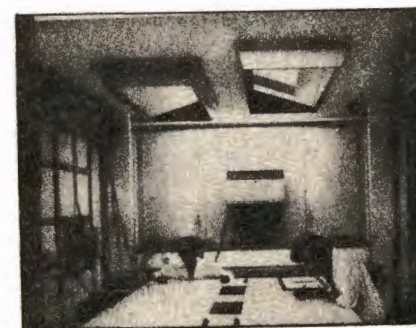


Рис.2 Большой просмотровый стол.

Общие принципы устройства

Снимок с пузырьковой камеры проектируется на измерительный стол (1000 x 2000 мм²), по краям которого размещены попарно перпендикулярно друг другу длинные микрофоны. Источник звука в виде электрической искры с энергией ~ 0,1 дж помещается в точке спроектированного снимка, координаты которой нужно определить. Положение источника определяется измерением интервала времени, за который звуковой сигнал, производимый искрой, поступает на детекторы, находящиеся на известном расстоянии. Временной интервал между искрой и первой звуковой волной, приходящей в микрофон, регистрируется с помощью счетчиков, считающих импульсы высокочастотного опорного генератора. При этом получается 4 результата (N_1, N_2, N_3, N_4). По этим результатам определяются координаты искры. Выходные данные записываются на перфоленгу или магнитофон вместе со служебной информацией (вид эксперимента, номер пленки, номер кадра, число лучей, тип события и др.). Эта информация используется для выработки цифровой "маски" для сканирующего автомата.

Скорость звуковой ударной волны в воздухе

Искра производит ударную волну и ее скорость зависит от температуры, от расстояния и энергии искры.

Эту зависимость можно аппроксимировать следующим выражением

$$V(t, E, d) \approx (33145 + 607t^{\circ}) \cdot [1 + AE^{-\frac{1}{2}} \exp(-\frac{d}{S})],$$

- где V - скорость звука в см/сек,
- t° - температура в градусах С,
- A - постоянная искрового разрядника, в нашем случае = $7640 \text{ дж}^{\frac{1}{2}} \text{ см} \cdot \text{сек}^{-1}$,
- E - энергия искры в дж,
- d - расстояние до искры в см,
- S - расстояние при уменьшении скорости на $\frac{1}{e}$ в см.

На рис.1 скорость ударной волны дается как функция расстояния и энергии. Две кривые построены для различных энергий, при более высоких энергиях искры начальная скорость больше, но обе кривые стремятся к V_0 при больших расстояниях. Такое изменение скорости является причиной того, что сумма измеряемых времен зависит от позиции искры (см.рис.2). В акустических искровых камерах для измерения используется только ее центральная часть, где ошибка из-за изменения скорости незначительна.

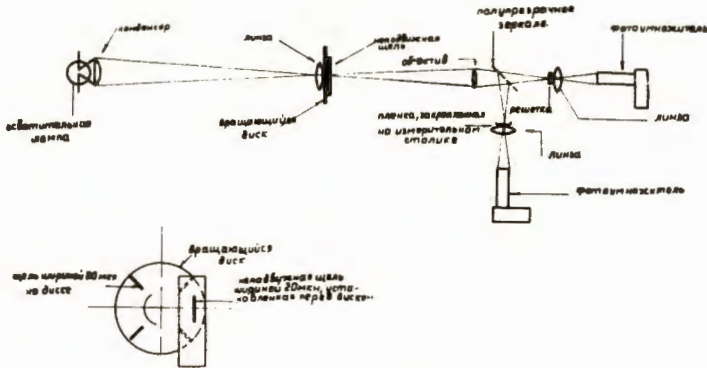


Схема формирования светового пятна развертки.

Рис.3 Схема измерительного устройства НРД.

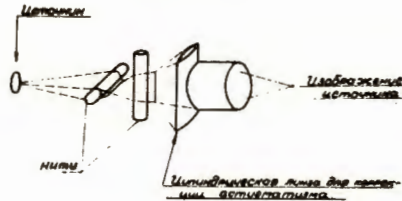


Рис.4 Система генерации пятна с помощью нитяной оптики.

Некоторые конструктивные решения

Наиболее точный метод определения координат - интегрирование быстрых изменений скорости в интервале времени между искрой и первой звуковой ударной волной, поступающей на микрофоны, что возможно при использовании ЦВМ. Но чтобы уменьшить затраты машинного времени, необходимо искать другие пути.

Первая идея - допустить существование больших краев вокруг измеряемого поля, подобно тому, как это делается в акустических искровых камерах. Однако, такое увеличение размеров стола ограничено физическими данными оператора. Если стол будет иметь ширину больше чем 1400 мм, то только великаны смогут работать на нем. Мы пытались отражать звук зеркалами под стол, но такое решение неприемлемо, т.к. из-за потерь в отражающих поверхностях необходимо значительно увеличивать энергию искры.

Вторая идея - понизить энергию искры. Ограничение здесь накладывается уровнем шумов, ослаблением звуковой волны в воздухе и чувствительностью детектора. Для решения этих проблем, а также для компенсации температурной зависимости предлагается система с генератором частотно-модулируемых опорных импульсов. Принцип работы этой системы можно пояснить следующим примером. Предположим, что температура увеличилась, звук распространяется быстрее и на данном расстоянии сосчитается меньшее количество импульсов; если мы не увеличим частоту опорного генератора пропорционально изменению скорости звука. Начальная, быстро меняющаяся, часть функции скорости может быть линеаризована экспоненциальной функцией модуляции. Для проверки эффективности такой системы можно использовать метод, показанный на рис.2. Линеаризацию функции можно получить также при применении заградительного фильтра, не пропускающего высокочастотные составляющие звука. Кроме этого возникает трудности из-за медленного нарастания сигналов с детекторов, которые мы использовали в эксперименте. Из-за ослабления ударной волны в воздухе амплитуда сигналов с детекторов зависит от расстояния и при фиксированном пороге схемы возникает ошибка из-за задержки, которая при этом получается. Этот эффект можно компенсировать автоматическим изменением уровня порога, чтобы привязываться всегда к одной и той же точке фронта нарастания импульса. Для более точного определения координат искру можно повторять несколько раз, при этом можно также уменьшить количество электронных схем, используя два счетных канала на четыре микрофона.

Нужно сказать несколько слов о преобразовании координат. Мы сравнивали две обычных системы координат, одна из которых имела начало в углу измеряемого поля. Она больше подходит для программы "маски", но здесь более сложные вычисления и максимальная ошибка в центре измеряемого поля. Вторая система имеет свое начало в центре, вычисления здесь проще, минимальная ошибка в центре поля, но при этом требуются дополнительные преобразования при

работе программы "маски". (см.рис.3). Общая блок-схема прибора приведена на рис.4.

Форма сигналов, полученных на промышленных сегнетоэлектрических кристаллах, показана на рис.5. Эти сигналы были получены при использовании зарядового усилителя. Мы надеемся получить лучшее время нарастания (около 3 мксек) при использовании токового усилителя.

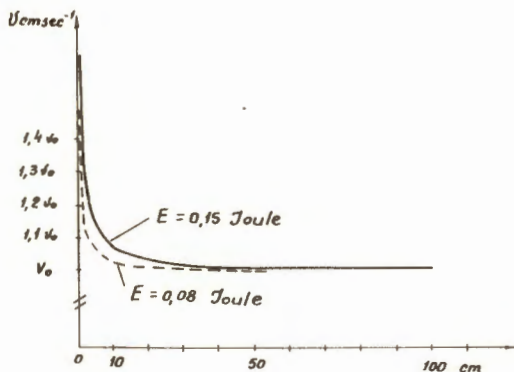


Рис. I.

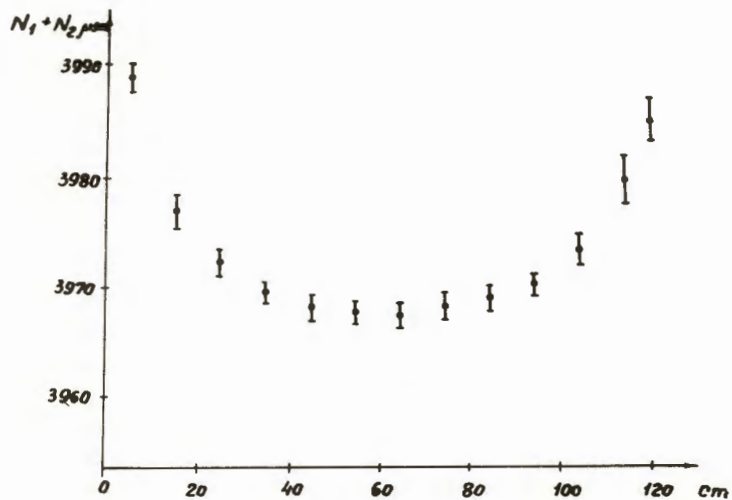


Рис. 2а.

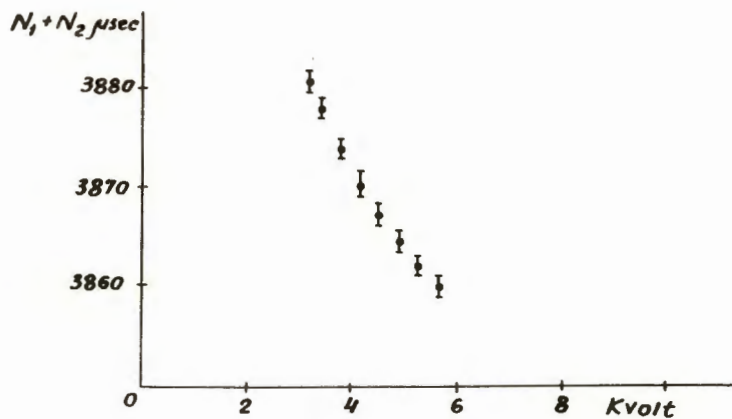


Рис. 2б.

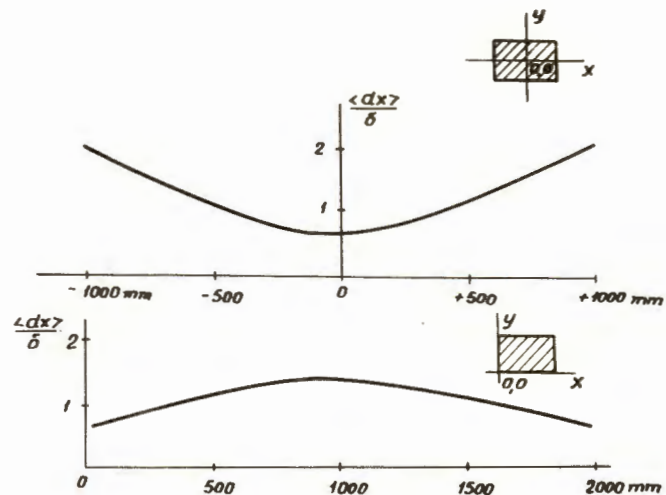
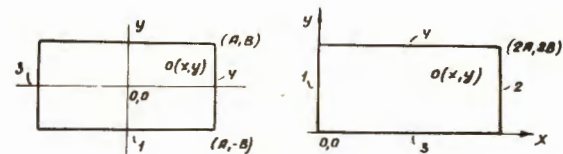
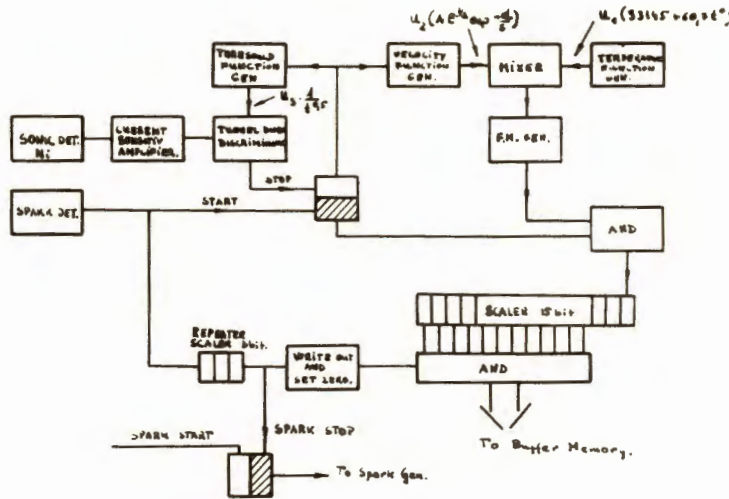


Рис. 3а.



$$\begin{aligned}
 x &= N_3 U + \Delta - x = x - N_4 U - \Delta & x &= N_1 U + \Delta = A - N_2 U - \Delta \\
 y &= N_1 U + \Delta - y = y - N_2 U - \Delta & y &= N_3 U + \Delta = B - N_4 U - \Delta \\
 x &= \frac{(N_3 - N_4)(B - A)}{(N_3 + N_4) - (N_1 + N_2)} & x &= \frac{A(N_3 + N_1 - 2N_1) + B(N_1 - N_2)}{(N_3 + N_4) - (N_1 + N_2)} \\
 y &= \frac{(N_1 - N_2)(B - A)}{(N_3 + N_4) - (N_1 + N_2)} & y &= \frac{A(N_1 - N_2) + B(2N_3 - N_1 - N_2)}{(N_3 + N_4) - (N_1 + N_2)} \\
 U &= \frac{2(B - A)}{(N_3 + N_4) - (N_1 + N_2)} & U &= \frac{2(B - A)}{(N_3 + N_4) - (N_1 + N_2)} \\
 \Delta &= \frac{(N_3 + N_4)(A - B)}{(N_3 + N_4) - (N_1 + N_2)} + A & \Delta &= \frac{A(N_3 + N_4) - B(N_1 + N_2)}{(N_3 + N_4) - (N_1 + N_2)}
 \end{aligned}$$

Рис. 3б.



General Block Diagram.

Рис. 4.

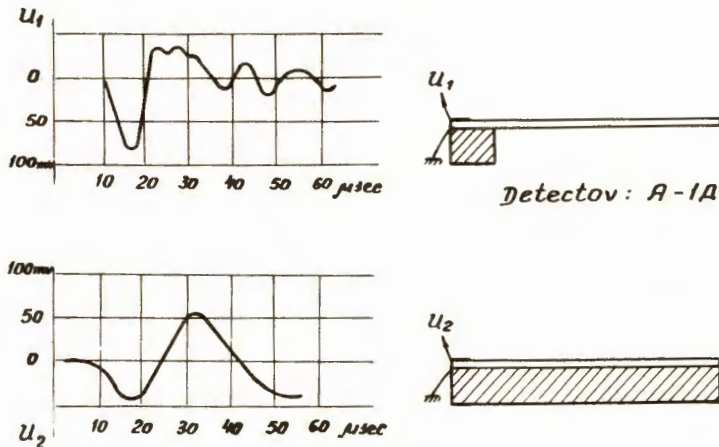


Рис. 5.

Сообщается о разработках экспресс-автомата, в котором применен осмотр снимка бегущим лучом. Обосновывается целесообразность построения автомата этого типа. Описывается система определения координат светового пятна с точностью до 5 микрон. Кратко разбирается программа работы электронно-вычислительной машины совместно с автоматом. Описывается полуавтомат для снятия цифровой маски.

Существующие методы обмера фотоснимков, полученных с трековых камер позволяют обработать около 20 + 25 тысяч снимков в год на каждом автомате. Такая производительность не может удовлетворить современные физические центры. Количество снимков, подлежащих обмеру, возрастает с каждым годом. Внедрение управляемых искровых камер требует обработки до 500000 снимков в год и выше.

Возникает потребность в автоматах, производительность которых на два порядка выше существующих. Потенциальные возможности механических следящих систем, по-видимому, почти исчерпаны. Основной парадокс в работе таких автоматов состоит в том, что они осуществляют непрерывное точное слежение, в то время как для обмера трека требуется 10-15 точных координат.

Скорость слежения не превышает 0,5+2 мм/сек. Засоренность снимка помехами приводит к сбоям следящей системы, которые увеличивают потери времени. Установка автомата на трек и съем координат реперных точек, практически производится вручную. Все это приводит к тому, что съем стереопары с пятилучевой звездой занимает около 20 минут.

В связи с этими недостатками в ряде наших физических центров и за рубежом разработаны автоматы, в которых отказались от точного механического слежения, заменив его "осмотром" снимка с помощью сканирующих электронных или механических систем. В основу автомата, разработанного в Украинском физико-техническом институте, положен принцип "осмотра" снимка прямым угольным телевизионным растром с фиксацией координат двумя измерительными решетками. Автомат предназначен для обмера трековых снимков 50 мм x 20 мм. Время обмера одного кадра не превышает 1 сек. Точность не хуже 5 микрон. В состав автомата входит электронная цифровая машина "Днепр". Блок-схема автомата представлена на рис. 1. В качестве "осматривающей" применена проекционная телевизионная трубка. Луч, развертываемый в растр, проходит сквозь светорасщепляющую систему призм с полупрозрачными диагоналями. Световой поток, расщепленный на три взаимно перпендикулярных направления, попадает на обмеряемый снимок и одновременно

менно на X и Y решетки. Пути луча в стекле равны между собой, поэтому искажения, вносимые оптикой, будут идентичны по всем трем направлениям. Координаты луча в любой момент времени определяются подсчетом числа пересеченных рисок на решетках с помощью фотоумножителей и двух счетчиков. Выдача координат трека происходит задним фронтом видеосигнала, возникающего при попадании луча на трек. Разрешение на выдачу координат поступает со схемы цифрового стробирования. Шаг решеток выбран 100 микрон, для повышения точности применена интерполирующая система, позволяющая делать отсчеты координат середины трека с точностью 5 микрон.

