

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

10 - 4513



ЛАБОРАТОРИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ
И АВТОМАТИЗАЦИИ

В.Я.Алмазов, Ю.Г.Войтенко, В.В.Ермолаев,
В.Д.Инкин, Ю.А.Каржавин, В.М.Котов,
В.К.Ляпустин, М.Г.Мещеряков, А.Е.Селиванов,
О Хи Ен, И.И.Скрыль, Ю.И.Сусов, В.И.Устинов

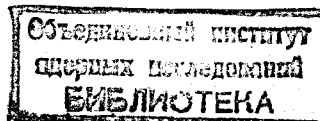
УСТАНОВКА ДЛЯ СКОРОСТНОЙ
АВТОМАТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СНИМКОВ
С ТРЕКОВЫХ КАМЕР НА БАЗЕ МЕХАНИЧЕСКОГО
СКАНИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА ТИПА
"БЕГУЩИЙ ЛУЧ"

1969

10 - 4513

В.Я.Алмазов, Ю.Г.Войтенко, В.В.Ермолаев,
В.Д.Инкин, Ю.А.Каржавин, В.М.Котов,
В.К.Ляпустин, М.Г.Мещеряков, А.Е.Селиванов,
О Хи Ен, И.И.Скрыль, Ю.И.Сусов, В.И.Устинов

УСТАНОВКА ДЛЯ СКОРОСТНОЙ
АВТОМАТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СНИМКОВ
С ТРЕКОВЫХ КАМЕР НА БАЗЕ МЕХАНИЧЕСКОГО
СКАНИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА ТИПА
"БЕГУЩИЙ ЛУЧ"



В в е д е н и е

В ОИЯИ разработана установка, называемая сканирующим автоматом для измерения фотографий с пузырьковых камер (СА). Установка состоит из оптико-механического устройства типа "бегущий луч", которое формирует на измеряемой фотографии с помощью движущегося светового пятна прямоугольный растр, и электронной системы, которая обрабатывает сигналы с фотодатчиков оптико-механического устройства, регистрирует координаты треков, накапливает и передает в ЭВМ данные измерений, обеспечивает автоматическую работу установки под управлением и контролем ЭВМ /1/.

СА работает совместно с ЭВМ CDC-1604A и обеспечивает измерение снимков с пузырьковых камер со скоростью 60-80 событий в час. Обработка данных измерений ведется с помощью специальных программ, обеспечивающих получение результатов в виде, удобном для их дальнейшей обработки по физическим программам.

Целью данной работы является рассмотрение только аппаратурной части этой измерительной системы.

Обработка фотографий с пузырьковых камер

Фотографии с пузырьковых камер представляют собой 3-4 стереокадра, на которых зарегистрированы следы заряженных частиц, прошедших через объем камеры. Траектории движения частиц (треки) являются последовательностью пузырьков, возникающих в результате взаимодействия вещества, заполняющего камеру, с прошедшими через него заряженными частицами.

На рис. 1 представлена типичная фотография с пузырьковой камеры.

Если имело место ядерное взаимодействие, то задача анализа фотографий состоит в определении кинематических параметров частиц, образованных в результате взаимодействия, а также получении характеристик взаимодействия в целом.

Траектории частиц, полученные в результате взаимодействия при больших энергиях, обладают малыми кривизнами, а размеры пузырьков составляют 10-30 мкм (на фотографии). Во многих случаях требуется измерение координат треков с точностью до нескольких микрон и для определения кривизны трека требуется измерение многих точек на треке (10-20 координат).

Фотографии с пузырьковых камер обычно поставляются для последующей обработки в виде рулонов фотопленки длиной до 300-350 м. В зависимости от конструкции камер стереокадры могут быть либо на одном рулоне, либо количество рулонов соответствует числу стереофотографий.

Каждый снимок имеет нумерацию, пригодную для автоматического распознавания номера стереокадра и опорные кресты, которые позволяют осуществить привязку системы координат измерения к реальному объему камеры.