Работу системы точного и грубого отсчета можно проследить по блок-схеме на рис.2 и временным диаграммам рис.3. Импульсы, поступающие с фотоумножителя решетки X, подсчитываются грубым счетчиком. Скорость разработки выбрана из расчета, чтобы за время послесвечения экрана луч сместился всего на один свой диаметр. При диаметре луча 30 микрон и послесвечении экрана $5 \cdot 10^{-6}$ сек скорость движения луча по строке составит $6 \cdot 10^3$ мм/сек. Частота импульсов, поступающих на грубый счетчик при шаге решетки 100 микрон составит 60 килогерц. Для повышения точности отсчета в 20 раз, на точный счетчик подаются импульсы с частотой 1,2 мгц с генератора Γ_1 . Каждый импульсом с решетки X точный счетчик сбрасывается на нуль. В момент совпадения кодов грубого счетчика и регистра цифрового стробирования вырабатывается сигнал, разрешающий переднему фронту видеоимпульса с фотоснимка опрокинуть управляющий триггер T_1 . Потенциалом триггера T_1 , запрещается счет грубого счетчика и к точному счетчику подключается генератор Γ_2 , частота которого в 2 раза ниже частоты Γ_1 . Задним фронтом видеосигнала опрокидывается триггер T_2 , запрещающий счет на точном счетчике. Пройдя через линию задержки задний фронт видеосигнала выдает коды, накопленные на грубом и точном счетчиках, в оперативную память ЭЦМ. Импульсом конца строки производится "начальная установка" всей схемы. Система отсчета по оси выполнена аналогично.

Полный съем координат трека происходит в течение одного кадра, что составляет для 50 мм снимка при 200 строчном растре 0,16 сек. На съем пятилучевой звезды затрачивается 1 сек.

Работа ЭЦМ

На вычислительную машину возложены следующие задачи:

1. Определение направления развертки для каждого трека.
2. Расчет цифровой маски.
3. Прием координат треков.
4. Восстановление пространственной картины и кинематики события.

Сущность цифровой маски заключается в следующем. Точная координата трека по оси представляет собой 16 разрядный двоичный код. Если отбросить часть младших разрядов от этого кода, то мы будем иметь дело с некоторой зоной, внутри которой будет лежать измеряемый трек. Ширина цифровой маски выбирается 3-4 ширины трека, т.е. 200 микрон.

Маска снимается на просмотрном столе. С каждого трека перфорируются $3 + 5$ координат, с точностью ± 100 микрон. Перед началом обсчета цифровая маска вводится в машину. ЭЦМ вычисляет средний угол наклона трека к оси Y и выдает признак направления строк в блок разверток. Если угол менее 45° строки расположены горизонтально, при угле более 45° строки располагаются вертикально. Этим достигается необходимая точность по оси Y .

Цифровая маска рассчитывается на каждую строку путем параболической интерполяции трековой маски, с шагом, пропорциональным расстоянию между строками. Координаты трека Y начальное и Y конечное определяют моменты начала и конца выдачи стробов в пределах кадра. Расчет маски по строке происходит в паузах между строками и требует около 20 команд, на выполнение которых машина "Днепр" затратит $2 \cdot 10^{-3}$ секунд.

Просмотровый стол

На рис.4 приведена блок-схема просмотрного стола. Фотоснимок проектируется на экран. Оператор устанавливает перекрестие пантографа на выбранный трек и нажатием на кнопку перфорирует координаты точки. В качестве системы отсчета применены маски с кодом Грея. Увеличение объектива и отношение подобия пантографа выбрано из расчета необходимой точности - 100 микрон. Перфоратор применен стандартный, марки ПЛ.

Конструктивное оформление

Электроника автомата выполнена на стандартных ячейках вычислительной машины "Днепр". Экспресс-автомат компануется на крестообразной раме в вертикальной плоскости. Нестандартными узлами автомата являются только светорасщепляющая система и механизм перемотки и фиксации пленки. Пленка фиксируется с помощью грейферного механизма.

Целесообразность построения экспресс-автомата

При проектировании автомата выбирались далеко не предельные параметры всех узлов, однако, и при этих заниженных параметрах автомат загрузит счетную машину "Днепр" на 100% машинного времени. Предполагается, что автомат будет использован с 4-5 просмотрными столами, только при этом условии его производительность будет приближаться к предельной. По мнению авторов, это является одним из значительных преимуществ нового автомата, так как просмотровый стол в изготовлении и эксплуатации является довольно простым и надежным устройством.

Отметим, что применение трубок с разрешающей способностью 2000 строк и послесвечением $10^{-6} + 10^{-7}$ сек позволяет существенно увеличить точность автомата, не уменьшая быстродействия. Существует принципиальная возможность съема координат нескольких треков за время одной строки, т.е. всего события за время одного кадра. В этом случае производительность автомата составит десятки снимков в секунду.

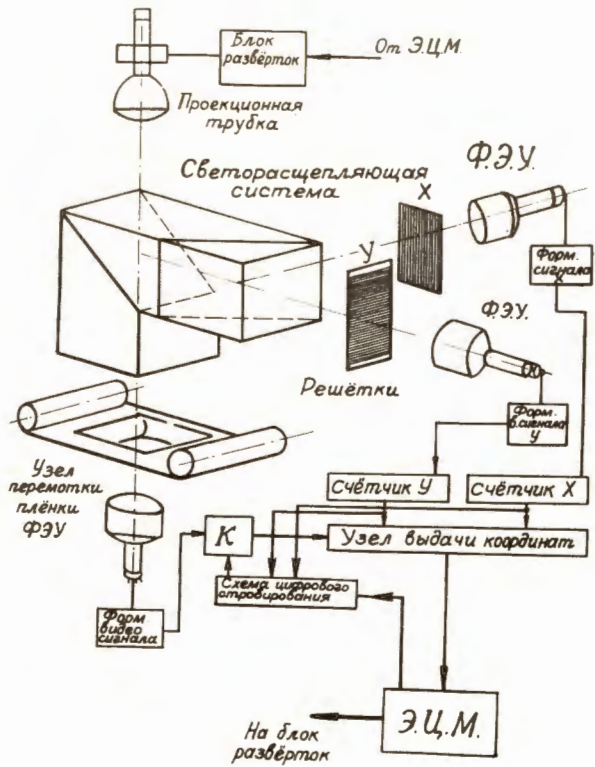


Рис. 1.

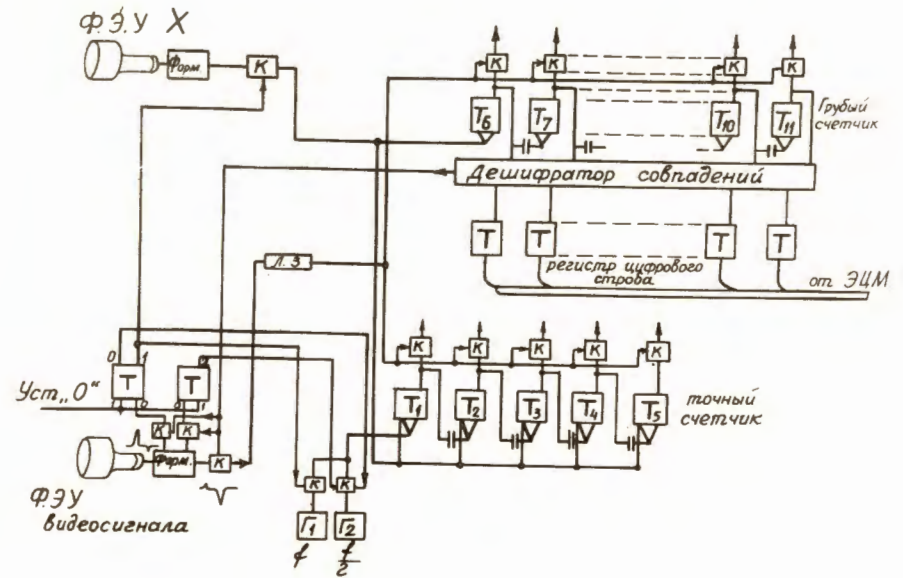


Рис. 2.

В последние годы наметился существенный прогресс в использовании искровых камер. В специфику методики искровых камер входит то, что класс выделяемых системой управления событий значительно превосходит число событий, интересующих экспериментатора. Основное затруднение при обработке возникает в просмотре большого количества материала для отыскания редких снимков, содержащих нужные события. Поэтому проблема автоматизации обработки снимков с искровых камер стоит особенно остро. Работы по автоматизации обработки снимков ведутся во всех крупных лабораториях мира. Известны, по меньшей мере, девять типов автоматических систем, разработанных в США, ЦЕРН и Советском Союзе. Рассмотрим принципы их работы и основные характеристики.

Исторически сложилось так, что в начале разрабатывались системы для анализа снимков с пузырьковых камер. Естественно, что в обработке фотографий с искровых и с пузырьковых камер много общего. Маклеод, например, указывает лишь на следующие отличия снимков с искровых камер по сравнению со снимками с пузырьковых камер [1].

1. Меньший уровень шумов.
2. Меньшая точность, требуемая для измерения координат.
3. Значительная продолжительность следа искры в междуэлектродном промежутке.

Однако подход к снимкам с искровых камер, как к чему-то только более простому оправдан, пожалуй, только для изотропных камер.

Снимки с камер с малым числом анодов резко отличны от снимков с пузырьковых камер. Для искровых камер характерно фотографирование нескольких камер на одном кадре, что невозможно для пузырьковых камер и т.д.

Поэтому естественно, что для достижений той же цели, что и при обработке снимков с пузырьковой камеры, то есть преобразования изображения в цифровую форму и передачи координат треков в вычислительную машину для обработки, используется специфическая аппаратура. Все докладываемые системы решают задачу автоматического отбора нужных событий и их обработку.

Можно разбить все сканирующие устройства на два класса: устройства, использующие оптико-механические системы образования светового пятна и устройства, в которых генератором светового пятна служит электронно-лучевая трубка.

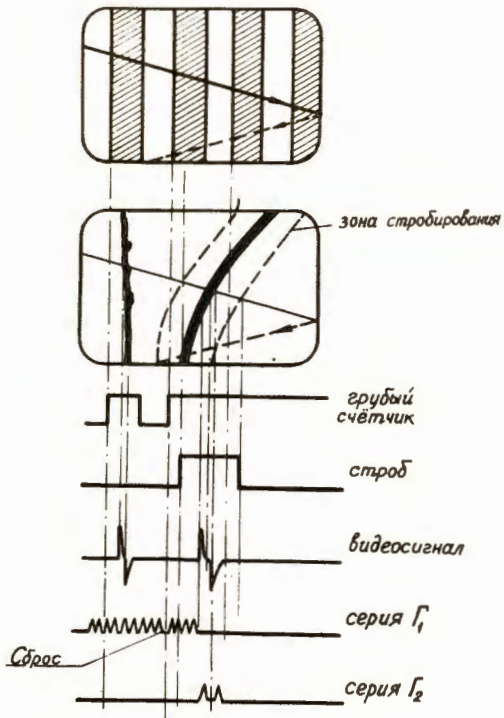


Рис. 3.

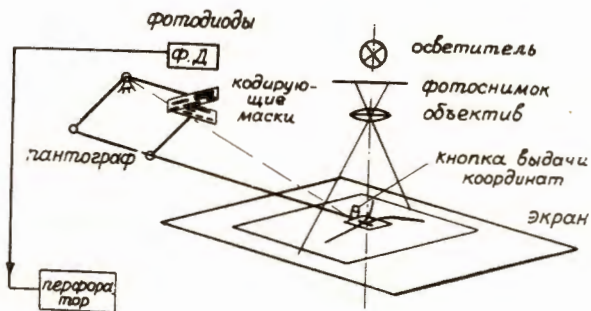


Рис. 4.

В настоящее время можно указать всего две системы, использующие оптико-механические генераторы. Эта система Хоуга и Поуэлла (так называемая НРД) [Л2] и система, разработанная в Брукхавене доктором Бакером [Л3].

В ЦЕРНе используют модифицированный НРД в полностью автоматизированной системе для анализа пленок с искровых камер.

Оборудование системы состоит из НРД, непосредственно связанного с машиной типа IBM 7090 (работа по принципу on-line). НРД - оптико-механическое устройство, образующее световое круглое пятно. Производится сканирование всего кадра по типу телевизионного раstra, сигналы со сканирующего устройства передаются непосредственно в память машины. Таким образом, после сканирования одного кадра в памяти машины фиксируется полная картина распределения светлых и темных точек на кадре. Для каждой координаты темных участков вдоль строки машина использует 15 бит. Расстояние между строками может регулироваться от 30 до 300 мк и выбирается в зависимости от типа камер. Во время обратного хода по строке машине передается координата строки, для этой операции используется 18 бит.

При расстоянии между строками 60 мк для сканирования кадра (формата 36x24) требуется 500 строк. Время сканирования 15 сек. Время обработки 1,5 сек. В машине производится заполнение одного блока буферной памяти информацией с кадра, другой блок буферной памяти в это время обрабатывается.

Из-за большой разницы между временем сканирования и временем обработки для рационального использования машинного времени необходимо кооперирование НРД с другими программами.

Элементами, квантуемыми луч в вертикальном и горизонтальном направлении, являются оптические амплитудные решетки. Неточность лентопротяжного механизма 0,5 мм. Эта неточность компенсируется специальными марками на кадре. При фотографировании нескольких камер на один кадр положение снимка каждой камеры уточняется дополнительными марками.

Обработка информации производится по следующим этапам:

1. Составление уравнения трека в системе пленки;
2. Испытание треков на соответствие определенным критериям. В случае, если не обнаружены соответствующие треки, кадр выбрасывается;
3. Преобразование уравнения трека в лабораторную систему;
4. Составление пространственного уравнения по координатам стереопроекций;
5. Кинематический анализ.

Приводятся следующие сравнительные данные по производительности работы анализа снимков автоматом и человеком.

Автомат узнал 92-96% нужных событий, обрабатывая 250 кадров/час. Человек работает в 10 раз медленнее.

Доктор Бакер так сформулировал задачу своей системы: максимально использовать существующее оборудование и иметь универсальное устройство для анализа снимков различных форматов с искровых камер.

Система состоит из сканирующего оптико-механического устройства и системы записи информации на магнитную ленту. Сканирование производится аналогично телевизионной развертке, на магнитную ленту заносится вся информация, содержащаяся на каждом кадре пленки. Система рассчитана для работы с IBM-7090.

Сканирующее устройство приведено на рис.1.

Основное отличие сканирующего аппарата от НРД состоит в том, что после фиксированного освещенного отверстия стоит линза, уменьшающая размер пятна в 10 раз. Движение линзы производит сканирование пленки. На вращающемся диске расположено 16 микроскопных объективов, их оптические оси параллельны. При пересечении светового пятна объективы фокусируют пучок света на пленку. Система работает удовлетворительно, если линзы имеют малые аберрации. Азимутальные положения объективов не критичны, но радиальное должно выдерживаться с точностью $\pm 1,5$ мк. Для формирования импульса начала сканирующей линии применяется специальная аппаратура. В системе предусмотрена возможность образования различных размеров пятна и различного расстояния между строками (от 20 до 500 мк). Время сканирования кадра 15 сек.

В системе имеется логическое устройство, которое управляет записью координат на магнитную ленту таким образом, что фиксируется координата по строке, соответствующая центру искры.

Координата по кадру записывается один раз в начале строки. Снимок анализируемого кадра приведен на рис.2

Системой, подобной НРД по принципу работы является и разработанная в ЦЕРНе система, названная Luciole [Л4]. Luciole предназначена специально для анализа пленок с искровых камер. Система обладает более низкой точностью, чем система НРД, но обеспечивает более высокую скорость работы, и стоимость ее значительно ниже.

Система также разработана для непосредственной работы с машиной типа IBM-7090, генератором светового пятна для сканирования снимков является электронно-лучевая трубка, изготовленная фирмой Ферранти.

Блок-схема Luciole приведена на рис.3.

Система развертки аналогична телевизионной. Число строк 768. Время сканирования кадра 1,5 сек. Так как растр движется непрерывно, то время сканирования кадра согласовывается со временем его обработки машиной.

Особое внимание обращено на стабильность и линейность генератора светового пятна.

Подушкообразная дисторсия грубо устраняется добавлением специального постоянного магнита.

На основе данных от сканирования специального калибровочного кадра, вставляемого в сканирующее устройство через определенные промежутки времени, корректируется остаточная дисторсия. Стабильность вдоль сканируемой линии $\pm 10^{-4}$. Стабильность в перпендикулярном направлении $\pm 3 \cdot 10^{-4}$.

Преобразование информации в цифровую форму производится с помощью специального тактового генератора. Значения координат по строке записываются в промежуточный регистр памяти. Через каждые 17 тактовых импульсов содержание этого регистра, в случае наличия информации, передается в машину. Координатой в направлении по кадру является номер линии развертки.

Программа для считывания информации делится на два раздела:

1. Информация о реперах.

2. Информация об искрах и составление уравнения трека в пространственных координатах.

Данные каждого кадра для идентификации записываются одинаковым образом. Выработка критериев для отбора кадров производится по конкретным данным физического эксперимента.

Вероятно одной из наиболее интересных систем, учитывающих особенности фиксации информации с искровых камер, является система, разработанная в Массачусетском Технологическом институте Дейчем [15]. Программа системы названа PIP. Система обработала 270000 фотографий, полученных в камерах для частиц высокой энергии.

Для проведения физического эксперимента применялось следующее. Трековая искровая камера, ливневая камера и искровая камера с поглощающими пластинами, используемая для определения длины пробега. Для каждой камеры фотографируется два снимка - правый и левый (стереопара). Выходная информация закладывается в усредненных координатах на снимках трековой камеры, длина трека получается из координат, зафиксированных на снимках камеры для определения пробега и координат начальной точки ливня в снимках с ливневой камеры. Снимок приведен на рис. 4.

Аппаратура обработки информации состоит из сканирующего устройства на электроннолучевой трубке, положение луча которой управляется непосредственно машиной типа РДР-1. Соответствующей оптикой изображение светового пятна передается на пленку. Фотоумножитель реагирует на изменение светового потока. Выход фотоумножителя подсоединен к триггерной входной цепи машины. Очевидно, что по типу оборудования информация может быть только двух видов 0 или 1.

Используется два считывающих устройства, обрабатывающих стереопару. Оба устройства работают на одну машину, но на разные триггерные цепи.

Было высчитано, что при считывании информации от точки к точке в памяти машины может быть зафиксировано 2^{20} точек, что даст достаточную точность анализа, но потребует времени сканирования 50 сек. При выбранном способе программного считывания скорость обработки удалось повысить до 2 сек на кадр. Учитывая особенность искровых камер, а именно тот факт, что искры могут возникнуть только в межэлектродном пространстве, применена соответствующая ориентация сканирования. Так как эту ориентацию легко просчитать, то применяется внешняя калибровка с помощью специальной калибровочной таблицы. Если в процессе поиска обнаруживается темное пятно, программа прерывает процесс поиска для того чтобы проверить, является ли пятно изображением искры. При обнаружении изображения запоминаются координаты центра искры. Так как искры должны образовывать трек, то после обнаружения искры вступает программа слежения по треку. Эта программа использует технику предсказания. Положение последующей искры приблизительно предсказывается исходя из положения предыдущей, таким образом значительно снижается пространство сканирования.