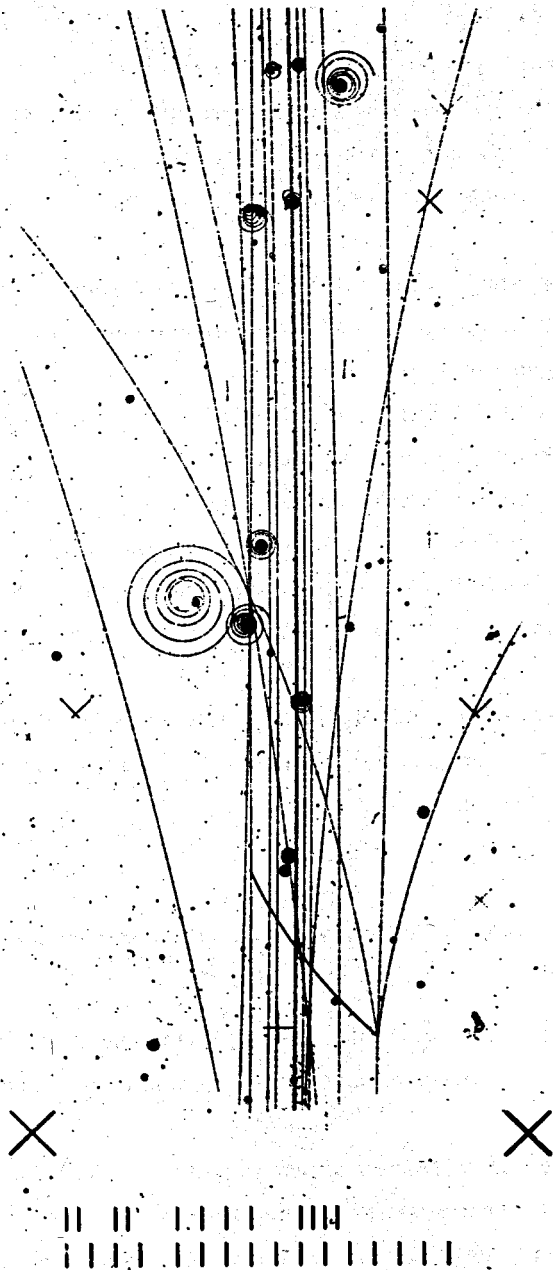


Рис.1. Фотография с водородной пузырьковой камеры.

Первой задачей анализа камерных снимков является опознание и отбор событий. Эта работа выполняется физиками или квалифицированными операторами при помощи специальных просмотровых столов. В дальнейшем на отобранных фотографиях производится измерение траекторий частиц.

Данные измерений вводятся в ЭВМ, и с помощью специальной программы осуществляется геометрическая реконструкция измеренного события в пространстве камеры.

Последующая обработка событий ведется по программам, соответствующим требованиям данного эксперимента.

В настоящее время процесс измерения в ОИЯИ производится с помощью полуавтоматических установок, созданных на базе инструментального микроскопа УИМ-21^{/2/}. Измерение одного события является трудоемким процессом и требует до 20-30 минут работы квалифицированного оператора.

Измерения камерных фотографий с помощью СА полностью автоматизированы и позволяют без затрат ручного труда довести время измерения события до 1 мин.

Система обработки камерных фотографий с использованием СА

Использование СА возможно при двух методах обработки:

- а) полностью автоматический метод опознания и измерения событий;
- б) метод с использованием предварительного просмотра на просмотровых столах и автоматического измерения с помощью СА.

Первый из этих методов находится в стадии предварительной разработки и связан с использованием ЭВМ предельных мощностей.

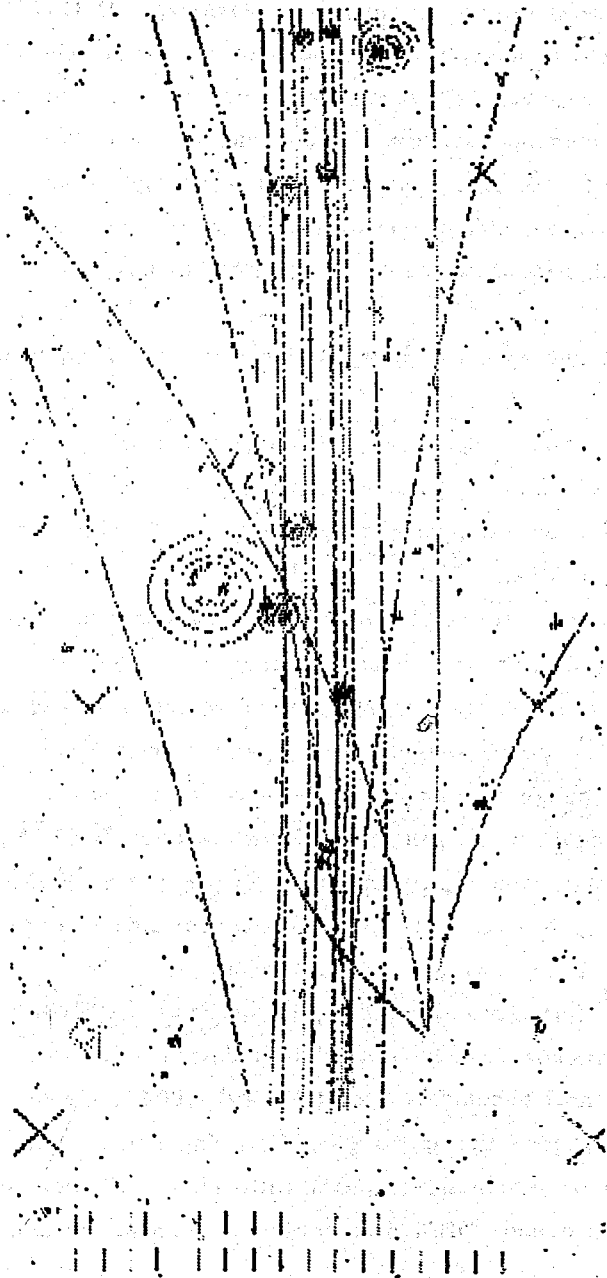


Рис.2. Распечатка просканированного снимка.