Калибровочная таблица является составной частью системы FIP. Таблица состоит из 4 секций. Каждая секция содержит определенную информацию. Первая секция получает информацию относительно положения реперных точек на пленке и положения луча на трубке, т.е. устанавливает систему координат на трубке, индивидуальную для каждого снимка.

Вторая секция получает информацию в двоичном коде о номере снимка.

Третья секция дает ориентацию электродов всех камер относительно реперных точек. В действительности аноды являются строго прямыми параллельными линиями. Они фотографируются таким образом, чтобы быть параллельными горизонтальной оси. Однако нет гарантии, что эти линии сохраняют свою строгую параллельность в координатной системе трубки. На калибровочной таблице обеспечивается их строгая параллельность введением для каждого анода специального параметра.

Четвертая секция содержит информацию, необходимую для перехода от системы координат трубки к истинной координатной системе опыта.

Программа исследования заключается в следующем. Просмотр начинается с поиска реперных точек и прочтения номера снимка. Эти данные заносятся в буферную память. Просмотр кадра начинается с определения положения первого анода и поиска искры в первом межунодном промежутке. Поиск искры состоит из двух этапов: 1) поиск объекта вдоль горизонтального линейного сегмента, соответствующего межунодному пространству, 2) определение того, соответствует ли обнаруженный объект изображению искры. Если размеры приблизительно соответствуют размерам искры, то координаты центра темного участка заносятся в буферную память. После обнаружения искры вступает в действие программа слежения по треку. Каждый трек проверяется на соответствующие критерии, которые различны для различных снимков. Если какой-либо трек удовлетворяет всем критериям, то координаты центров соответствующих искр

усредняются, пересчитываются в лабораторную систему и затем передаются на выходной блок. Туда же поступает в этом случае и данные о номере кадра.

В непрерывном режиме работы удается довести скорость обработки до 5000 кадров/час.

Сравнительно простой и дешевой является управляемая сканирующая система, разработанная в ЦЕРНе Блэртом, Конфорто и Раббия и названная Smith [16]. При непосредственной связи с машинной типа "Меркурий" система обрабатывает кадр за 1,5 сек, но при наличии выходного перфорирующего устройства время обработки увеличивается до 15 сек. Генератор светового пятна построен на электростатической трубке. Размер пятна 100 микрон, но точность обнаружения искры достаточна. Система рассчитана на сканирование кадра формата 36 x 24, с камеры, состоящей из 30 промежутков. На один кадр снимаются две проекции (стереопара). Таким образом система сканирует кадр 60 раз, расстояние между строками 300 мк. Снимок приведен на рис.5, а блок-схема на рис.6. Сканирование и фиксирование координат производится следующим образом: пятно движется с постоянной скоростью в X и Y направлении. Тактовые генераторы соединены параллельно с генераторами, формирующими отклоняющие напряжения. Таким образом число импульсов тактового генератора в любой момент времени пропорционально координате пятна. Эти импульсы поступают на счетчики. Движение происходит следующим образом. Пятно помещается в начальную точку, затем оно движется в Y направлении до достижения первой реперной линии. В этот момент управляющий блок выключает генератор, вырабатывающий напряжение отклонения по Y и включает генератор, вырабатывающий напряжение отклонения по X. При обнаружении любого объекта счетчики выдают его координату на перфоратор. После полного заполнения X - счетчика пятно идет обратно, счетчик устанавливается на 0 и включается генератор, вырабатывающий напряжение отклонения по Y. Этот процесс повторяется в каждом межэлектродном промежутке.

В системе применяется специальное устройство, управляющее яркостью. Для повышения точности при столь низкой разрешающей способности применен специальный дискриминатор, выделяющий сигнал на фоне шума. Механизм перемещения пленки управляется системой фотодиодов для точной установки кадров.

Система SAMM - разработана Арм, Броуном и др. в Колумбийском университете [17]. В основу работы устройства положен тот факт, что положение искры можно точно определить, зная координату центра искры, соответствующую линии, проходящей посередине межэлектродного промежутка и номер промежутка. Для определения положения в X направлении на каждой кадре нанесена горизонтальная решетка. Снимок приведен на рис. 7. Считая, что искр в кадре малое количество, и изображая каждую искру только координатой центра, авторы записывают всю информацию на перфоратор. Возможно два вида работы: сканирование по всем нанесенным 200 горизонтальным линиям или только по 20, причем выбор осуществляется специальным блоком. Определение координаты в направлении X осуществляется при помощи одновременного сканирова-

ния расщепленным лучом кадра и оптической решетки. Решетка имеет шаг 100 микрон (50 микрон черное поле и 50 белое). Электронный генератор разбивает каждый участок еще на 10 частей.

Размер пятна трубки 50 - 60 мк.

При обнаружении искры на перфоленту заносится координата центра и ширина. Обратный ход по строке производится после достижения специальной реперной линии. На каждом кадре имеется специальный знак окончания кадра.

Система SASS разработана Ноуэллом в Беркли [18] .

Система рассчитана на работу с машиной PDP-24 . Генератор светового пятна - электронно-лучевая трубка с магнитным отклонением. Разрешающая способность 4096 точек по строке и по кадру. В системе имеется управляющий логический блок, контролер, цель которого состоит в том, чтобы передать на ЦВМ только необходимую информацию и управлять лучом трубки. Программа работы SASS :

Сканирование соответственно с расположением информации на кадре. Поиск межэлектродных промежутков и искр. Проследивание искровых треков. Программа проста и легко может быть приспособлена для анализа снимков с различных камер. При наличии промежутков, в которых не будут обнаружены искры, возможно повторное сканирование более интенсивным пятном. Система находится еще в опробовании.

Программа для системы, разработанной в Аргонской лаборатории, получила название Srole . Авторы - Кларк [19] и др. В системе применяется малая специальная ЦВМ ASJ - 210. Генератором светового пятна является трубка с магнитным отклонением. (Разрешающая способность 4096 x 4096 точек). Задача ASJ - 210 - управление положением пятна. Производится развертка не всего кадра, а только участка, предусмотренного программой. В окончательной информации даются координаты центра искры и размеры почерневшего участка. По этим данным ASJ строит треки в лабораторной системе координат. Уравнения треков могут быть записаны на магнитную ленту или переданы непосредственно на универсальную ЦВМ для кинематического анализа. В случае сканирования всего кадра из 4024 x 4024 точек потребовалось бы 64 сек , однако, благодаря сканированию малых областей, вероятно, это время удастся сократить в 10 - 100 раз. Система проходит лабораторные испытания.

Группой специалистов при участии автора по заданию ОИЯИ разрабатывается автоматическая система для анализа снимков с искровых камер. Система рассчитана на непосредственную работу с ЦВМ типа Минск - 22. Генератором светового пятна служит трубка с магнитным отклонением, разрешающая способность 1000 строк. За счет смены оптики возможна работа со снимками двух форматов: 36 x 24 и 64 x 64. На кадре нанесены реперные линии, определяющие необходимое число промежутков сканирования. Блок-схема - системы приведена на рис. 8.

Сигналы от реперных линий поступают на логический коммутатор, который управляет началом и концом работы генераторов отклоняющего тока по вертикали и по горизонтали. Тактовый

генератор вырабатывает импульсы, число которых в любой момент времени пропорционально положению пятна на строке. В случае обнаружения искры координата центра заносится в блок памяти. Память рассчитана на хранение 22 чисел по 12 бит каждое. Информация в машину поступает после окончания сканирования строки. Считывание производится за время обратного хода по строке. После окончания считывания машина выдает сигнал, разрешающий продолжать сканирование дальше, или, в случае необходимости, провести повторное сканирование.

Интересной особенностью системы является применение линейного фокуса. Так как самой эффективной маской для идентификации линии служит другая линия, то для тех снимков, в которых треки состоят из линейных участков, перпендикулярных электродам, оказывается полезным производить сканирование не точечной опертурой, а линейной. Для этого в устройстве предусматривается возможность формирования на экране трубки апертуры линейной формы при помощи дополнительной установки системы квадрупольных линз.

В предлагаемой вашему вниманию сводной таблице I приведены основные рабочие характеристики доложенных выше систем. Можно предложить общую блок-схему, справедливую для всех автоматов, в которую входят: сканирующее устройство, включающее в себя генератор светового пятна и систему управления световым пятном, систему ввода полученной в результате сканирования информации в машину и вычислительную машину (Рис.9).

Существенным различием систем можно считать: тип генератора светового пятна, способ управления световым пятном и тип вычислительной машины. Эти три особенности определяют важнейшие параметры системы — точность измерения координат и скорость обработки кадра, что хорошо иллюстрируется таблицей. В настоящее время можно сказать, что точности, получаемые от механических генераторов и электроннолучевых трубок, сравнимы, и, хотя точность НРД несколько выше, но она даже не является необходимой для обработки снимков с искровых камер. Другим преимуществом этих систем является возможность их работы со снимками малой контрастности. Однако значительная сложность механических систем, громоздкость, трудность управления положением пятна говорит о том, что будущее принадлежит системам с электроннолучевыми трубками. Электроннолучевые трубки с магнитным отклонением принципиально обеспечивают более высокую разрешающую способность, чем электростатические, поэтому надо ожидать, что в дальнейшем будут применяться именно такие трубки. Собственно и сейчас только одна система

Smith, достоинством которой является простота, использует электростатическую трубку.

При применении электроннолучевой трубки возможно два типа сканирования — телевизионное и сканирование с программным управлением. При телевизионном способе сканирования для достижения высокой точности, необходимо многострочное разложение, что ведет к большой избыточности информации.

При программном сканировании достижение такой же точности осуществляется при сканировании кадра 20 — 50 раз. Особенно значительно сокращается площадь сканирования при

слежении по треку. Поэтому сканирование с программным управлением более предпочтительно. По-видимому, наиболее перспективен режим сканирования не круглой, а ленточной вращающейся апертурой. В этом случае во время сканирования удастся осуществлять и фильтрацию, что сокращает машинное время обработки. В настоящее время только система ОИЯИ предусматривает сканирование ленточной апертурой, но мне хотелось бы сослаться на опыт работы системы PEPR. Эта система разработана для обработки снимков с пузырьковых камер тремя лабораториями: Массачусетского технологического института, Калифорнийского университета и Колумбийского университета [ЛГО]. Как видно из таблицы, применяются различные типы вычислительных машин: большие универсальные, типа IBM-7090, малые специализированные PDP-24, соединение специализированных ASJ - 210 с универсальной машиной.

Собственно, в скрытой форме, все системы, применяющие развертку с программным управлением, используют элементы машины - логические блоки. Например, в системе SASS логическое устройство названо контролером, в системе ОИЯИ - логическим коммутатором. По-видимому, наиболее оптимальной является система, использующая специализированную машину для программного управления положением пятна и синхронизации работы всех блоков и универсальную ЦВМ, осуществляющую, например, кинематический анализ. Конечно, трудно найти точное разделение функций универсальной и специализированной ЦВМ, эта проблема может быть решена только для конкретных автоматов и, по-видимому, потребует кооперирования программы больших ЦВМ.

Необходимо отметить еще одну проблему - связь экспериментатора и машины. При непосредственной работе с машиной обеспечивается максимальная гибкость аппаратуры, минимальная избыточность данных. В случае надобности возможна быстрая проверка предыдущих результатов, которую легко осуществить, имея обратную связь между экспериментатором и машиной. Основным недостатком использования ЦВМ является необходимость программирования.

Найн так остроумно резюмировал критерий необходимости непосредственной работы с ЦВМ. "Если вы хотите получить ответ от машины до тех пор, пока вы не забыли, каков ваш вопрос, то необходимо работать непосредственно с машиной" [ЛП].

В заключение необходимо коснуться еще одной проблемы - не технической, а экономической. В настоящее время во многих случаях машинное время столь дорого, что экономически оказывается выгоднее работа человека, чем машины. Однако будем надеяться, что это явление временное и с развитием счетной техники и малых специализированных машин эта проблема будет решена, и в недалеком будущем автоматические системы полностью вытеснят утомительный труд лаборантов.

Название систем	Генератор светового пятна	Тип сканирования	Число строк разложения	Точность измерения координат	Время сканирования кадра	Тип ЦМ
HPD	механический	аналогично телевизионному разложению	500	1,6 мк	15 сек	IBM-7090
Система Бакера	механический	аналогично телевизионному разложению	1000 500 100 50	8,5 мк	15 сек для 500 строк	IBM-7090
Luciole	эл. лучевая трубка с магнитным отклонением	аналогично телевизионному разложению	768	15 мк	1,5 сек	IBM-7090
РТР	эл. лучевая трубка с магнитным отклонением	с программным управлением	-	-	2 сек	РТР-I
Smith	электростатическая трубка	с программным управлением	60	30 мк	1,5 сек	Меркури
SAMM	эл. лучевая трубка с магн. откл.	с программным управлением	20 200	20 мк	0,8 сек	I BM-I620
Chole	эл. луч. трубка с магн. отклон.	с программным управлением			64 сек в случае всего раstra, 1 сек	ASJ - 210
SASS	эл. луч. трубка с магн. отклон.	с программным управлением				РТР-24
ОМЯИ	эл. луч. трубка с магнитн. отклон.	с программным управлением		10 мк		Минск-22

ЛИТЕРАТУРА

- G.R. Macleod. The development of data analysis systems for bubble chambers, for chambers and for counter experiments. Nuclear Instruments and Methods. V20 (1963).
- P.M. Blackall, G.R. Macleod, P. Zanelli. The automatic analysis of spark chamber using a flying spot digitiser. Meeting on Programming for HPD and other flying devices held at the College de France, Paris on 21-23 August, 1963.
- W.F. Baker. A spark chamber film reading system. Там же.
- H. Anders, T. Lingyaerde, D. Wiskott. "Luciole" Geneva, 1963. - CERN. A cathode tube flying spot digitiser for measurement of spark chamber pictures.
- Martin Deauoch, Harry Rundloe, Thomas Marill. "PIP" - Photo Interpretive Program the analysis of spark Chamber data. Communication of the ACM V 6, June 1963.
- I.M. Blair, G. Conforte, C. Rubbia, B. Smith, E. Zavattin. An Automatic device analysis of spark chamber pictures. CERN, Geneva, 1963.
- M. Arm, D. Brown, A. Jacobson, S. Adler, D.H. Tyoko. The Nevis spark chamber auto measuring machine (SAMM). Meeting of Programming for HPD and other flying devices at the College de France, Paris on 21-23 August, 1963.
- D. Hall - SASS - Там же.
- Robert K. Clark ohloe Technical Memorandum N°64 Argonne National Laboratory, 1963.
- И. Плесс, X. Тафт, М. Алстон, А. Розенфельд, Ф. Солицц. Система РВРР - доклад на международной конференции по физике высоких энергий, Дубна, 1964 г.

II. Гольдшмит-Клермон. Прогресс в системах обработки для физики высоких энергий, там же.

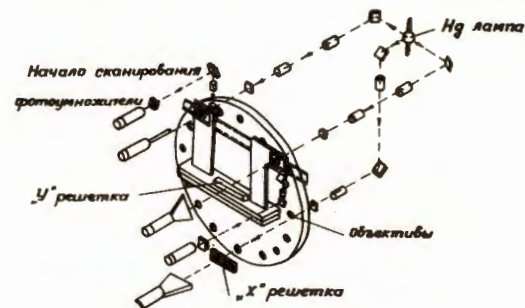


Рис. I. Система Бакера



Рис.2. Снимок для системы Бакера

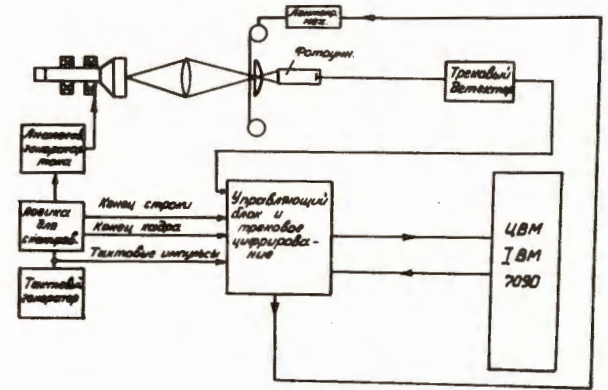


Рис.3. Блок-схема системы "Luciole"



Рис.4. СНИМОК для системы RIP .

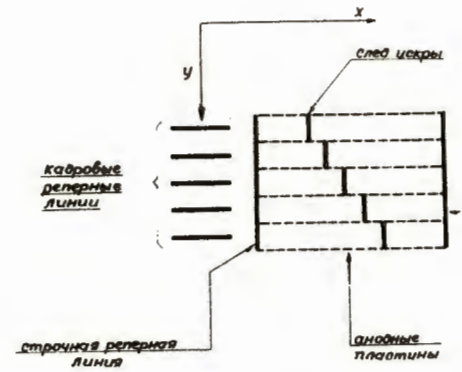


Рис. 5.СНИМОК для системы "Синта"

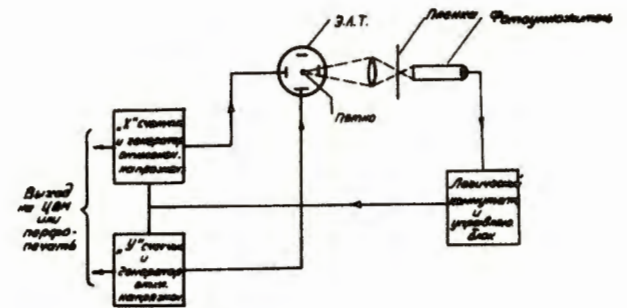


Рис.6. Блок-схема системы "Синта"

В последнее время в физике все большее распространение получают искровые камеры. Основным методом съема информации с искровых камер в настоящее время является фотографический. Существенным недостатком фотографического метода является его трудоемкость.