Второй метод имеет несколько модификаций. В ОИЯИ в настоящее время используется наиболее разработанный "метод маски".

Суть этого метода состоит в том, что после опознания оператором на снимке события производится измерение не менее 2-х точек на каждом следе этого события, точки взаимодействия, а также маркерных крестов. Эти данные используются в дальнейшем при измерении на СА для определения района на снимке, где должно находиться измеряемое событие.

На рис. 3 приведена структура системы обработки с использованием СА.

Предварительная обработка фотографий ведется на просмотровых столах, оборудованных устройством для измерения координат.

На рис. 4 представлена фотография просмотрового стола БПС, используемого в ОИЯИ /3/.

Просмотровый стол БПС позволяет проецировать до 4 стереокадров на рабочую поверхность стола. Оператор работает по увеличенному изображению снимка, соответствующему реальному размеру камеры (увеличение 15^x). Для измерения координат стол снабжается отсчетной системой. Измерение проводится также по увеличенному изображению. Точность измерения составляет 25-50 мкм (по снимку). Время, необходимое для просмотра одного кадра и измерения координат "маски", составляет \approx 5 мин. Для обеспечения нормальной работы сканирующего автомата требуется 6-8 таких столов.

Данные с просмотровых столов, содержащие приблизительные координаты крестов, треков и необходимую служебную информацию (номер пленки, номер кадра и др.) передаются в ЭВМ CDC-1604А. Отобранные при просмотре фотографии измеряются на СА. Управление работой сканирующего автомата осуществляется ЭВМ CDC-1604А. На основании данных с просмотровых столов ЭВМ выполняет следующие функции:

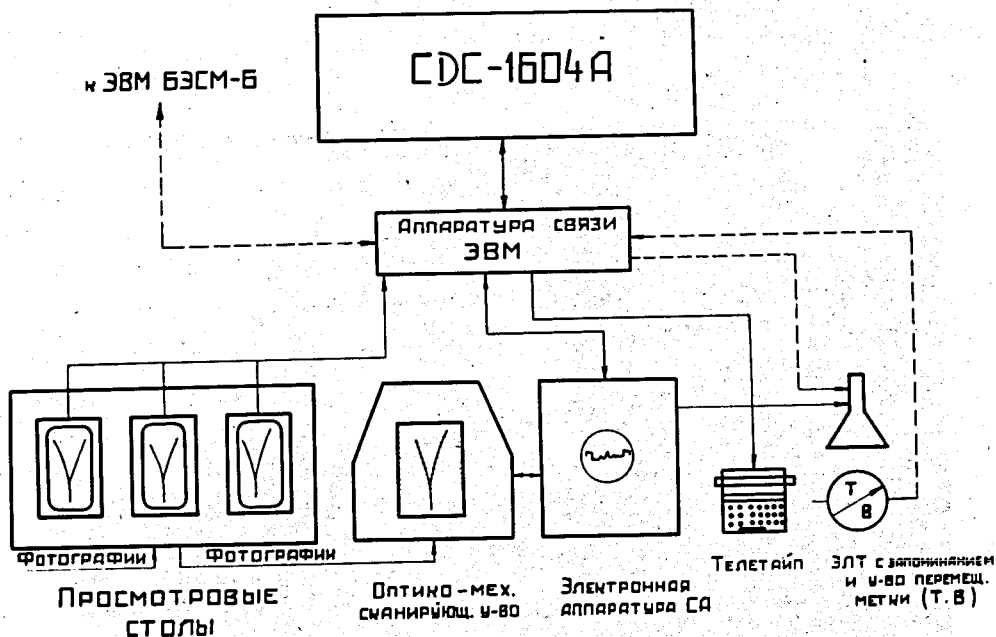


Рис.3. Структура системы обработки камерных фотографий с использованием сканирующего автомата.

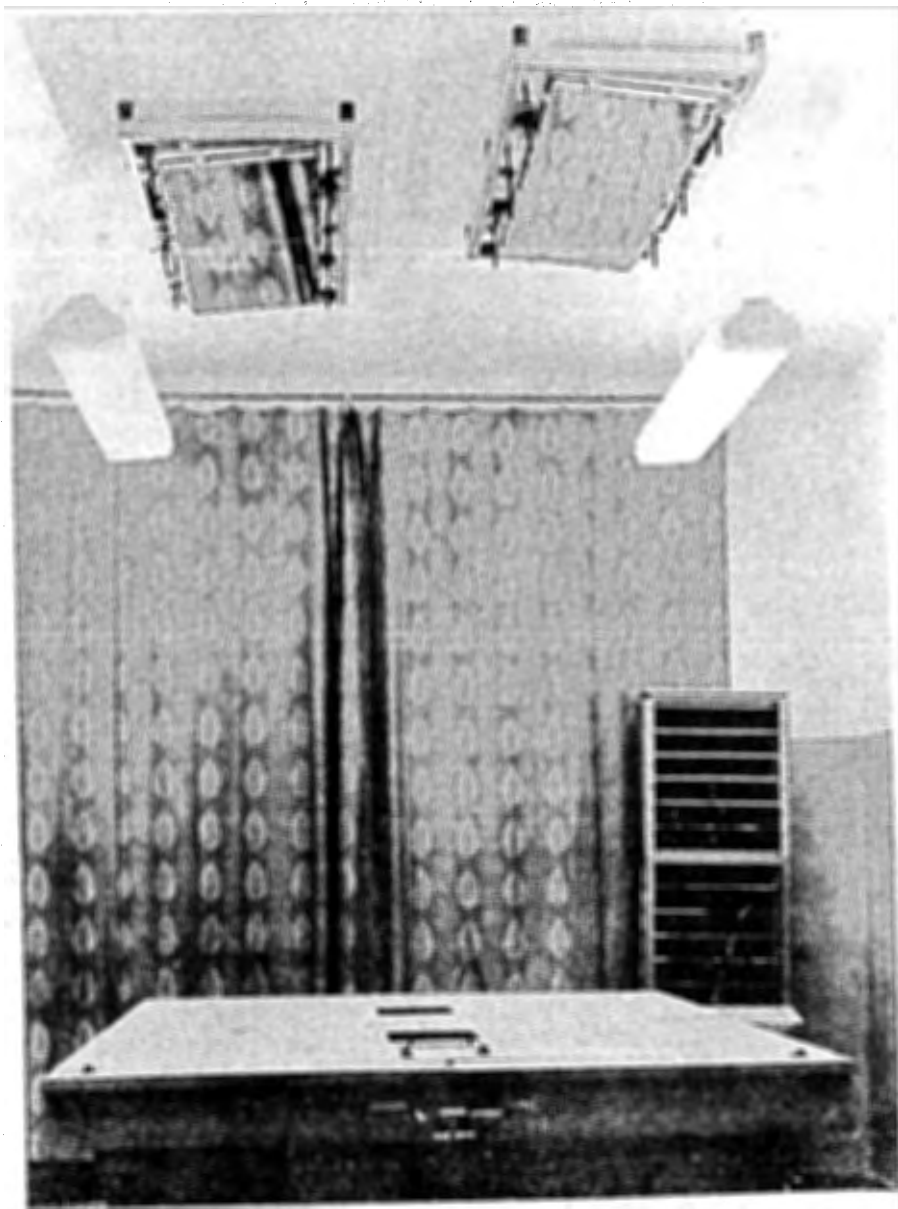


Рис.4. Просмотрово-измерительный стол БПС.

- 1) выдает команды, управляющие исполнительными механизмами СА;
- 2) контролирует правильность их выполнения;
- 3) производит прием и накопление данных измерения;
- 4) осуществляет фильтрацию данных по "маске";
- 5) подготавливает данные к виду, удобному для их последующей обработки.

Аппаратура связи ЭВМ с СА осуществляет согласование уровней, амплитуд и временных характеристик сигналов и вырабатывает управляющие сигналы, обеспечивающие обмен данными между ЭВМ и СА.

В аппаратуре предусмотрена возможность связи СДС с ЭВМ БЭСМ-6, которая будет использоваться для дальнейшей обработки данных измерения.

СА имеет телетайпную связь с ЭВМ, использование которой позволяет оператору, работающему на СА, следить за ходом измерения и обработки и оперативно устранять возникающие в системе неполадки. СА оборудован специальной осциллографической трубкой с запоминанием, на которую выводится в процессе измерения изображение сканируемого снимка. По картине на экране трубки оператор имеет возможность регулировать уровень дискриминации и плотность сканирования и контролировать ход измерения.

Осциллографическая трубка будет связана также с ЭВМ, которая сможет выдавать на экран результаты обработки. Обратная связь оператора с ЭВМ будет обеспечиваться с помощью устройства типа SPEED BALL. Перемещая по экрану трубки с помощью этого устройства метку, оператор может вносить свои коррективы в данные измерений и обработки.

Оптико-механическое сканирующее устройство

Упрощенная схема прибора приведена на рис. 5.

Прибор имеет лентопротяжный механизм, на который устанавливается один рулон с пленкой.

Датчик кадров регистрирует прохождение очередного кадра через зону сканирования; таким образом, имеется возможность осуществить автоматический поиск нужного кадра, если известен его номер.