Было предложено несколько методов автоматического съема координат искр (1,2,3,4,5). Из них наибольшей простотой, универсальностью и точностью обладает метод акустической локализации искр. С целью уменьшения объема ненужной информации в установке с акустическим съемом можно осуществить предварительный отбор событий в быстрой памяти анализатора с выводом на внешнюю память существенно меньшего объема информации. Это важно, так как быстродействие акустических искровых камер ограничено быстродействием внешней памяти.

Принцип акустического метода заключается в следующем. Рядом с каждым искровым промежутком в камере располагаются микрофоны, количество которых обуславливается спецификой решаемой задачи. Геометрия расположения микрофонов строго известна. В момент образования первоначального ствола искры вокруг него в газе формируется ударная волна, распространяющаяся в искровом промежутке концентрически относительно искры (6). Многоканальным анализатором измеряются времена распространения ударной волны до микрофонов.

Под ударной волной понимаются распространяющиеся в какой-либо среде резко нарастающие давление, плотность, температура и скорость частиц среды.

Ударные волны, получаемые при искровых пробоях в газе в наших условиях, имеют форму N -волн и относятся к слабым ударным волнам. Как известно (7), области в ударной волне с различным давлением распространяются с различными скоростями. Области сжатия распространяются несколько быстрее, чем звуковые волны, области разрежения распространяются медленнее звуковых волн.

Как показали измерения, проведенные с микрофонами, применяемыми в данной работе, длительность фронта сжатия в ударных волнах, получаемых в наших условиях, порядка $1 \div 1,5$ мксек.

Длительность ударной волны ℓ в среднем порядка 20 мксек.

Скорость фронта ударной волны, как и простого звука, определяется составом газа, его температурой, плотностью и, кроме того, еще зависит от амплитуды волны. Зависимость скорости фронта сжатия ударной волны C_s от амплитуды давления P_1 для идеального газа дается выражением:

$$C_s = a_1 \left(1 + \frac{\gamma+1}{4\gamma} \frac{P_1 - P_0}{P_0} \right),$$

где P_0 - давление в невозмущенной среде.

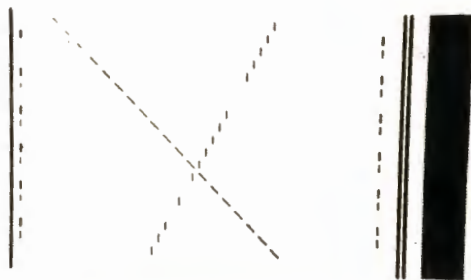


Рис.7. Снимок для системы ЗАММ.

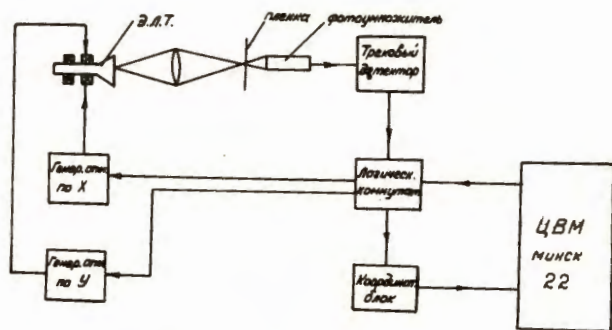


Рис.8. Блок-схема автомата ОИЯИ.

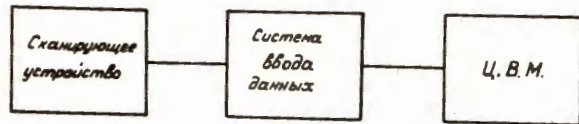


Рис.9. Общая блок-схема автомата.

Амплитуда ударной волны при ее распространении в зазоре искровой камеры убывает как $\frac{1}{\sqrt{R}}$, где R — расстояние волны от места образования. Следовательно, в процессе распространения ударной волны в зазоре скорость ее убывает.

Экспериментально была проверена зависимость скорости ударной волны от ее амплитуды в следующих условиях. Источником искры служил искровой промежуток 2 мм в воздухе, помещенный между двумя пластинами из оргстекла, отстоящими друг от друга на расстоянии 5 мм. Микрофон помещался в искровом зазоре на расстоянии 500 мм от искры. Через искровой промежуток разряжалась емкость 25000 пф, $V = 15$ кв. Величина мощности, выделившейся в искровом промежутке, регулировалась величиной сопротивления, включаемого последовательно с искровым промежутком.

Измерялось время распространения волны до микрофона. Амплитуда волны определялась микрофоном. При изменении амплитуды акустической волны в 4 раза ($R_1 = 0$ ом, $R_2 = 510$ ом) скорость ударной волны уменьшилась \sim на 1%.

Форма ударной волны при ее образовании в искровом зазоре 5 мм с воздушным наполнением при 1 атм при измерении цилиндрическим микрофоном \varnothing 5 мм дана на осциллограмме, представленной на Рис. I. Вследствие недостаточной величины нагрузочного сопротивления микрофона сигнал частично проинтегрирован. Как видно на фотографии после полезного сигнала в течение ~ 50 мксек. наблюдаются шумы, по амплитуде существенно меньшие основного сигнала и, вероятно, обусловленные частичными отражениями основной ударной волны от электродов.

Как это будет показано дальше, путем специальной обработки сигнала можно избавиться от шумов.

При экспериментах с искровыми камерами могут встретиться два случая: 1. Когда необходимо знать одну координату искры в искровом промежутке, т.е. это случай одномерный, характерный при изучении дифференциального сечения какой-либо реакции, при измерениях импульсов частиц в магнитном поле. 2-ой случай — плоский, когда необходимо определить две координаты искры.

В первом случае задачу можно решить плоским микрофоном, который позволяет исключить зависимость от второй координаты.

Во втором случае необходимы микрофоны с ненаправленным приемом. Этому требованию удовлетворяют цилиндрические микрофоны круглого сечения, расположенные каждый своей осью перпендикулярно плоскости искрового промежутка.

Микрофоны для регистрации ударных волн должны удовлетворять следующим условиям. Исходя из стремления получить высокую точность определения времени, необходимо иметь высокочастотные микрофоны с полосой, верхняя граница которой достигает 1 мГц. Это качество микрофона необходимо также для получения хорошей разрешающей способности камеры. Для получения хорошего разрешения необходимо, чтобы микрофоны обладали малым "мертвым временем".

При регистрации ударных волн с различной амплитудой важно, чтобы микрофон обладал линейностью входной характеристики в большом диапазоне амплитуд входных сигналов, так как необходимо сохранить при большой величине входного сигнала соотношение между сигналом и шумом, обусловленным электродами, который \sim в 15 раз меньше, чем полезный сигнал.

Важной характеристикой микрофона является его чувствительность, обеспечивающая работоспособность с микрофоном. Существенно также требование к микрофону в отношении его помехочувствительности. Дело в том, что в момент разряда на вход усилителя сигнала с микрофона поступает наводка через землю, емкость электрод-микрофон, цепи питания, а также электромагнитная наводка. Для уменьшения влияния этой перегрузки желательно иметь малое сопротивление нагрузки микрофона, т.е. микрофон должен иметь малое выходное сопротивление.

Всем этим требованиям удовлетворяют так называемые электростатические или конденсаторные микрофоны, изготовленные из лавсановой пленки толщиной 5 + 8 мк с алюминиевым напылением 1 мк (8).

Пленка прижата к плоской металлической основе Al — напылением наружу. Металлическая основа и пленка укреплены на плексигласовом держателе. Напыление и основа являются обкладками конденсатора, емкость которого изменяется под действием ударной волны. Пленка будучи прижата первоначально к основе, опирается на отдельные микровыступы, имеющиеся на основе вследствие недостаточно чистой обработки поверхности. На микрофон подано смещение +200 в через сопротивление нагрузки $R_n = 18$ ком.

Практически величина емкости конденсатора 4 x 30 мм из пленки 8 мк получилась равной 10 пф за счет неполного прилегания пленки к основе. Как было показано в работе (8), верхняя граница полосы такого микрофона порядка 1 мГц.

Из измерений формы N — волны в воздухе без электродов можно сделать заключение, что микрофон практически не обладает мертвым временем, поскольку после окончания отраженного фронта N — волны микрофон не выдает каких-либо сигналов. Линейность входной характеристики микрофона проверена при изменении амплитуды входного сигнала в 10 раз. Измеренный сигнал от искры при изменении расстояния $l = 50 + 500$ мм. Чувствительность микрофона конденсаторного типа на порядок выше, чем чувствительность плоского кристалла из цирконата-титаната бария толщиной 1 мм, и равномерна по длине микрофона. Выходное сопротивление электростатического микрофона меньше, чем микрофона из пьезокерамики. Электростатический микрофон может работать на нагрузку в несколько ком без уменьшения сигнала. Микрофон цилиндрического типа диаметром 5 мм изготовлен путем наклеивания пленки с Al — напылением на металлический цилиндр-основу.

При размещении микрофонов около искрового промежутка необходимо соблюдать следующие правила.

1. Энергия ударной волны не должна рассеиваться до прихода на микрофон, т.е. микрофон должен быть размещен на продолжении электродов камеры.

2. Микрофон должен быть удален, по возможности, от электродов камеры для уменьшения емкости электроды-микрофон.

3. Волна, отраженная от микрофона, должна рассеиваться обратно в зазор камеры, не давая от каких-либо близко расположенных частей камеры эхо. Удалять датчик от рабочей площади электродов камеры полезно также из соображений получения меньшего разброса величин сигналов и, следовательно, удобства обработки сигналов. Эксплуатация микрофонов в течение нескольких месяцев показала их высокую надежность и стабильность.

В данной работе была осуществлена камера для регистрации одной координаты.

При осуществлении одномерного варианта искровой камеры можно идти двумя путями.

1. В каждый зазор камеры помещается один плоский микрофон, искровые промежутки хорошо развязываются один от другого. Величина скорости ударных волн определяется только с помощью вспомогательного разрядника, помещаемого в отдельный искровой промежуток камеры. В этом случае камера в основном пригодна для регистрации одного события. При регистрации двух и более одновременных событий камера будет обладать низкой точностью за счет возможного разброса скоростей ударных волн.

2. При расположении в каждом искровом промежутке двух плоских микрофонов, параллельных друг другу и расположенных с противоположных сторон искрового промежутка, появляется возможность грубую величину скорости ударных волн, получаемую со вспомогательным разрядником, уточнить для каждой отдельной ударной волны и получить высокую точность. Хотя при близко расположенных событиях возможна неоднозначная интерпретация результатов.

В данной работе был осуществлен первый вариант камеры. Камера содержит 5 рабочих искровых промежутков по 8 мм, с размерами полезной площади 200 x 40 мм и шестой, вспомогательный промежуток 5 мм, с размещенным в нем вспомогательным разрядником. Искровые промежутки разделены нерабочими промежутками 20 мм, изолирующими акустически искровые промежутки друг от друга. Электроды камеры изготовлены из медной 0,1 мм фольги. Камера склеена из рамок из оргстекла эпоксидной смолой ЭД-5. Рядом с каждым искровым промежутком помещен плоский 4 x 30 мм микрофон. Стенки рабочего промежутка сделаны с треугольным выступом как для предотвращения пробоя по стенке, так и для уменьшения амплитуды и крутизны эхо. Практически после усилителя, принципиальная схема которого дана на Рис.2, эхо не наблюдается совсем.

Камера управляется телескопом из двух сцинтилляционных счетчиков. Генератор высоковольтных импульсов (Рис.3) выполнен на четырех тиратронах ТГИ-1-325/16, поджигаемых тиратроном ТГИ-3/1.

Искровые промежутки развязаны сопротивлениями, в случае наполнения 80% Ar + 20% Ne, рав-

ными 100 ом, и 15,0 ом - при наполнении Ne. Параметры высоковольтного импульса: амплитуда 8 кв, длительность 0,2 мксек, его запаздывание по отношению к моменту прохождения частицы меньше 0,4 мксек. Величина очищающего поля - 10 вольт.

Для усиления сигналов с микрофонов применяются усилители на трех транзисторах (см. рис.2), формирующие на выходе стандартные по форме сигналы амплитудой 8 вольт.

Перед наполнением камеры откачивались до 10^{-2} мм рт.ст., промывались и наполнялись рабочей смесью. В качестве рабочей смеси использовалась следующая: 80% Ar + 20% Ne при давлении 1,2 атм, а также чистый Ne при 1,2 атм. В том и другом случае камеры работали с эффективностью, близкой к 100%. Величина сигнала на выходе микрофона в обоих случаях одна и та же и равна в среднем 100 мв.

Сигнал, получаемый с микрофона, обрабатывается следующим образом. Вследствие малой величины емкости микрофона и входного сопротивления усилителя сигнал дифференцируется. После дифференцирования шума, следующие за полезным сигналом, по величине меньше основного сигнала ~ в 10 раз. Дискриминация шумов осуществляется за счет нелинейности входной характеристики второго транзистора. Длительность сформированного импульса ~ 5 мксек, длительность сигнала от перегрузки усилителя помехой от искры ~ 10 мксек. Степень развязки искровых промежутков была проверена при Ar + Ne наполнения путем наблюдения амплитуды ударных волн от искр, получавшихся в определенном месте искрового промежутка. Измерения показали что разброс ударных волн по амплитуде не больше 10% от некоторой средней величины. Это может привести к относительной погрешности определения координаты искры не больше 0,02%.

Погрешность, вносимая при регистрации системой микрофон + усилитель, проверена в следующем опыте. Два микрофона размещались с двух сторон от искрового разрядника параллельно друг другу, каждый на расстоянии от разрядника, равном 14 мм. Сигналы с микрофонов через усилители подавались на два луча ДЭСО-1. Мощность разряда поддерживалась постоянной. Измерялась погрешность воспроизводимости положения среднего $\frac{t_1 + t_2}{2}$, где t_x - положение фронта сигнала на первом луче и t_x - на втором луче осциллографа.

Полученная величина разброса равна ~ 0,2 мксек. В эту погрешность входит погрешности осциллографа, т.е. на самом деле погрешность системы микрофон-усилитель меньше. Реальная цифра погрешности камеры может быть получена при испытании ее с анализатором при обходе траекторий частиц, зарегистрированных всей системой.

Величина акустической наводки из одного промежутка камеры в другой не больше 1% от величины сигнала, который является причиной наводки.

Разрешающая способность цилиндрического микрофона диаметром 5 мм была проверена при регистрации двух искр, получаемых в искровых промежутках по 2 мм, расположенных в воздухе без электродов. Расстояние от микрофона до искр изменялось в пределах $l = 30 + 300$ мм. Сигнал на выходе микрофона усиливался усилителем, схема которого дана на рис.2. Для

получения одинаковой амплитуды ударных волн искровые промежутки были развязаны сопротивлениями по 15 ом. В этих условиях было получено разрешение, равное 4 мм. Принципиально, при улучшении обработки сигналов с микрофона, можно добиться разрешающей способности, близкой к длительности фронта ударной волны. На основании полученных результатов испытаний камеры можно сделать заключение о пригодности камеры для регистрации нескольких одновременных событий с точностью, которая будет определяться степенью развязки искр в одном промежутке.

Для регистрации положения искры на плоскости необходимо применять цилиндрические микрофоны диаметром 5 мм. При определении положения одной искры на плоскости, при известной скорости ударной волны, необходимо иметь два микрофона, располагаемых таким образом, чтобы исключить области, в которых возможна неоднозначная интерпретация результатов. Для этого микрофоны 1 и 2 следует расположить так, чтобы прямая, соединяющая микрофоны, не пересекала рабочую площадь искрового промежутка.

Для регистрации двух и большого количества одновременных в одном промежутке искр необходимо располагать рядом с промежутком не меньше пяти микрофонов.

При регистрации акустических волн, отличающихся по амплитуде более, чем на порядок (при больших размерах камеры и при регистрации нескольких одновременных событий), возможность простого обрезания шумов исключена. Для устранения шумов, которые по амплитуде \sim в 10 раз меньше полезного сигнала и продолжают после полезного сигнала в течение 50 мксек, была разработана схема, представленная на рис. 4. Эмиттерный повторитель T_1 позволяет получить эквивалентную величину нагрузки микрофона R_n порядка 18 ком. При $R_n = 18$ к. сигнал с микрофона только частично дифференцируется (см. рис. 1). Диод D_1 обрезает положительную составляющую сигнала. На цепочке R^*C_1 сигнал дифференцируется. $R^* = \frac{R_1 - R_{вх}}{R_1 + R_{вх}}$, где $R_{вх}$ - входное сопротивление T_2 . После усиления транзистором T_2 сигнал через диод D_2 частично заряжает емкость C_2 . Постоянная зарядной цепи много больше длительности сигнала, поэтому емкость C_2 успевает зарядиться за время длительности импульса до 1/10 амплитуды импульса. Время разрядки емкости C_2 равно \sim 50 мксек. Так как диод D_2 оказывается закрытым потенциалом емкости C_2 , то шумы не проходят на выход схемы, а полезный импульс на выходе схемы имеет длинный пологий хвост, от которого очень легко избавиться дифференцированием. Схема была испытана при 20-кратном диапазоне изменения амплитуды входного сигнала.

Л и т е р а т у р а.

1. Informal Meeting on Filmless Spark Chamber Techniques and Associated Computer Use, CERN, Geneva, Marsch 3-6, 1964.
2. W.A. Wenzel. "Spark Chamber" Lawrence Radiation Laboratory Report, UCRL-11319.
3. G. Charpak, J. Favier and L. Massonet, Nucl. Instr. Methods, 24, 501 (1963).

4. Д.К. Акимов, А.И. Калинин, А.И. Сидоров, Препринт ОИЯИ, Р-1526, Дубна, 1964 г.
5. F. Krienen, Nucl. Instr. Meth., 16, 262 (1962), 20, 168 (1963).
6. I. Fischer and E.T. Zorn. Rev. Sci. Instr., 32, 419 (1961).
7. Elements of Gasdynamics. H.W. Liepmann, A. Roshko, California Institute of Technology, 1957.
8. Wright Wayne M. "High-Frequency Electrostatic Transducers for Use in Gases". 1962 IRE, Internat. Convent. Rec. 1962, 10, № 6, 95-100.



Рис.1. Осциллограмма выходного напряжения цилиндрического микрофона, помещенного в искровой зазор 5 мм.

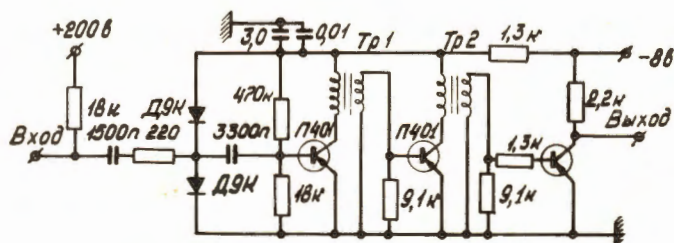


Рис.2. Принципиальная схема усилителя сигнала с микрофона.

Тр_{2,1}:

сердечник ОК -1000, 7 x 4 x 2,5 мм,

$w_1 = 60$ витков,

$w_2 = 15$ витков.

ЭКСПЕРИМЕНТ, ПРОВОДИМЫЙ НА ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОМ ГЕНЕРАТОРЕ СОВМЕСТНО С
ЭЛЕКТРОННО-СЧЕТНОЙ МАШИНОЙ

СССР

П.М. Зейдлиц, С.П. Цытко, В.А. Ямницкий,
А.Ф. Махаров, О.А.Джанович, В.В. Рябка

Автоматизации подлежит ядерный эксперимент на средних энергиях, проводимый с помощью электростатического генератора (ЭСГ), спцинтиляционного счетчика, состоящего из кристалла и спаренного с ним фотоумножителя.

Эксперимент состоит из четырех этапов:

1. Поиск резонансов в широком диапазоне энергий.
2. Определение угловых распределений вторичных гамма - квантов.
3. Снятие амплитудного спектра гамма-квантов.
4. Обработка результатов измерений, а именно разложение спектра по резонансам и углового распределения по функциям косинуса угла.

Блок-схема эксперимента, включающая как орудие автоматизации электронно-счетную машину (ЭСМ), показана на рисунке 1. Электростатический генератор снабжен системой стабилизации энергии, датчиком которой является высокоточный декадный потенциометр, снабженный электроприводом шагового типа. На мишени установлены:

- а) Датчик тока пучка (монитор).
- б) Детектор (спцинтиляционный счетчик) гамма-квантов.

Детектор может быть развернут вокруг мишени на любой угол также с помощью шагового электропривода.

ЭСМ применена типа "Днепр" [1]. Эта машина обладает тем неоспоримым достоинством, что в состав ее, сверх обычно устанавливаемых в ЭСМ узлов, входит устройство связи с компьютером (УСО), позволяющее принимать информацию с объекта и выдавать на него команды без вмешательства человека. На рис.2 представлен общий вид электронно-счетной машины "Днепр" с устройствами вывода из нее информации.

Операции по связи с объектом выделены в специальную группу команд, которые могут быть включены в программу работы ЭСМ наряду с арифметическими и логическими командами. Это команды опроса датчиков, счетчика и регистра, а также команды включения-выключения реле. Команда опроса содержит в себе номер датчика (отдельные номера присвоены счетчику и регистру) и номер ячейки, куда записывается информация. Команда включения - выключения содержит номер исполнительного реле и информацию о самой операции: включение или выключение.

Работа комплекса в первом режиме протекает следующим образом: По команде, следующему

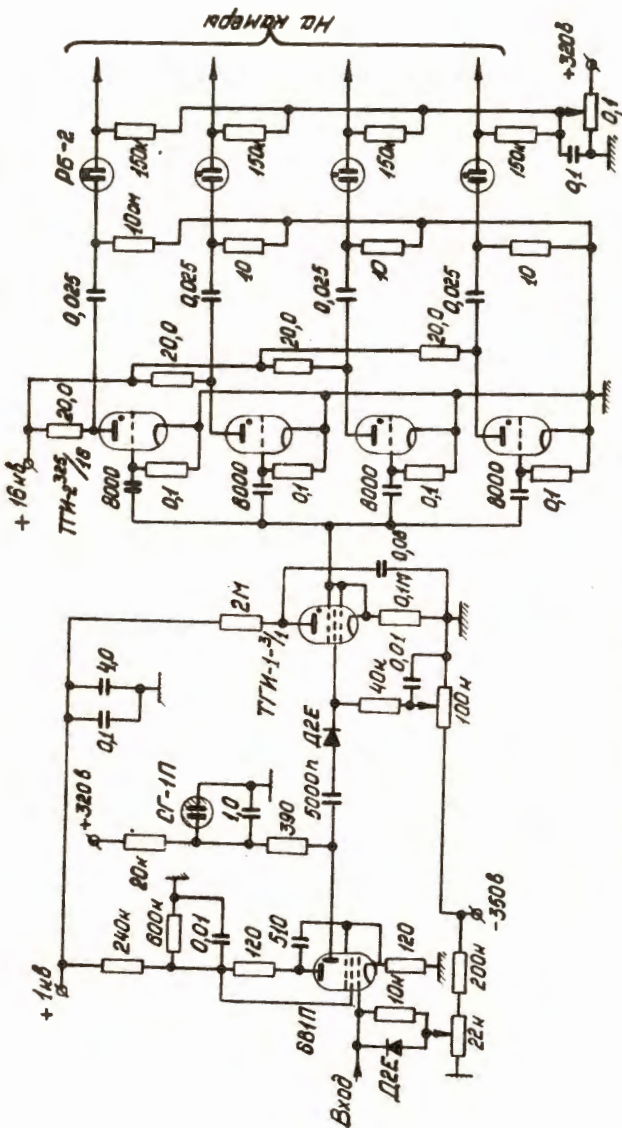


Рис.3. Принципиальная схема генератора высоковольтных импульсов.

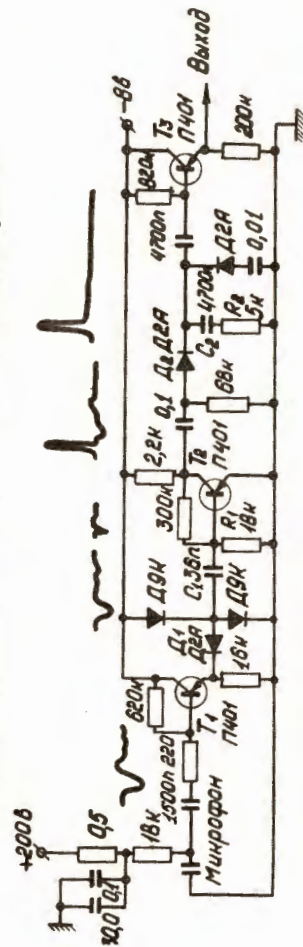


Рис.4. Схема для обработки сигнала с микрофона, позволяющая исключить шум.

по линии связи из ЭСМ, устанавливается определенное положение декадного потенциометра в схеме стабилизации напряжения ЭСГ. Поле установления напряжения на ЭСГ, схема стабилизации посылает ответный сигнал на ЭСМ, включающий один из разрядов регистра УСО. Счетная машина в это время производит непрерывный опрос регистра. Как только в соответствующем разряде регистра появится "1" (результат послышки со схемы стабилизации), счетной машиной осуществляется сброс на ноль счетчика и регистра. С этого момента начинается режим счета импульсов с датчика, осуществляемый счетчиком УСО через линию связи.

Счет продолжается до тех пор, пока специальная интегрирующая схема, включенная совместно с монитором, не отметит прохождения заданного заряда первичных частиц через мишень.

В момент достижения заданного значения заряда интегратор выдает импульс в ЭСМ, устанавливая один из разрядов регистра в "1". При N - кратном появлении в регистре "1", пришедшей с интегратора (N задается оператором), счетная машина производит опрос счетчика, снимая с него показания. Такой опрос производится неоднократно при заданной энергии, результаты обрабатываются статистическими методами. При наборе необходимой статистики автоматически происходит переключение декадного потенциометра в целях перехода на новую ступень энергии. В зонах энергии, где наблюдаются максимумы отсчетов (резонансы), производится автоматический поиск экстремума с малым шагом по энергии, в промежутках между резонансами шаг по энергиям увеличивается.

Во втором режиме работа совершенно аналогична первому, с той разницей, что управление производится не декадным потенциометром, а приводом разворота спинтилляционного счетчика.

Третий режим заключается в наборе амплитудного спектра гамма - квантов на энергии, отвечающие заданному резонансу.

Амплитудный анализатор не является обязательной деталью, так как УСО счетной машины "Днепр" превращает последнюю в многомерный анализатор.

В данном режиме используется только один датчик и не более 250 каналов. Счетная машина предназначена для анализа постоянных напряжений, поэтому для растяжки короткого импульса с фотоумножителя применена схема мощного катодного повторителя с зарядкой передающей линии на время, необходимое счетной машине для проведения аналого-дискретного преобразования ($0,5 + 2$ мсек). Для снижения общего уровня фона набор спектра производится при малых интенсивностях ускоренного пучка, поэтому средняя частота следования импульсов с ФЭУ не превышает 500-1000 гц, что вполне согласуется со временем преобразования.

В тех случаях, когда необходимо большее быстродействие анализатора (до 10 кгц), приходится набор спектра производить на стандартном амплитудном анализаторе АИ-100. Выдача информации с АИ-100 производится с помощью специального согласующего устройства в коде, непосредственно пригодном для ввода в счетную машину. Согласующее устройство выполнено целиком на элементах, унифицированных с элементами счетной машины.

Четвертый режим работы связан только с обработкой спектров на счетной машине, и не затрагивает ЭСГ. Разложение спектра гамма-квантов производится матричным методом (называемым еще методом обдирки), с последующей коррекцией компонент в целях получения наилучшего приближения. Программой предусмотрена возможность ручной коррекции спектра в том случае, если некоторые резонансы заранее известны.

Вывод информации со счетной машины в четвертом режиме производится на специальный быстродействующий графопостроитель (рис.3). Привод построителя - шаговые двигатели, управляемые счетной машиной с помощью операций включение-выключение.

Применение максимально легкой подвижной части и специальной передачи на ходовые части позволило получить скорость движения пера до 150 ± 200 мм/сек при времени разгона и торможения 5 ± 10 мсек. Точность построения $0,2 \pm 0,3$ мм при размере рисунка 900×900 мм. Соединение отдельных точек графика производится методом линейной интерполяции. Одновременно с графопостроителем работает цифропечатающее устройство, указывающее характерные значения спектров резонансов.

Литература.

1. Оценко и др. УМШН "Днепр", пособие для программиста, Киев, 1964 г.

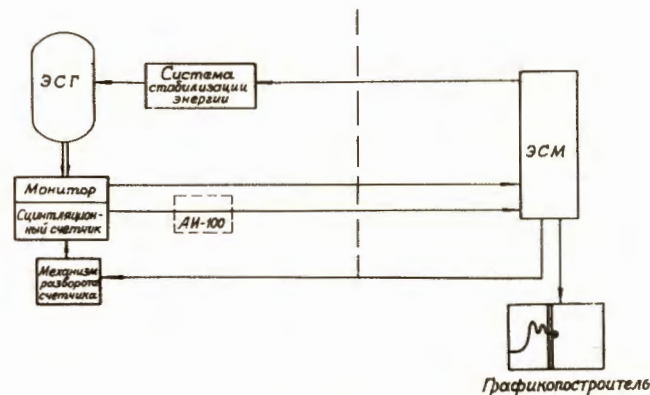


Рис.1. Блок-схема эксперимента



Рис.2. Общий вид электронно-счетной машины "Днепр" и устройств вывода информации.

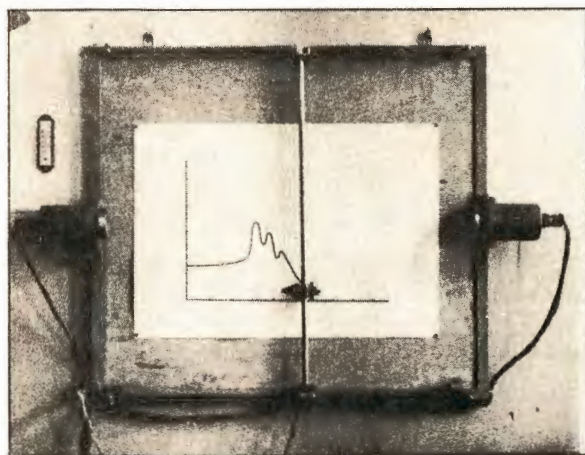


Рис.3. Быстродействующий графический построитель.

МАГНИТОФОННЫЙ УНИВЕРСАЛЬНЫЙ СТАТИСТИЧЕСКИЙ
АНАЛИЗАТОР (МУСА-6)

ЧССР

И. Крыже

I. Введение.

Одним из самых трудоемких задач обработки экспериментальных данных является задача обработки случайных процессов.

Для получения кривых, выражающих закономерности обрабатываемых случайных процессов, как, например, корреляционных функций, функций распределения плотности вероятности, спектральных функций или других с нужной точностью и повторяемостью, надо обрабатывать исходный объем данных от десятков тысяч до миллионов чисел, и проводить от сотен тысяч до миллиардов элементарных математических операций для одной кривой.

Без автоматизации процесса записи и ввода данных и самого вычисления нельзя серьезно думать о применении статистических методов на практике. При этом недостаточна автоматизация самого вычислительного процесса. Ручной труд, связанный, например, со считыванием записей самописцев и вводом соответствующих чисел в какую-нибудь машину при статистических вычислениях - крайне важное препятствие. Поэтому надо обеспечить такой вид записи прямо в ходе измерения, который подойдет для автоматического ввода данных в машину.

Если такой вид записи имеется, то, в принципе, можно обрабатывать полученный материал на универсальной цифровой машине. Но если учесть громадный объем исходных данных, и тоже суммарное количество операций, то выходит, что даже самые простые задачи почти полностью используют возможности современных ЦВМ именно по объему и быстродействию памяти.

Для решений задач среднего размера затрата времени для получения одной кривой и на больших машинах становится неприемлемой и вычисления дорогими.

Трудности, связанные с применением статистических методов, как видно, немалые.

Но, с другой стороны, статистические методы, по теории, обещают значительное расширение исследовательских возможностей и, во многих случаях, являются единственным путем получения искомого результата.

Примером систем, которые не допускают измерения динамических параметров классическими методами, а требуют статистический подход, основанный на анализе случайных процессов,

регистрируемых в ходе нормальной эксплуатации, являются ядерные реакторы.

Непригодность и неэкономичность универсальных ЦВМ для большого объема вычислений, связанных с решением статистических задач, и в тоже время крайне простая структура этих вычислений, не использующая возможности ЦВМ привели во многих странах к построению специализированных машин, именно корреляторов. Такие машины разрабатывались и разрабатываются и в тех странах, которые обладают мощной цифровой техникой. Ядерные институты особенно часто проектируют такие корреляторы. Подобные рассуждения привели к решению построить специализированную машину и в Институте теории информации и автоматизации ЧСАН. Эта машина - МУСА-6 в настоящее время успешно выполняет задачи, связанные с применением статистической динамики на практике. Хотя она не задумана специально для целей ядерной техники, ее первым зарубежным заказчиком является Ядерный институт.

2. Основные применения

Машина МУСА-6 предназначена для обработки временных случайных процессов, записанных на магнитную ленту. Если случайная переменная является случайной функцией не времени, а пространства, или вообще какой-нибудь другой координаты, то применение машины возможно лишь тогда, когда с помощью дополнительного устройства удастся преобразовать этот случайный процесс во временной случайный процесс.

Основные результаты вычислений на машине, получение которых полностью автоматизировано, следующие:

1. Корреляционные функции.
2. Функции распределения.
3. Преобразования Фурье.

Машина способна и к решению некоторых нестатистических задач.

1. Вычислять интегралы.
2. Моделировать функции запаздывающего аргумента с запаздыванием, зависящим от переменной величины.
3. Образовывать память для моделирующей машины непрерывного действия.
4. Работать как множительное устройство для перемножения непрерывных сигналов.
5. Преобразовывать масштаб времени непрерывных процессов.

Эти применения являются только модификацией или упрощением статических задач и не вызывают усложнения узлов машины.

Машина приспособлена и для некоторых вспомогательных действий:

1. Перенос сигнала с одной дорожки ленты на одну из дорожек другой ленты. При этом можно добиться обращения смысла отсчета времени записанного процесса.
2. Перемотка ленты с бобины на другую бобину.

Кроме перечисленных стандартных применений машины, ее можно использовать для решения разнообразных задач статистического и нестатистического характера, и применять для решения разнообразных задач статистической динамики, если только можно эти задачи свести к комбинации следующих основных действий:

1. Запись электрических сигналов с напряжением, изменяющимся во времени.
2. Воспроизведение со сдвигом, зависящим от переменной.
3. Умножение.
4. Сложение.
5. Вычисление среднего значения.
6. Обращение смысла отсчета оси времени.
7. Генерирование функций $\sin \omega t$, $\cos \omega t$ с заданной фазой для ω и $t = 0$.

Исходные данные, которые должны на машине обрабатываться, записываются на магнитную ленту стационарной машины.

Для обработки процессов, снимаемых на месте исследуемого объекта, предназначено переносное записывающее устройство, которое в настоящее время разрабатывается. Основная часть машинного времени сейчас уходит на разработку методов применения стохастической теории на практике, что никак не является простой задачей.

Результаты, получаемые на машине МУСА-6, т.е. корреляционные функции и т.д., в большинстве случаев не являются конечным ответом на заданный вопрос, а их надо подвергнуть еще дальнейшей обработке. Но способы этой дальнейшей обработки могут быть различными и методы бывают по математической структуре не такие уж простые, так что применение универсальной ЦВМ является лучшим решением на этом этапе. Объем данных тоже резко снижен - для определения результирующей функции вполне достаточно десятков, или в крайнем случае, сотен значений. Основное затруднение, возникающее при применении универсальной ЦВМ для обработки исходного материала, таким образом устранено.

Чтобы облегчить описанное распределение труда между машиной МУСА и ЦВМ обеспечена возможность получения результатов не только в форме кривых, но и в цифровой форме.

3. Параметры и конструктивные данные

Машина МУСА-6 аналоговая. Одним из важнейших ограничений аналоговых машин является ограничение точности. При обработке большого объема данных, когда результат получается как итог большого числа элементарных операций, точность особенно важна. При разработке машины МУСА-6 требованию высокой точности уделялось особое внимание. Оно определило выбор метода записи на магнитную ленту - широтно импульсную модуляцию.

Этот вид записи дискретный. Каждому отдельному периоду импульсного сигнала отвечает одно значение - проба - входного сигнала.