Кадр, подлежащий обработке, фиксируется на измерительном столе, который гидравлическим приводом может перемещаться в двух взаимно-перпендикулярных направлениях X и W . Эти перемещения регистрируются с помощью датчиков на дифракционных решетках.

Сканирование осуществляется световым пятном диаметром около 8–10 мкм. Перемещение пятна по кадру осуществляется механическим путем при вращении диска со щелями перед источником света. Принцип получения движущегося пятна показан на рис. 6а. Пятно прочерчивает по снимку линии в двух взаимно-перпендикулярных направлениях. В соответствии с X и W перемещениями стола образуются два непрерывных раstra (см. рис. 6б), соответствующие сканированию под углом 0° и сканированию под углом 90° . Положение светового пятна регистрируется с помощью измерительной решетки, на которую нанесены штрихи с шагом 25 мкм.

Подробная схема оптико-механической части прибора приведена на рис. 7 ^{х)}, фотография общего вида – на рис. 8.

Оптико-механическая часть включает в себя сканирующий диск, источник света, оптическую систему, измерительный стол, гидравлический привод кареток стола, систему транспортировки фильма.

х) Оптико-механическая часть сканирующего устройства изготовлена на фирме "Соженик" в Англии.

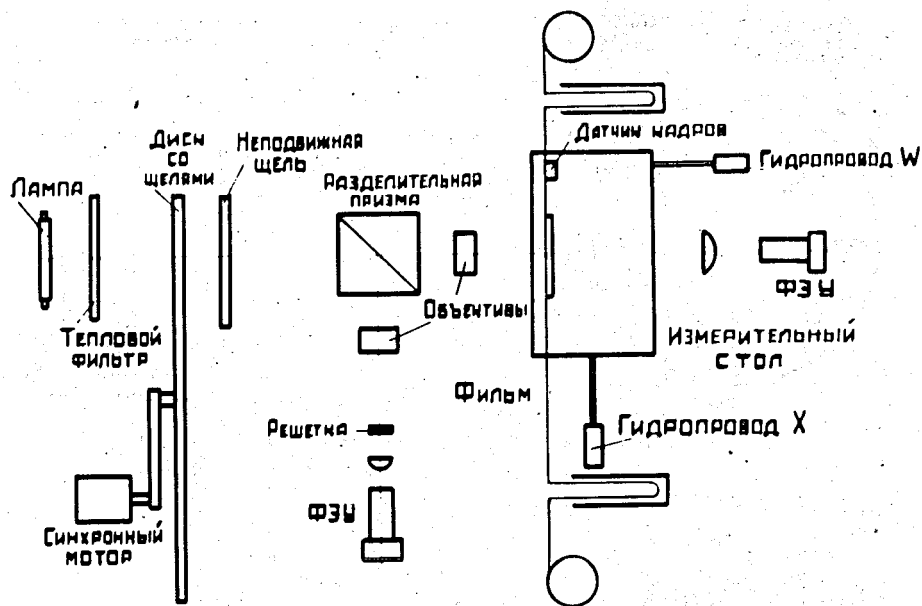


Рис.5. Упрощенная схема сканирующего устройства.

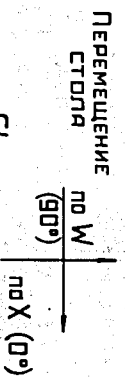
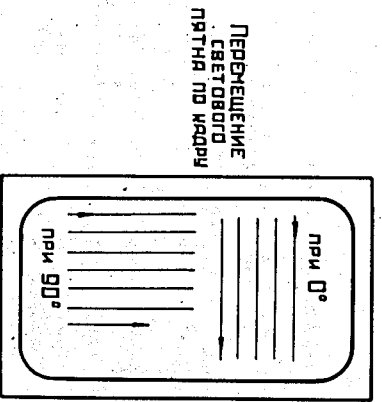
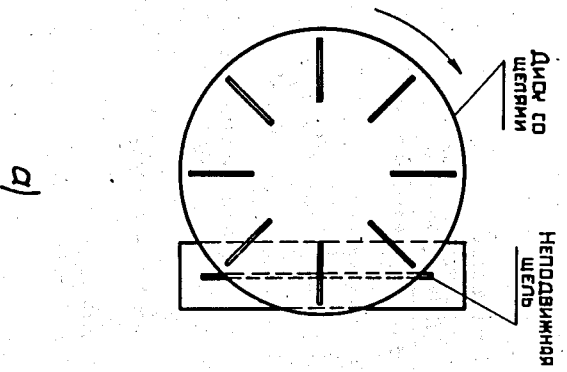


Рис.6. Принцип получения в СА: а) движущегося пятна, б) раstra при 0 и 90° .

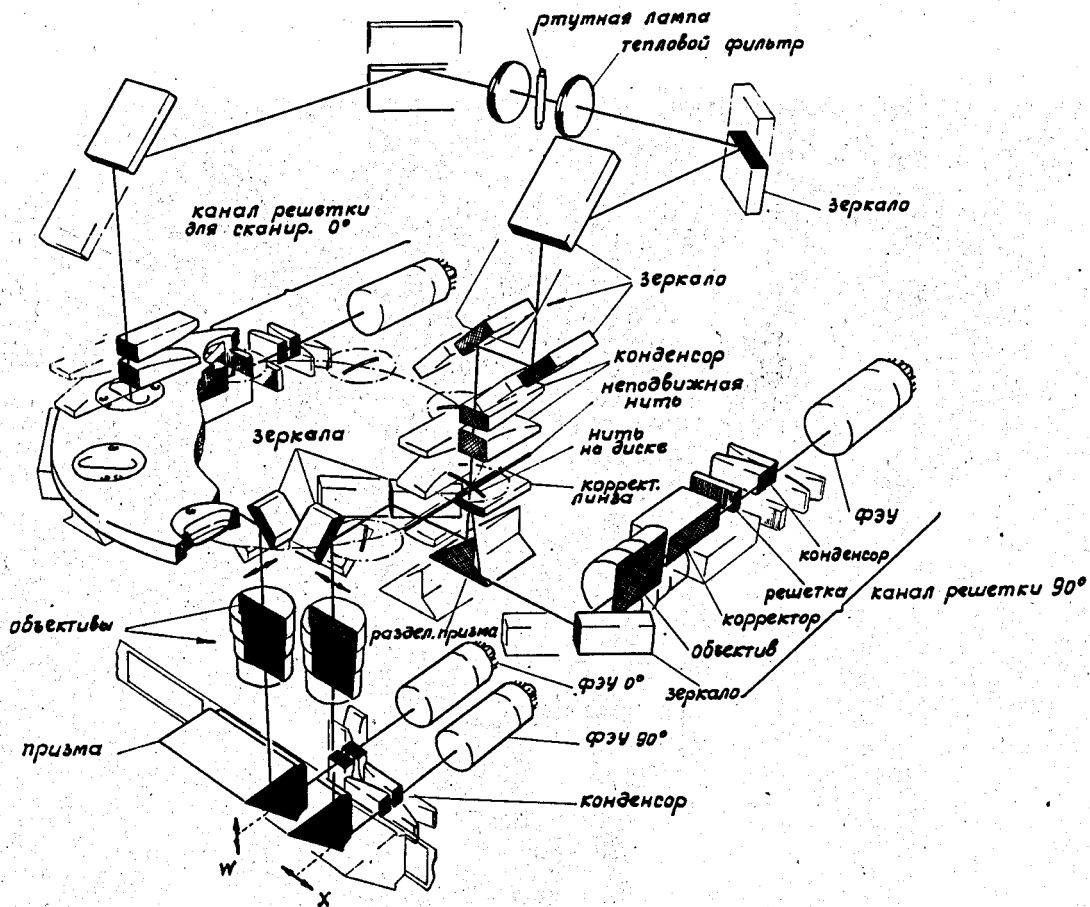


Рис.7. Схема оптико-механической части СА.