Следовательно, запись на магнитной ленте дискретная по времени и исследуемые процессы выражены через конечное число своих значений в равноотстоящих точках.

Исходя из этого основного свойства записи, и для всех остальных операций в машине выбран дискретный способ исполнения. Все операции делаются с пробами и в результате операции получается проба результирующей функции. Тем самым действия машины становятся очень близкими к действиям ЦВМ, хотя они проводятся аналоговым путем.

Но, в отличие от цифровых машин, результирующие кривые можно получить не только в форме таблицы дискретных значений, но также в форме интерполированных, гладких кривых.

Машина МУСА-6 обеспечивает точность $1/1000$ от максимального значения при следующей комбинации операций:

запись - воспроизведение - умножение - сложение.

Магнитная лента имеет 6 рабочих дорожек и две вспомогательные, служащие для записи импульсов, управляющих автоматическим ходом вычислений. На каждом миллиметре каждой рабочей дорожки можно записать одну пробу (значение) процесса. Машина способна записывать процессы со скоростью от одной пробы в секунду до десяти тысяч проб в секунду. Она сможет обрабатывать процессы на скорости магнитной ленты 10 метров в секунду, т.е. 10 000 проб в секунду, и вычислять при этом до пяти корреляционных функций сразу. Это соответствует мощности ЦВМ с 50 000 полными операциями типа $ab+c$ (включая обращения к накопителю),

Максимальная длина представления процесса - 200 м ленты, т.е. 200 000 проб. Суммарная емкость памяти машины составляет, следовательно, 1 200 000 проб.

Сравнение этих параметров с параметрами существующих ЦВМ ясно показывает удобства специализированной машины.

4. Структура основного рабочего канала машины показана на рис.1.

Входной сигнал $x(t)$ (диапазон 100в) поступает на блок обследования БО, который выбирает пробы (сигнал $\tilde{x}(t)$). Каждая проба превращается в блоке кодирования КОД в один широтно модулированный импульс. Тактовые импульсы и эталонные напряжения, нужные для БО и КОД получаются от блока эталонных напряжений БЭН. Импульсный сигнал $\tilde{x}(t)$ записывается на магнитную ленту при помощи усилителей записи УЗ и головок записи ГЗ. При чтении импульсный сигнал, после усиления и формирования в усилителе чтения УЧ, управляет блоком умножения БУ. Вторая входная переменная $y(t)$ блока умножения тоже должна быть дискретной по времени, и поэтому подается на вход через БО. Дискретизация $y(t)$ проводится синхронно с дискретностью $\tilde{x}(t)$, что обеспечивается синхронизатором СИН.

После умножения восстанавливается (путем интерполирования) плавная форма результирующего сигнала в интерполаторе ИНТ. В том же блоке, если желательно, вычисляется среднее значение сигнала $w(t)$ за период T , определенный длиной записи исследованного процесса.

Машина имеет шесть каналов; блок-схема одного из них показана на рис.1. Отдельные блоки каждого канала можно произвольно комбинировать при помощи коммутационного поля, что дает возможность гибкого программирования многих задач.

На рис.2 показана схема лентопротяжки при вычислении корреляционной функции. Лента замкнута в бесконечное кольцо, и ее основная часть намотана в контейнере многими витками на больших роликах P_1, P_2, P_3, P_4 . Лента 35 мм ширины, перфорированная, и приводится в движение звездочкой П, обороты которой стабилизированы с точностью сотой процента. Неравномерности движения ленты, возникающие в контейнере и за счет зубчатого привода, устраняются роликами на подвижных рычагах с пружинами $P_3, И_3, P_7, P_1, И_1, P_8, P_2, И_2$ на рис.2. Г_с-головка стирания. Г_А и Г_В - головки чтения или записи. Длина петли ленты между головками Г_А и Г_В меняется автоматически посредством следящей системы, управляющей положением роликов P_9 и P_{10} при помощи винта В. Эта длина и определяет собой величину запаздывания при вычислении корреляционных функций, или моделировании функций запаздывающего аргумента.

Всегда после одного пробега всего кольца ленты под головками чтения получается одно значение корреляционной функции для данного значения запаздывания и длина петли автоматически изменяется на новое значение запаздывания.

Значения корреляционной функции, полученные для отдельных дискретных значений τ , линейно интерполируются, вследствие чего, самописец, подключенный на выход машины, записывает почти - что плавную кривую (рис.3).

Работа при других видах автоматизированных вычислений аналогична вычислению корреляционной функции, только вместо запаздывания меняется автоматически другой параметр (частота, уровень, и т. д.).

Общий вид машины показан на рис. 4.

5. Опыт эксплуатации.

Несколько месяцев одно- и двухсменной эксплуатации машины не дает пока возможности для каких-нибудь окончательных заключений. Ясно только, что, имея машину, надо овладеть еще методикой ее использования, что ни чуть не легче, чем постройка машины, если говорить о практическом применении статистических методов для измерения динамических характеристик систем автоматического регулирования. Работа сейчас ведется в основном в этом направлении и еще далеко не закончена.

Но, что касается самой машины, можно сказать, что она работает и удовлетворяет заданным техническим условиям.

Опыт эксплуатации показал целесообразность того большого внимания, которое было уделено обеспечению большой точности машины.

Большинство взаимнокорреляционных функций достигает лишь $1/20$ от максимального выходного напряжения, даже если масштабы при записи процессов выбираются тщательно, чтобы полностью использовать рабочий диапазон. Тогда 1% машинной точности — это 2% от максимального значения корреляционной функции. Максимальный объем данных — 200 000 точек для одного процесса также оказался не очень большим, а при многих задачах надо искусственными путями обходить это ограничение. Однако даже такое быстроедействие обеспечивает получение кривой (типа кривой на рис. 3) за 5–15 минут.

Л и т е р а т у р а

1. Brooks F.E., Smith H.W. A Computer with Correlation Functions Review of Scientific Instruments 23, №3, 1952, p.121-126.
2. Holmes J.N., Dukes M.A. A Speech-Waveform Correlator with Magnetic Tape Delay and Electronic Multiplication Proc. IRE 101 111, № 72, July 1954, p.225-237 (Radio-section Paper № 1639)

3. Новиков Д.В. Магнитный коррелограф. серия "Приборы и стенды", Изд. Института тех. эконом. информации АН СССР, Москва 1956.
4. Бабурич В.М. Коррелограф-прибор для вычисления корреляционных функций низкочастотных процессов.
Сборник: Применение вычислительной техники для автоматизации производства Мамгиз, Москва 1961.
5. Lee I.W., Cheatham T.P., Wiensner J.B. Application of Correlation Analysis to the Detection of Periodic Signals in Noise Proc. IRE 38 No 10, 1950, p.1165-1172
6. Levin M.J., Reintjes F.J. A Five channel Electronic Analog Correlators. Proc. of National Electronic Conference 8, 1952, p.647-656.
7. Reintjes F.J. An Analogue Electronic Correlator Proc. of National Electr.Conference 7, 1951, p.390-400
8. Silhanek, Užití analogových počítačů v regulaci a automatizaci. Сборник: Elektronické analog.počítače. Изд.: Tesla Pardubice, ЧССР.
9. Maxwell: Development of a Portable Magnetic Tape Recorder for Precision Data Recording. IRE Convention Record, Part 10, 1955, p.97
10. Newhouse: Compound Modulation - Method of Recording Data on Magnetic Tape. IRE Convention Record, Part 10, 1955, p.86.
- II. Reukauf: Simulate Transport Lags with Magnetic Taps Control Engineering 4 No 6, June 1957, p.145-147

12. Blandhol, Balchen. On the Experimental Determination of Statistical Properties of Signals and Disturbances in Automatic Control Systems.

Труды конгресса IFAC 1960 в Москве, 2, 788-796.

13. Kryze J. An Universeller Statistical Analyser, Труды конгресса IFAC 1963 в Баселе.

14. Kryze J. MUSA-6 - Ein Universeller statistischer Analysator. Zeitschrift fur Messen, Steuern, Regeln 6 (1963) H 1, S. 286-293 u. H.9, 385-391.

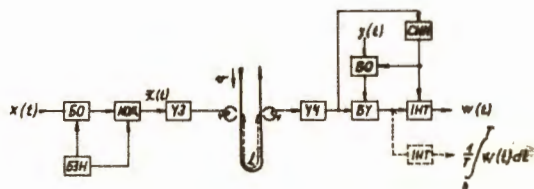


Рис. 1 Блок-схема типowego канала аналоговой машины "МУСА-6".

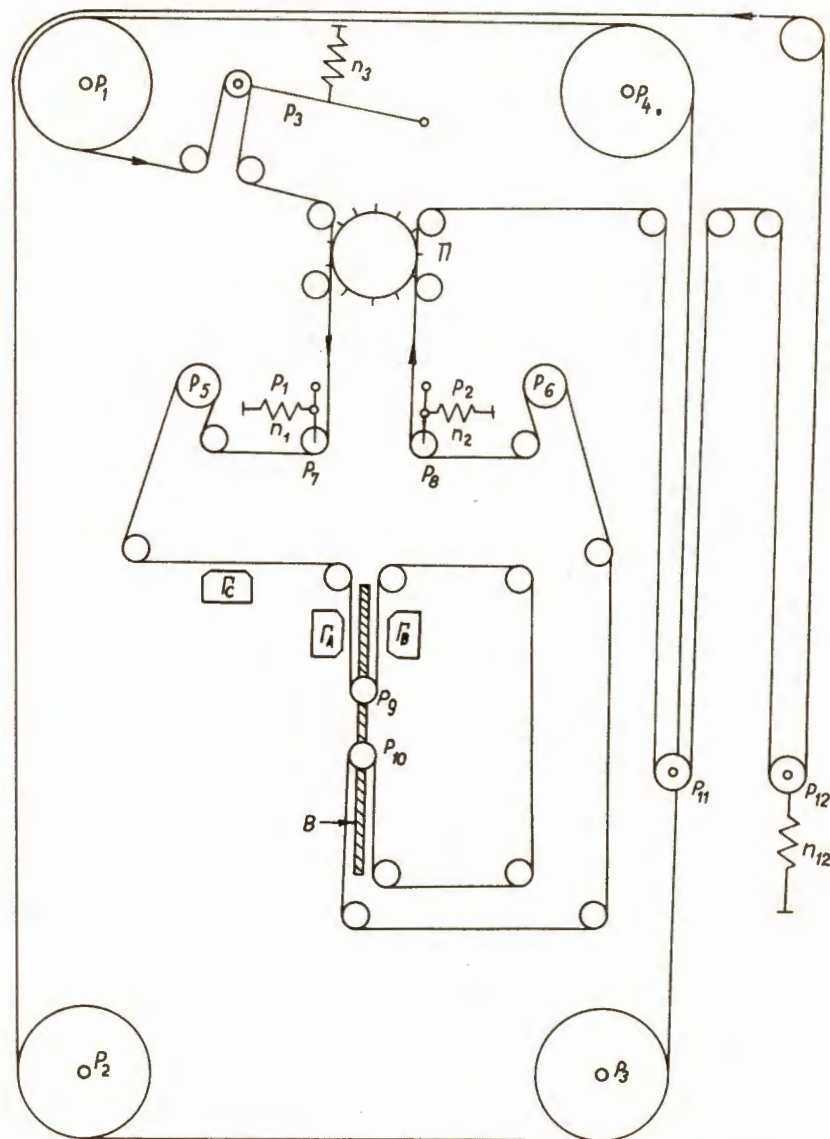


Рис. 2 Схема лентопротяжки для получения корреляционных функций.

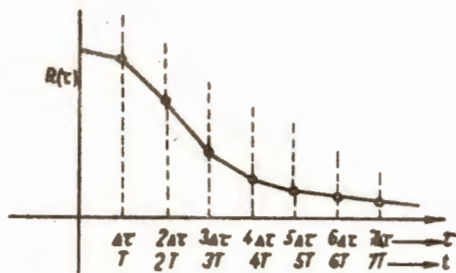


Рис.3 Типовая кривая корреляционной функции.



Рис.4 Общий вид машины "МУСА-6".

В настоящее время все острее ощущается потребность в разработке автоматизированных комплексных научно-исследовательских устройств, работающих на базе основных принципов кибернетики / I-5 /. Потребность в таких приборах вызвана рядом причин: сложность эксперимента подчас настолько высока, в особенности при комплексных исследованиях, что для человека становится невозможным управление ходом эксперимента; ситуации, возникающие во время эксперимента, часто требуют такой быстроты решения, которая лежит далеко за пределами человеческих возможностей; однообразие некоторых операций в совокупности с большим числом повторов, например, сбор и обработка статистических данных, превращают иногда труд исследователя в механическую работу, отнимающую большое количество времени; и, наконец, большой поток информации, получаемой во время эксперимента, делает необходимым проведение хотя бы первичной обработки данных, что из-за большого объема работы, вручную зачастую невозможно. Все это является предпосылками полной или частичной кибернетизации подобных исследований.

При детальном рассмотрении проблемы кибернетизации научного исследования оказывается, что с ней связан ряд теоретических взаимопроникающих проблем / 4,5 /, которые важны не только с точки зрения синтеза научно-исследовательских кибернетических устройств (НИКУ), но и с других, более общих позиций. Эта проблема настолько широка, что, по-видимому, в будущем сможет составить основу самостоятельной отрасли науки об исследованиях, которая на основании анализа методов исследования, применяемых в различных отраслях современной науки, должна дать м а т е м а т и ч е с к у ю т е о р и ю наиболее общих закономерностей исследования, главным образом:

- а) общую теорию управления ходом эксперимента, с целью разработки алгоритмов управления для конкретных случаев исследования;
- б) теорию переработки и систематизации научной информации, с целью вычисления алгоритмов обработки и систематизации данных исследований, и
- в) теорию поиска наиболее оптимальных вариантов решения научных задач.

Все эти вопросы взаимосвязаны и представляют собой различные стороны одной и той же проблемы - проблемы проведения научного исследования. В настоящей работе круг вопросов,

связанных с этой проблемой будет обозначаться термином "ножка".

Следует отметить, что в последнее время круг вопросов, имеющий здесь "ножку", уже получил некоторое развитие, однако, в основном, лишь применительно к промышленным экспериментам, либо к частным случаям научного исследования; хотелось бы подчеркнуть, что решение проблемы в целом, вне рамок конкретных ее формулировок, было бы полезным по многим причинам.

СХЕМА НАУЧНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Говоря о "ножке" как о теории научных исследований, необходимо прежде всего уточнить круг тех исследований, которые она будет рассматривать, что можно сделать различными способами, например, как это делается в настоящей работе, выбором общей схемы научного исследования.

Из всевозможных схем здесь выбрана весьма распространенная в естественно-научных исследованиях (рис. I).

Представление исследования в виде подобной схемы позволяет провести математическое изучение общих свойств воздействий на объект, самого объекта и измерительного прибора, независимо от конкретного вида. Некоторые предварительные результаты в этом направлении ранее были получены автором.

Схема рис. I при символической записи распадается на систему уравнений:

1.
$$wA \rightarrow v\tilde{A},$$

что означает: "w - воздействие на A-объект исследования дает V - ответ объекта и измененный \tilde{A} - объект";

2.
$$vH \rightarrow h$$

"воздействие V - ответа на исследовательский H - прибор дает непосредственный результат - h";

3.
$$hB \rightarrow z$$

"воздействие h - результата на B-вычислитель дает окончательный результат исследований z";

4.
$$L_y = (L_w ; L_H ; L_B)$$

"Алгоритм исследования L_y состоит из алгоритма управления источниками воздействий L_w , алгоритма управления исследовательским прибором L_H и алгоритма управления вычислителем L_B ".

Под алгоритмом исследования будем понимать совокупность некоторых высказываний, выполнение которых ведет к достижению цели исследования. Иногда будем

говорить о звеньях алгоритма исследования, подразумевая одно или несколько элементарных высказываний, под которыми условимся понимать такие высказывания, деление которых нецелесообразно в рамках задачи, решаемой исследователем.

Примеры высказываний:

1. "Включен данный прибор";
2. "Полоса поглощения элементарна";
3. "Справедлива проверяемая формула" и т.п.

Весьма важен вопрос о реализации L_2 . Мы будем различать два вида реализации L_2 : теоретическую реализацию - это совокупность символически записанных высказываний, описывающих процесс исследования, и практическую реализацию - совокупность операций (механических, электрических и др.), входящих в процесс исследования. Алгоритм исследования назовем реализуемым, если для совокупности высказываний теоретически реализованного алгоритма, существует практически реализуемая совокупность соответствующих операций. Таким образом автоматизация эксперимента означает отыскание реализуемого алгоритма исследования и построение соответствующей схемы.

По характеру зависимости алгоритма исследований от результатов его отдельных звеньев можно различать следующие два типа:

1. Жесткий алгоритм - это последовательность указаний, в которой каждое звено не зависит от результата выполнения других звеньев, в том числе и рассматриваемого. В противоположном случае, когда эта зависимость имеется, будем говорить о гибком алгоритме. Связь между управляющим звеном и управляемым, показанная на рис.1, символически можно записать:

$$L_2 = (\underbrace{L_M ; L_A ; L_P}) .$$

Это значит, что алгоритм управления прибором и воздействиями зависит от обработки данных исследования.

Одна из основных задач синтеза НИКУ заключается в реализации этой обратной связи автоматическими устройствами, что позволит передать управление экспериментом электронной машине, которая в такой системе будет представлять собой устройство, состоящее из вычислительной машины / 7 /, работающей по алгоритму обработки результатов и управляющей машины / 8 /, работающей на основе алгоритмов управления воздействиями и прибора.

Обратная связь в гибком алгоритме ведет к тому, что работа его звеньев может изменяться во времени - это основное отличие гибкого алгоритма от жесткого обуславливает различие применяемых в НИКУ управляющих машин. Управляющая машина, работающая на основе жесткого алгоритма, звенья которого не меняются во времени, может быть синтезирована из обычных логических элементов типа ИЛИ, И,НЕ, в то время как для синтеза управляющей машины с гибким алгоритмом их недостаточно, нужны элементы, работа которых зависит от времени,

т.е. если в первом случае сигнал на выходе логического элемента зависит только от комбинации входных сигналов, то во втором случае он зависит и от внутреннего состояния элементов в данный момент времени.