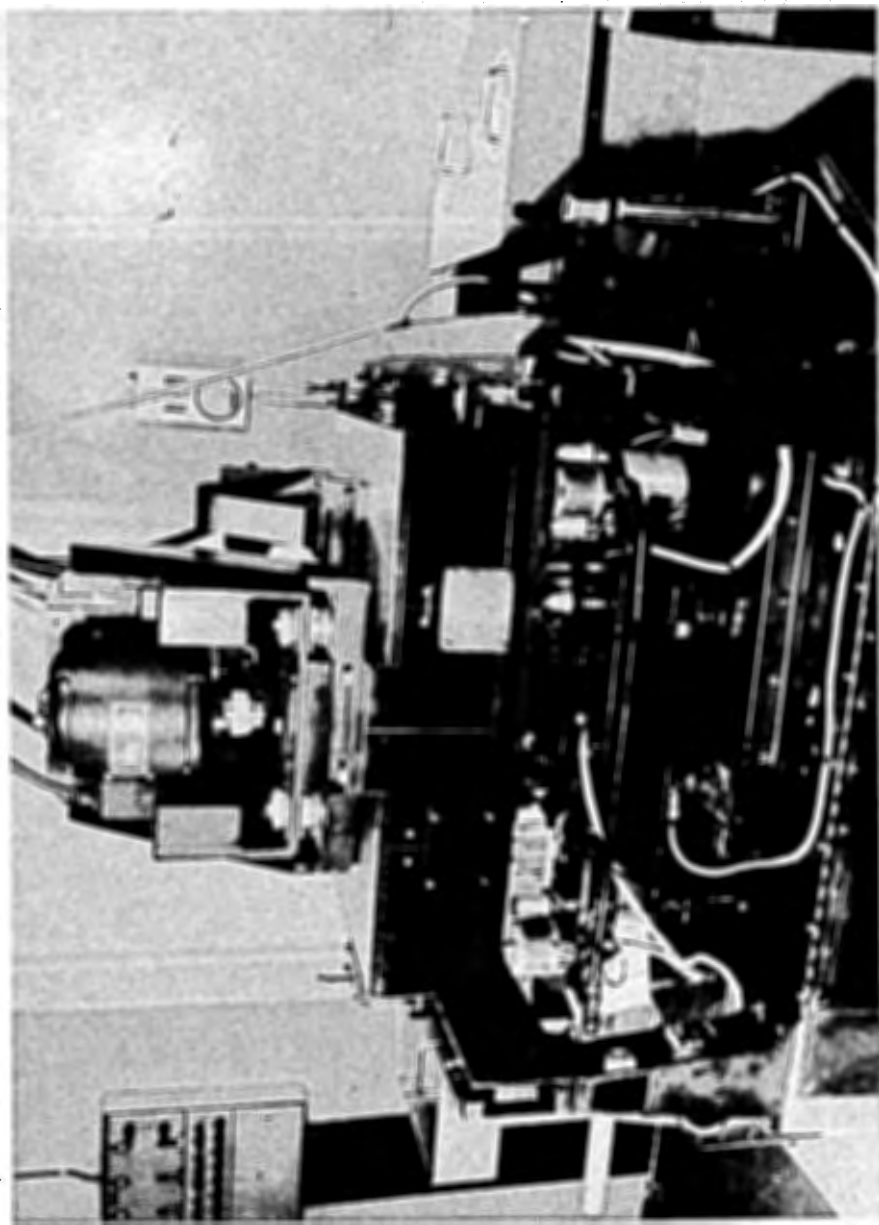


Рис. 8. Фотография общего вида оптико-механической части СА.

Ниже приводятся краткие технические данные этих узлов.

Сканирующий диск

Количество оптических каналов	- 2 (0° , 90°)
Количество щелей в диске	- 8
Максимальная длина скана на пленке	- 46 мм
Привод диска	- с помощью шкивов и ремня от синхронного мотора
Скорость вращения диска	- 750 об/мин - 1000 об/мин - 3000 об/мин - 6000 об/мин.

Источник света

Тип источника	- ртутная капиллярная лампа высокого давления
Питание лампы	- 1 кв x 1 а

Оптическая система

Количество объективов	- 4
Фокусное расстояние объектива	- 91,5 мм
Шаг измерительных решеток	- 25,4 мкм
Точность шага	- ± 1 мкм
Длина решетки	- 50 мм

Измерительный стол

Максимальное перемещение по "X"	- 240 мм
Максимальное перемещение по "W"	- 85 мм
Тип датчиков линейных перемещений	- дифракционные решетки (125 линий/мм)
Привод стола	- гидравлический.

Гидравлический привод кареток стола

Количество фиксированных скоростей	- 4
Диапазон изменения скорости	- 0-120 мм/сек
Быстрый возврат	- 120 мм/сек
Управление приводом	- гидравлические клапаны с соленоидами.

Система транспортировки фильма

Емкость фильмовых бобин	- 300 м
Ширина фильма	- 35, 50 мм, 70 мм
Максимальная скорость протяжки пленки	- 5 м/сек
Прижим фильма	- вакуумный

Электронная аппаратура сканирующего автомата

Упрощенная блок-схема электроники сканирующего автомата СА приведена на рис. 9.

Обрабатываемый фильм располагается на измерительном столе. В процессе сканирования снимка сигналы от треков и отсчетных реше-