II. О МОДЕЛЯХ ЛОГИКИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Как было выяснено выше, для синтеза НИКУ с гибким алгоритмом необходима логика, позволяющая описывать изменяющийся во времени процесс. Рассмотрим элементарную математическую постановку проблемы.

Пусть \mathcal{P} - класс высказываний P_i , с которыми имеет дело исследователь, описывая управление экспериментом и обработку его результатов. Каждое из этих высказываний характеризуется "достоверностью" - D_i , которая указывает на степень совпадения высказывания в каждый момент времени с его опытной проверкой. Пусть, далее, \mathcal{R} - класс отношений R_j между этими высказываниями, тогда алгоритм исследования можно записать:

$$L_j = (P_j) R_j \quad \text{где: } P_j = \{P_k\} \subseteq \mathcal{P}, R_j = \{R_l\} \subseteq \mathcal{R}$$

некоторые совокупности, зависящие от конкретных исследований. Относительно времени этот алгоритм может быть четырех типов:

$$1. \quad P_j \neq P(t) \quad R_j \neq R(t),$$

т.е. высказывания и отношения между ними в процессе исследования не изменяются во времени. Этот случай в несколько менее общей формулировке рассматривает современная символическая логика [9, 10].

$$2. \quad P_j = P(t) \quad R_j = R(t).$$

Этот диаметрально противоположный случай в настоящее время исследован весьма неполно [9, 11, 12].

$$3. \quad P_j = P(t) \quad R_j \neq R(t)$$

$$4. \quad P_j \neq P(t) \quad R_j = R(t).$$

Эти промежуточные случаи соответствуют двум другим видам алгоритма исследований.

Легко видеть, что наиболее общим из этих типов алгоритмов будет второй. Он включает в себя такие высказывания как, например:

"Прибор А должен быть включен только в момент исчезновения сигнала X, если не произошло второго поступления сигнала Y".

Здесь термины "в момент исчезновения", "произошло", "второе поступление" - одноместные логические отношения, связанные с описанием изменяющихся процессов. Обычная логика

"дизъюнкции", "конъюнкции" и "отрицания" не позволяет анализировать подобные высказывания.

Какая из моделей существующих логик наиболее пригодна для рассмотрения алгоритмов второго типа? Ответ на этот вопрос в настоящее время может быть, естественно, лишь весьма ориентировочным, ибо опыт логического анализа научных исследований пока что незначителен, несмотря на то, что эта проблема является ключевой при решении задачи комплексной автоматизации научных исследований.

Возможно, что в специальных случаях, потребуется сохранение непрерывности значений истинности D . Тогда для логической обработки алгоритмов исследования будет необходима непрерывно-значная логика, о свойствах которой в настоящее время можно лишь догадываться. Случай непрерывно-значной логики представляет несомненный интерес, ибо в качестве вычислительного аппарата для него, по-видимому, подойдет математический анализ, который разработан, несомненно, более полно, чем дискретный аппарат. Для технической реализации непрерывно-значной логики, по-видимому, потребуются непрерывно-значные логические машины типа аналоговых.

Однако в ряде случаев представляется наиболее целесообразным для построения алгоритмов управления применять трехзначную логику, ибо, так как исследование является изменяющимся процессом, а сутью всякого изменяющегося процесса является наличие каких-либо свойств, отсутствие их, либо переход от одних свойств к другим, то разумно при описании изменяющихся процессов использовать три значения истинности: одно значение α связано с наличием свойства, другое γ - с отсутствием, третье β - с переходом от наличия к отсутствию, либо наоборот. При этом трехзначная логика должна включать в себя логические отношения типа: "в момент", "появление", "задержано", "наступило" и т.п., а также основное свойство реальных процессов, заключающееся в том, что приход к α , либо к γ всегда следует через β , т.е. всякое становление "наличия", либо "отсутствия" всегда идет через стадию "перехода" (принцип непрерывности).

В Латвийском университете рассмотрены некоторые свойства подобной 3-значной логики. Оказалось, что такие логики вполне могут служить удобным языком для написания и минимизации алгоритмов физических исследований.

Хотелось бы отметить, что при решении вопроса о кибернетизации научного исследования нужно идти по пути создания такой логики, которая максимально соответствовала решаемой проблеме как с точки зрения дешевизны создаваемых устройств и их быстродействия, так и с точки зрения максимальной простоты языка управления этими устройствами. Возможно, что в отдельных случаях будет выгодна двухзначная логика, в других - 3-х значная или непрерывно-значная - все зависит от возможностей той или иной логики и спецификации конкретной проблемы.

III. ПРОБЛЕМА ДОСТОВЕРНОСТИ

Для развития логики алгоритмов исследования, кроме непосредственной разработки ее математического аппарата, необходимо решение ряда других, более или менее связанных с ней задач. Одна из основных при этом - задача о "достоверности". Достоверность была определена как степень совпадения высказывания с его опытной проверкой. Требование количественной определенности приводит к ряду трудностей, основная из которых - практическое определение D . Для преодоления этой трудности можно предложить несколько более или менее удовлетворительных решений. Одно из них заключается в том, что высказывание приводится к такому виду, который позволяет вести опытную проверку его достоверности физическими или другими методами измерений. Такой подход приемлем для установления достоверности теоретических моделей, описывающих исследуемый объект. Чтобы установить, например, степень достоверности высказывания: "Модель M_I описывает данный объект исследования", необходимо привести это высказывание к ряду более конкретных типа: "Поведение объекта при воздействии w_1 и w_2 описывается функциональными зависимостями Φ_1 и Φ_2 ". Эти высказывания должны быть непосредственным следствием модели M_I , каждое из них обладает тем или иным весом, в зависимости от степени его связи с сущностью модели. В дальнейшем эти высказывания нужно по возможности довести до высказываний о зависимостях между некоторыми параметрами, которые можно измерять опытным путем, после чего достоверность можно найти подсчетом степени совпадения измеренных значений с предсказанными для данной модели. Общая достоверность модели определится из полученной совокупности с учетом веса каждого члена этой совокупности. Подобный подход позволит при оценке модели пользоваться не сомнительной интуицией, а количественной характеристикой.

Таковы общие соображения по поводу проблемы определения достоверности. Естественно, что для конкретного решения той или иной исследовательской задачи этих общих соображений далеко недостаточно. Необходимо разработать конкретную методику решения этой проблемы, приемлемую в разнообразных ситуациях. Эта методика должна опираться на математический аппарат, который позволит нормализовать процесс определения "достоверности" и веса.

IV. ПРОБЛЕМА ОПТИМИЗАЦИИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Как может выглядеть исследование с помощью НИКУ? Один из вариантов подобного исследования излагается ниже. Прежде всего заметим, что НИКУ должны разрабатываться таким образом, чтобы охватить по возможности больше сторон того класса объектов, которые предполагается

исследовать с помощью НИКУ, иными словами говоря, НИКУ должны быть комплексными устройствами, т.к. наиболее перспективной представляется кибернетизация именно комплексных проблем. Это требование приводит к тому, что НИКУ должны обеспечивать исследование нескольких параметров, комплексно характеризующих объект.

Если исследования будет вестись по жесткому алгоритму, то в память НИКУ должна быть введена программа исследования интересующих нас параметров, т.е. программа управления воздействиями и прибором, не зависящая от результатов исследования

В том случае, когда исследование будет идти по гибкому алгоритму, задача программирования существенно усложнится. Поведение НИКУ в этом случае должно моделировать поведение экспериментатора, решающего подобную задачу. Схематично путь исследования, по которому идет экспериментатор, можно изобразить в виде векторной сетки, изображенной на рис.2. Расшифровывается рисунок следующим образом. Исследователь, исходя из соображений "А" (результаты предыдущих исследований, теоретические соображения и т.п.), выбирает одно из воздействий W_2 на объект исследования, это воздействие приводит к ответу V_4 , анализируя ответ объекта, экспериментатор либо заканчивает исследование (путь 4), либо продолжает его (путь 2), либо переходит к другому воздействию (путь 1), кроме того, в любом случае, если это позволяет результат, исследователь может вычислить один из интересующих его параметров (X_2). Характерно, что этот параметр иногда можно определить, используя результаты совершенно различных воздействий.

Можно показать, что экспериментатор, выбирающий наиболее короткий путь исследования для получения необходимых параметров, решает типичную задачу об оптимизации процесса, но на более высоком уровне, чем это делается сейчас при оптимизации технических процессов.

В качестве оптимума в научном исследовании могут быть выбраны несколько критериев, например: минимум затрачиваемого времени на получение результатов, минимум стоимости исследования, максимум простоты экспериментальной установки, максимум достоверности получаемых результатов и др. Обычно пытаются повести исследование по такому пути, чтобы по возможности удовлетворить всем этим критериям.

Из вышеизложенного видно, что для обеспечения работы НИКУ по гибкому алгоритму исследования, необходимо развитие математической теории оптимальных процессов /14/ применительно к проблеме исследования. Некоторые результаты в этом направлении уже получены рядом авторов /6,13/.

У. ТРЕБОВАНИЯ К КИБЕРНЕТИЗИРУЕМОЙ ПРОБЛЕМЕ И ЗАДАЧИ НОИКИ

В заключение рассмотрим требования, которым должна удовлетворять научная проблема, чтобы ее решение было возможным и целесообразным с помощью НИКУ и перечислим основные задачи, стоящие перед "ножкой".

Наиболее важные требования к научной проблеме по мнению автора состоят в следующем:

1. Проблема должна быть актуальной и массовой.

2. Процесс исследования должен поддаваться реализуемой практически алгоритмизации. Должна быть возможность автоматизации управления источников воздействий и приборов, необходимых для решаемой проблемы.

3. Должны существовать критерий оптимальности исследования и методы автоматического определения "достоверности" в рамках данной проблемы.

Что касается проблем, стоящих перед "ножкой", то среди наиболее важных нужно отметить следующие:

1. Математическое описание процессов исследования.

2. Создание на базе этого описания кибернетических устройств, моделирующих поведение исследователя.

Первая проблема в свою очередь распадается на задачу построения логики исследований, с целью нахождения алгоритмов исследования и синтеза НИКУ, и на задачу оптимизации процесса исследования.

Самостоятельный интерес представляет построение теории проверки и синтеза моделей, описывающих исследуемый объект.

Среди других задач важных для "ножки" можно отметить:

1. Создание общей теории воздействий, нахождение общих закономерностей использования воздействия в исследованиях, которым они подчиняются независимо от конкретного вида, с целью использования этой теории при машинном поиске пути исследования.

2. Разработка кибернетических устройств управляющих воздействиями по заранее заданным программам.

3. Исследование взаимодействия "человек-машина".

4. Развитие общей теории систематизации и автоматической обработки научных данных.

5. Развитие общей методологии, с целью использования методов исследований разработанных в одних отраслях другими отраслями науки.

6. Разработка общего языка научного исследования для максимального упрощения общения специалистов разнообразных отраслей науки и облегчения математизации исследуемых проблем.

Заканчивая работу, хочется выразить искреннюю благодарность руководителю Проблемной лаборатории физики полупроводников Латвийского Госуниверситета И.К.Витолу и доценту математической кафедры Латвийского Госуниверситета В.К. Детлову за интерес к работе и ценные критические замечания.

Л и т е р а т у р а

1. Применение кибернетики в электроизмерительной технике. М., 1963.
2. Roth I., Trans. Soc. Instr. Technol., 1962, v.14, v.14, № 2, p. 102-109.
3. Roubinek F., Seidl R., Strelka V., Ceskosl. osov. fyz. A 13, 2, 115-125. 1963.
4. Налимов В., Заводская лаборатория. 1962, 28.
5. Вычислительные системы. Новосибирск, в.8, 1963.
6. Вычислительные системы. Новосибирск, в. II, 1964.
7. Зямин В., Электронные вычислительные машины, М., 1962.
8. Лоскутов В., Управляющие вычислительные машины. М., 1962.
9. Беркли Э., Символическая логика и разумные машины. М., 1961.
10. Черч А., Введение в математическую логику. М., 1960.
11. Базилевский Д. Вопросы теории математических машин. М., т. I, 9-37, 1958.
12. Поспелов Д.А.. Логические методы анализа и синтеза схем. М.Л., 1964.
13. Thompson E., IRE Trans. Engng Management. 1962, v. EM - 9, IX, № 3, p, 116-121.
14. Понтрягин Л. и др. Математическая теория оптимальных процессов. М., 1961.

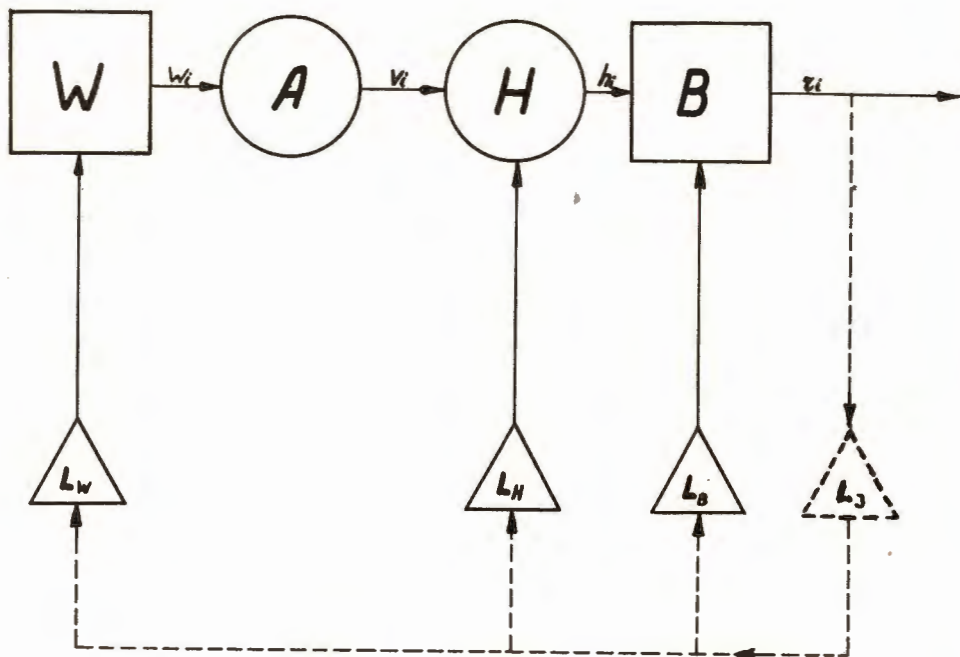


Рис. I

Схема научного исследования

Обозначения:

W - источник воздействий w_i ; A - объект исследования;
H - прибор, регистрирующий ответ объекта, u_i - ответы объекта на воздействия; B - вычислитель, перерабатывающий непосредственные результаты h в окончательный результат z ; L_w , L_H , L_B - алгоритмы работы управляющих устройств, обеспечивающих работу W, H и B; L_z - общий алгоритм исследования.

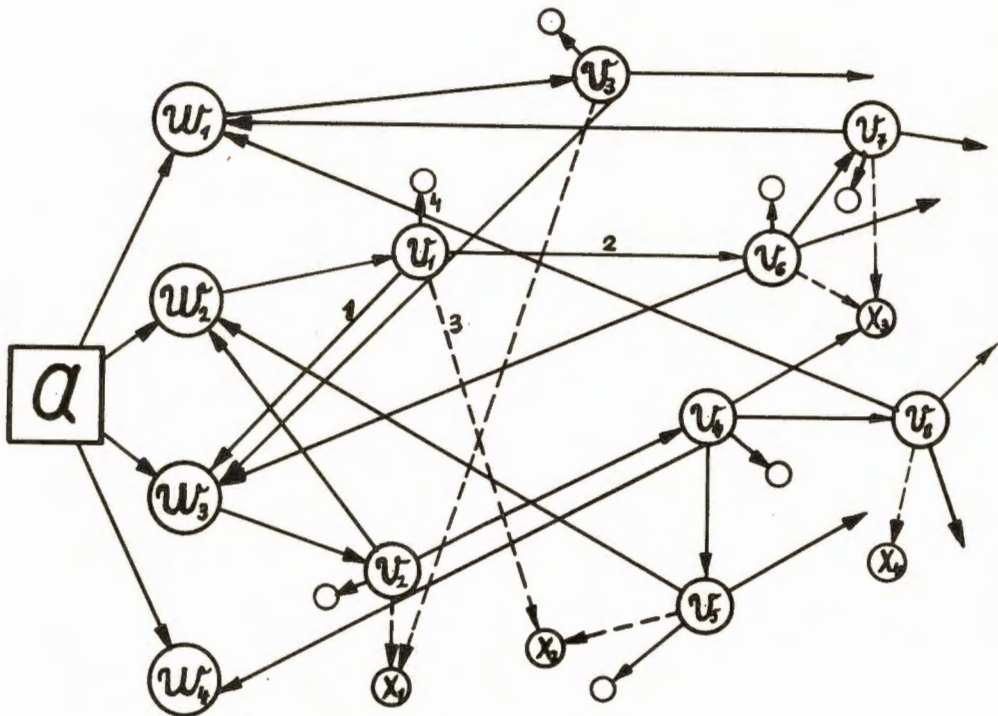


Рис. 2

Схема векторной сетки исследования

Обозначения:

w - воздействия; a - начальные сведения об объекте;
 v - ответ объекта на соответствующее воздействие; x - параметр, подлежащий определению в процессе исследования; стрелки указывают направленность элементарных процессов исследования.

МЕТОД НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ ПЕРЕМЕННОГО ВЕСА

СССР

А.М. Зейдлиц, И.А. Колтунов,
В.А. Яминский

В докладе сообщается о разработке, обосновании и экспериментальной проверке способа проведения кривых по опытным точкам методом наименьших квадратов с весами точек, зависящими от их отклонений.

Метод применим и в тех случаях, когда метод наименьших квадратов в его классическом виде дает ошибочный результат, например, при несимметричном законе распределения отклонений.

Применение метода для обработки треков исключает применение программы "выброса" точек и сокращает машинное время.

В задачах ядерной физики часто возникает вопрос о проведении кривой заданного вида по совокупности экспериментальных точек. В качестве наглядного примера можно привести задачу восстановления пространственного расположения трека по двум его стереоснимкам в том случае, когда отдельные точки, измеренные на кадрах, не являются соответствующими. В этом случае проекции сложной пространственной винтовой линии интерпретируются кривой второго порядка (чаще всего - параболой).

Проведение кривой по заданным точкам осуществляется по методу наименьших квадратов (МНК) так, чтобы сумма квадратов отклонений отдельных точек от проведенной кривой была минимальной.

В случае, если закон распределения отклонений мало отличается от нормального, то МНК дает хорошие результаты.

На практике же отличие закона распределения отклонений от нормального зачастую бывает весьма значительным.

Объясняется это тем, что кроме ошибки, вносимой многократным рассеиванием ядерной частицы в веществе и статистикой роста пузырьков (если в качестве детектора используется пузырьковая камера), существует еще ошибки измерения особого рода, в целом подчиняющиеся законам статистики, но частота появления которых настолько низка, что при измерении одного трека не удастся набрать достаточного количества точек для уверенного определения закона распределения их отклонений, и, следовательно, для уверенного проведения кривой.

Примером таких ошибок особого рода могут служить резкие отклонения в движении автоматической измерительной системы, вызванные затемнениями на фотоснимке или пересечениями треков.

При общем количестве точек, снимаемых на трек, 15-25 шт., количество точек с аномальными отклонениями составляет обычно 1-2, редко до 4-5.

Очевидно, что общая картина распределения отклонений в этом случае получается несимметричной, и кривая, проведенная по МНК, будет ошибочной.

Поэтому предварительно, перед проведением кривой по МНК, осуществляется (при расчете на электронно-счетных машинах) программа "выброса" точек с аномальными отклонениями.

Программы эти многочисленны и разнообразны, однако ни одна из до сих пор разработанных программ не гарантирует того, что вместо аномальной точки не будет выброшена регулярная. Кроме того, простой "выброс" точек приводит к снижению общего их количества, и, следовательно, к ухудшению точности общего результата по сравнению с теоретически возможным.

Поэтому естественно возник вопрос о создании некоторого математического метода, приемлемого и в этом случае.

Целесообразно рассматривать программу "выброса" точек совместно с МНК как расширение МНК путем введения дискретных весов отдельных точек - "0" для выброшенной и "1" для оставленной. Критерием для выбора веса является отклонение точки от расчетной кривой.

Естественно выбрать для величины веса не дискретную, а непрерывную зависимость от отклонения. Это соображение и было положено в основу метода наименьших квадратов переменного веса (МНКПВ).

Рассмотрим для простоты одномерный случай. Пусть X_i ($i=1,2,3,\dots$) есть опытные данные, подчиняющиеся закону распределения N : $X_i \in N(\bar{a}, \sigma)$: где \bar{a} - параметр нормального закона, σ - дисперсия. Требуется найти \bar{a} .

При МНК в качестве оценки для \bar{a} рассматривается величина a^* :

$$a^* = \frac{\sum_{i=1}^n p_i X_i}{\sum_{i=1}^n p_i}; \quad (1)$$

где p_i - вес соответствующего измерения.

Зададим p_i , как функцию отклонения, следующим образом:

$$p_i = e^{-\frac{b}{2}(X_i - \bar{a})^2}; \quad b = \text{const.} \quad (2)$$

Такой вид зависимости выбран, во-первых, из-за характера, который следует ей придать (с увеличением отклонения вес должен уменьшаться), и, во-вторых, по аналогии с формой нормального закона распределения.

При таком определении веса оценкой a^* величины \bar{a} может являться корень уравнения:

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n X_i e^{-\frac{b}{2}(X_i - a)^2}}{\sum_{i=1}^n e^{-\frac{b}{2}(X_i - a)^2}}. \quad (3)$$

Можно доказать, что, во-первых, при достаточно малых $\frac{\delta^k}{2}$ это трансцендентное уравнение имеет один, и притом единственный корень, и, во-вторых, что:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P \left[\frac{\sum_{i=1}^n e^{-\frac{\delta^k}{2}(x_i - a)^2} \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n e^{-\frac{\delta^k}{2}(x_i - a)^2}} - \bar{a} \right] \leq \varepsilon = 1 ; \quad (4)$$

где $P[A]$ - вероятность события A , а величина $\varepsilon > 0$ произвольна.

Доказательство производится путем использования закона больших чисел, оно достаточно громоздко и существенного интереса не представляет.

Была произведена оценка точности метода.

Если положить:

$$\frac{\delta^k}{2} \leq \frac{1}{\max_{i,k} (x_i - x_k)^2} ; \quad (i, k = 1, 2, 3, \dots, n), \quad (5)$$

то:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P \left[|a^* - \bar{a}| \leq \frac{\varepsilon}{1 - \frac{\delta^k}{2} \max_{i,k} (x_i - x_k)^2} \right] = 1 . \quad (6)$$

Отметим, что доказательство последнего равенства (6) одновременно является доказательством единственности корня уравнения (3).

Справедливости ради следует также сказать, что произведенная оценка точности решения и величины $\frac{\delta^k}{2}$ являются заниженными.

Решение уравнения (3) может быть получено методом простых итераций

$$a^* = \lim_{k \rightarrow \infty} a_k, \quad (7)$$

где a_k определяется из соотношения:

$$\sum_{i=1}^n e^{-\frac{\delta^k}{2}(x_i - a_{k-1})^2} (x_i - a_k)^2 = \min_a \sum_{i=1}^n e^{-\frac{\delta^k}{2}(x_i - a_{k-1})^2} (x_i - a)^2, \quad (8)$$

т.е. веса берутся по предыдущей итерации. Величина a_0 может быть произвольной. В качестве ее обычно берется оценка a^* , взятая по МНК. Последовательность a_k сходится, и притом обязательно к корню уравнения (3).

В неодномерном случае, например, при проведении параболы вида

$$y = a^{(1)} x^2 + a^{(2)} x + a^{(3)} \quad (9)$$

на плоскости по совокупности точек x_i, y_i ($i = 1, 2, \dots, n$) применение метода сводится к следующему:

Обозначим $y_{ik} = a_k^{(1)} x_i^2 + a_k^{(2)} x_i + a_k^{(3)}$;

$$(i = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (k = 1, 2, 3, \dots, n). \quad (10)$$

Тогда $a_c^{(1)}$, $a_c^{(2)}$, $a_c^{(3)}$ определяется так:

$$\sum_{i=1}^n e^{-\frac{\delta^2}{2}(y_i - y_{i-1})^2} (y_i - y_{i-1})^2 = \min_{a_c^{(1)}, a_c^{(2)}, a_c^{(3)}} \sum_{i=1}^n e^{-\frac{\delta^2}{2}(y_i - a_c^{(1)}x_i^2 - a_c^{(2)}x_i - a_c^{(3)})^2} \quad (11)$$

$a_c^{(1)}$, $a_c^{(2)}$, $a_c^{(3)}$ находятся по МНК.

При этом на каждом шаге считается среднеквадратичное отклонение:

$$\bar{z} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y_{i-1})^2}{n}} \quad (12)$$

и сравнивается с \bar{z}_{k-1} .

Как только

$$|\bar{z}_k - \bar{z}_{k-1}| \leq \delta \quad (13)$$

(δ определяется точностью вычислительной машины), итерации оканчиваются, и принимается

$$a_c^{(1)*} = a_c^{(1)}; \quad a_c^{(2)*} = a_c^{(2)}; \quad a_c^{(3)*} = a_c^{(3)}. \quad (14)$$

Экспериментальная проверка МНКП была проделана на счетной машине "Днепр". Вычисления велись в режиме плавающей запятой. Обработывались измерения, полученные с помощью автомата, разработанного Физико-Техническим Институтом АН УССР.

Ниже приводятся таблицы некоторых измерений и расчетов.

В таблице I указаны оценки для \bar{a} , полученные как МНК (расчет 1), так и МНКПВ (расчет 2). В обоих случаях anomalно измеренная точка I7 не участвовала.

Как видно из приведенных значений a_c^* , разница в результатах, полученных по МНК и МНКПВ, совершенно незначительна. Это справедливо только лишь для точек, распределение которых подчиняется нормальному закону.

Расчет 4, проведенный по МНК, включает точку I7, и результаты сильно отличаются от первых двух случаев, что определяется резкой несимметрией закона распределения отклонений, вызванной anomalной I7-й точкой.

Расчет 5 проведен также с учетом I7-й точки, но по МНКПВ. Результат получился много лучше. Величина ошибки при итерациях избрана $\delta = 0,0005$ мм. Значение $\frac{\delta^2}{2}$ вычислено по формуле (5).

Расчет 6 отличается только тем, что величина $\frac{\delta^2}{2}$ выбрана в 8 раз больше, чем по оценке формулы 5. Результат практически совпадает с расчетами 1 и 2.

Другие корни уравнение (1) приобретало только при значениях $\frac{\delta^2}{2}$ в 30-60 раз по сравнению с оценкой (5). Эти факты подтверждают скромность оценок (5) и (6). Многократной проверкой для величины $\frac{\delta^2}{2}$ избрано значение:

$$\frac{\delta^2}{2} = \frac{\delta}{\max_{i,k} (x_i - x_k)^2}; \quad (15)$$

причем $x_i - x_k$ (максимальный разброс точек) есть величина постоянная для автоматического измерительного прибора данного типа и данной серии треков. При этой величине $\frac{\delta^2}{2}$ точка практически исключается из расчетов. В этом примере преимущество МНКПВ перед МНК (совместно с программой выброса точек) не очевидно.

Более убедителен пример, приведенный в таблице 2. X и Y в этой таблице это координаты отдельных точек трека высокоэнергетического протона. В измерении имеется одна anomalная точка I7. В этой точке пересечение с другим треком вызвало толчок в следящей системе автомата.

Расчет I проведен по МНК. По данным расчета I значительными отклонениями обладают кроме точки I7, еще I9 и 20. Программа выброса точек исключит их и вторичный расчет (столбец 2) даст иные значения параметров параболы.

Истинными являются значения расчета 4, в котором исключена лишь anomalная точка I7. Как видно, оба расчета и I, и 2, резко отличаются от расчетов столбца 4.

Применение МНКПВ (столбец 3) дает значения параметров, мало отличающиеся от тех, которые вычислены с отброшенной I7 точкой.

Таким образом, МНКПВ исключает ошибки вычисления, связанные с отбрасыванием полезных точек. Одновременно даже "отброшенные" точки продолжают частично участвовать в вычислениях, повышая его точность.

При экспериментальных расчетах по МНКПВ количество итераций обычно находилось в пределах 2-3, очень редко повышаясь до 5.

Программа выброса точек связана обычно с 4-5 кратным просчетом по МНК. Машинное время таким образом, на этой операции сокращается в 1,3 + 1,5 раза. Объем программы также оказывается меньше МНК совместно с программой выброса точек.

В заключение приведем оценку необходимой точности измерения треков ядерных частиц, произведенную при отладке программы МНКПВ.

Обычно принятая точность измерений составляет 2,5 мк, что обосновывается, вообще говоря, недостаточно.

Дело в том, что измерения координат отдельных пузырьков показали, что их центры тяжести имеют отклонения от средней траектории частицы, распределенные по закону, близкому к нормальному, с дисперсией $\sigma_x = 8 + 10$ мк (в плоскости фотопленки, при диаметре пузырьков $40 + 70$ мк).

Причина этих отклонений, как уже говорилось, многократное рассеивание частиц в веществе и статистика роста самих пузырьков вокруг центра ионизации.

Измерение вносит дополнительную ошибку σ_x , распределение которой также подчинено нормальному закону.

В результате экспериментатор получает ошибку с дисперсией

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}$$

(16)

Если принять $\sigma_2 = 2,5$ мк, то получаем величину $\sigma = 8,5 \pm 10,5$ мк, а при $\sigma_2 = 5$ мк $\sigma = 9,5 \pm 11$ мк.

Это означает, что при ухудшении точности измерений вдвое - с 2,5 до 5 мк суммарная точность падает лишь на 10%, что требует (для получения прежней точности определения \bar{x}) десятипроцентного увеличения числа измеренных точек.

Последнее не представляет большого труда, и в то же время точность 2,5 мк и 5 мк относят измерительные приборы к совершенно разным классам по сложности выполнения и стоимости.

Именно поэтому во всех дальнейших разработках, связанных с пузырьковыми камерами, допускаемая ошибка измерения снижена вдвое по сравнению с прежними образцами.

Таблица I

№№ пп	X_i (мм)	Расчет №				
		I	2	3	4	5
		$X_i - a^*$	$X_i - a^*$	$X_i - a^*$	$X_i - a^*$	$X_i - a^*$
1.	10,5800	-0,0016	-0,0015	-0,0104	-0,0057	-0,0016
2.	10,5873	0,0056	0,0057	0,0031	0,0015	0,0056
3.	10,5873	0,0056	0,0057	-0,0031	0,0015	0,0056
4.	10,5873	0,0056	-0,0057	-0,0031	0,0015	0,0056
5.	10,5824	0,0007	0,0008	-0,0080	-0,0038	0,0007
6.	10,5800	-0,0016	0,0015	-0,0104	-0,0057	-0,0016
7.	10,5800	-0,0016	-0,0015	-0,0104	-0,0057	-0,0016
8.	10,5775	-0,0040	-0,0040	-0,0129	-0,0081	-0,0040
9.	10,5775	-0,0040	-0,0040	-0,0129	-0,0081	-0,0040
10.	10,5824	0,0007	0,0008	-0,0080	-0,0032	0,0007
11.	10,5775	-0,0040	-0,0040	-0,0129	-0,0081	-0,0040
12.	10,5749	-0,0067	-0,0067	-0,0155	-0,0108	-0,0069
13.	10,5824	0,0007	0,0008	-0,0080	-0,0032	0,0007
14.	10,5775	-0,0040	-0,0040	-0,0129	-0,0081	-0,0040
15.	10,5873	0,0056	0,0057	-0,0031	0,0015	0,0056
16.	10,5849	0,0031	0,0032	-0,0055	-0,0008	0,0031
17.	10,7324	-	-	0,1417	0,1465	0,1506
a^*		10,5817	10,5816	10,5906	10,5858	10,5817

Таблица 2

№№ пп	X_i	Y_i	Расчет №			
			I	2	3	4
			$Y_i - Y_i^*$	$Y_i - Y_i^*$	$Y_i - Y_i^*$	$Y_i - Y_i^*$
1.	8,2050	8,6498	-0,0146	-0,0088	-0,0219	-0,0218
2.	8,4975	8,9623	0,0106	0,0144	0,0093	0,0072
3.	8,8149	9,2800	0,0198	0,0205	0,0190	0,0188
4.	9,1574	9,6000	0,0074	0,0073	0,0106	0,0103
5.	9,5248	9,9250	-0,0200	-0,0219	-0,0148	-0,0150
6.	9,8549	10,2523	-0,0068	-0,0099	-0,0006	-0,0008
7.	10,1874	10,5648	-0,0083	-0,0124	-0,0021	-0,0021
8.	10,5375	10,8874	-0,0137	-0,0187	-0,0084	-0,0083
9.	10,8674	11,1999	0,0076	-0,0131	-0,0041	-0,0038
10.	11,1950	11,5224	0,0127	0,0069	0,0136	0,0143
11.	11,5375	11,8449	0,0221	0,0163	0,0193	0,0203
12.	11,8974	12,1625	0,0135	0,0081	0,0059	0,0073
13.	12,2548	12,4875	0,0174	0,0125	0,0039	0,0058
14.	12,6173	12,8048	0,0120	0,0080	-0,0083	-0,0059
15.	12,9599	13,1249	0,0298	0,0269	0,0017	0,0048
16.	13,3200	13,4423	0,0328	0,0309	-0,0047	-0,0009
17.	13,5548	13,3724	-0,2411	-	-0,2848	-
18.	13,4574	13,4774	-0,0517	-0,0526	-0,0926	-0,0886
19.	13,4450	13,5048	-0,0136	-0,0145	-0,0524	-0,0501
20.	13,6125	13,7599	0,0963	-	-0,0511	0,0555
21.	13,9899	14,0924	0,1044	-	-0,0476	0,0529
		$a^{(1)*}$	-0,001120	-0,001235	-0,007161	-0,0074
		$a^{(2)*}$	1,1688	1,1950	1,0877	1,0924
		$a^{(3)*}$	-0,1713	-0,3147	-0,2291	-0,2074

$$Y_i^* = a^{(1)*} X_i^2 + a^{(2)*} X_i + a^{(3)*} \quad (i=1,2,3,\dots)$$

МАТЕРИАЛЫ СИМПОЗИУМА, НЕ ВОШЕДШИЕ В НАСТОЯЩИЙ СБОРНИК

1. Цифровые методы регистрации и вычислительные машины в экспериментальной физике (обзор), Г.И.Забякин. Работа опубликована (препринты ОИЯИ 1834, 1913, 1914, Дубна, 1964).
2. Оптимизация ядерного измерительного оборудования и управление им с помощью счетной машины, Ж.Нараи, Центральный институт физических исследований, Будапешт. Работа опубликована (препринт ОИЯИ Р-1893, Дубна, 1964).
3. Вопросы вывода экспериментальной информации из многоканальных измерительных систем, В.Н.Замрий. Работа опубликована (препринт ОИЯИ, 1859, Дубна, 1964).
4. Контролируемый вывод экспериментальных данных на перфоленту, В.А.Владимиров, В.Н.Замрий. Работа опубликована (препринт ОИЯИ, 1849, Дубна, 1964).
5. Обзор работ, выполненных в математическом отделе Вычислительного центра ОИЯИ по обработке экспериментальных данных, получаемых в пропановых, пузырьковых камерах и камерах Вильсона, Н.Н.Говорун. Работа опубликована в материалах совещания по математическим методам решения задач ядерной физики. Дубна, 17-20 ноября 1964г. (препринт ОИЯИ, 2005, Дубна, 1965).
6. Связь машины "Минск-2" с установками Лаборатории нейтронной физики и вычислительной машиной, А.Я.Астахов, С.В.Кадикова, З.В.Лысенко, В.А.Наденин, О.К.Нефедьев, В.И.Семашко, ОИЯИ. Доклад не поступил в Оргкомитет.
7. Полуавтоматический микроскоп, И.Кох, Г.Талер, ВНР. Доклад не поступил в Оргкомитет.
8. Цифровая логическая схема для отсчета координат, П.Амбро, В.Д.Инкин, В.Н.Капустина, Н.С.Мороз. Работа опубликована (препринт ОИЯИ, 2056, Дубна, 1965).