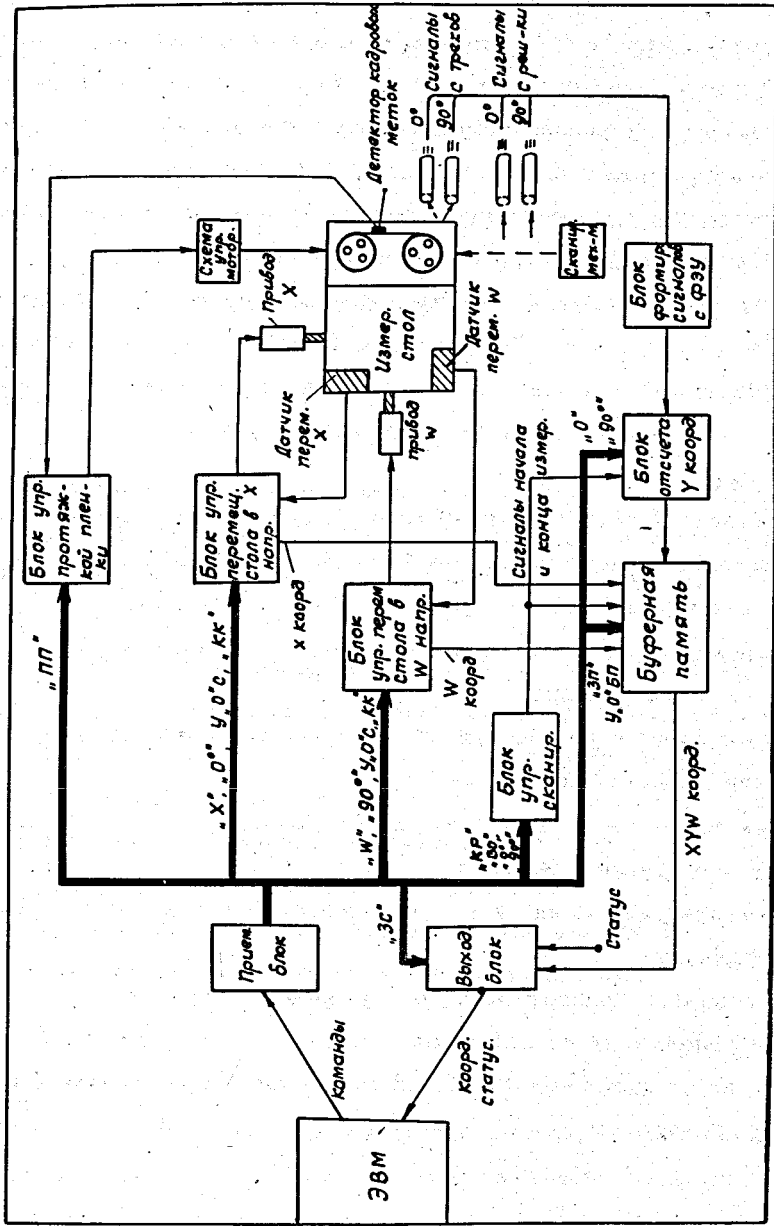


Рис. 9. Блок-схема электроники сканирующего автомата.

ток для одного из видов сканирования (0 или 90°) снимаются с одной из пар ФЭУ соответственно. Блок формирования сигналов с ФЭУ содержит схемы усилителей, АРУ, схемы автоматической регулировки порога и схемы формирования стандартных сигналов от треков и отсчетной решетки. Сигналы с отсчетной решетки пересчитываются быстрым счетчиком, расположенным в блоке отчета Y-координаты. В этом же блоке расположен интерполяционный генератор и интерполяционный счетчик для точного определения середины измеряемого трека. В буферную память при измерении координат трека заносятся показания интерполяционного счетчика и Y-счетчика. После окончания рабочего хода развертки, соответствующего одной линии сканирования, в буферную память с датчиков перемещения стола заносятся координаты X и W положения стола.

Через выходной блок данные измерения из буферной памяти в процессе сканирования передаются в оперативную память ЭВМ. Приемный блок осуществляет прием команд из ЭВМ и их дешифровку.

Блок управления перемещением стола в направлении X(W) выполняет следующие функции:

- 1) осуществляет перемещение стола до заданной координаты, с которой должно начаться измерение;
- 2) осуществляет движение стола в направлении X(W) с заданной скоростью во время измерения;
- 3) прекращает измерение и останавливает стол при достижении заданной координаты;
- 4) обеспечивает возврат стола в "нулевое" положение.

Блок управления лентопротяжным механизмом осуществляет протяжку пленки на заданное число кадров в заданном направлении и фиксирует пленку на нужном кадре.

Блок управления сканированием задает параметры сканирования (плотность, уровень дискриминации и др.), контролирует выполнение принятых из ЭВМ команд, осуществляет контроль исправности отдельных узлов прибора.

Для обеспечения автономной работы сканирующего автомата в режиме настройки имеется также вспомогательная аппаратура. К ней относится имитатор сканирующего устройства, имитатор ЭВМ, осциллограф с запоминанием для контроля работы сканирующего устройства, цифропечать для вывода данных из буферной памяти и т.д.

Программа управления СА

Управление сканирующим автоматом осуществляется ЭВМ с помощью специальных команд. Перечень их приведен в таблице 1. Электронная аппаратура автомата обеспечивает прием и выполнение этих команд.

Блок-схема одного из вариантов программы управления показана на рис. 10. Программа написана в автокоде CODAP-1 машины CDC-1604A, объем программы 700 (681) слов, рабочее поле состоит из 2-х массивов по 6 тыс. слов, с которых в процессе сканирования производится запись данных измерения на магнитную ленту. С помощью подпрограммы графического представления возможен вывод данных измерения на широкую печать типа АЦПУ-128 или на ЭЛТ с запоминанием в виде изображения просканированного снимка.

Отсчетная система сканирующего автомата

В сканирующем автомате СА ОИЯИ максимальная скорость сканирования выбрана равной 3000 об/мин сканирующего диска, при этом

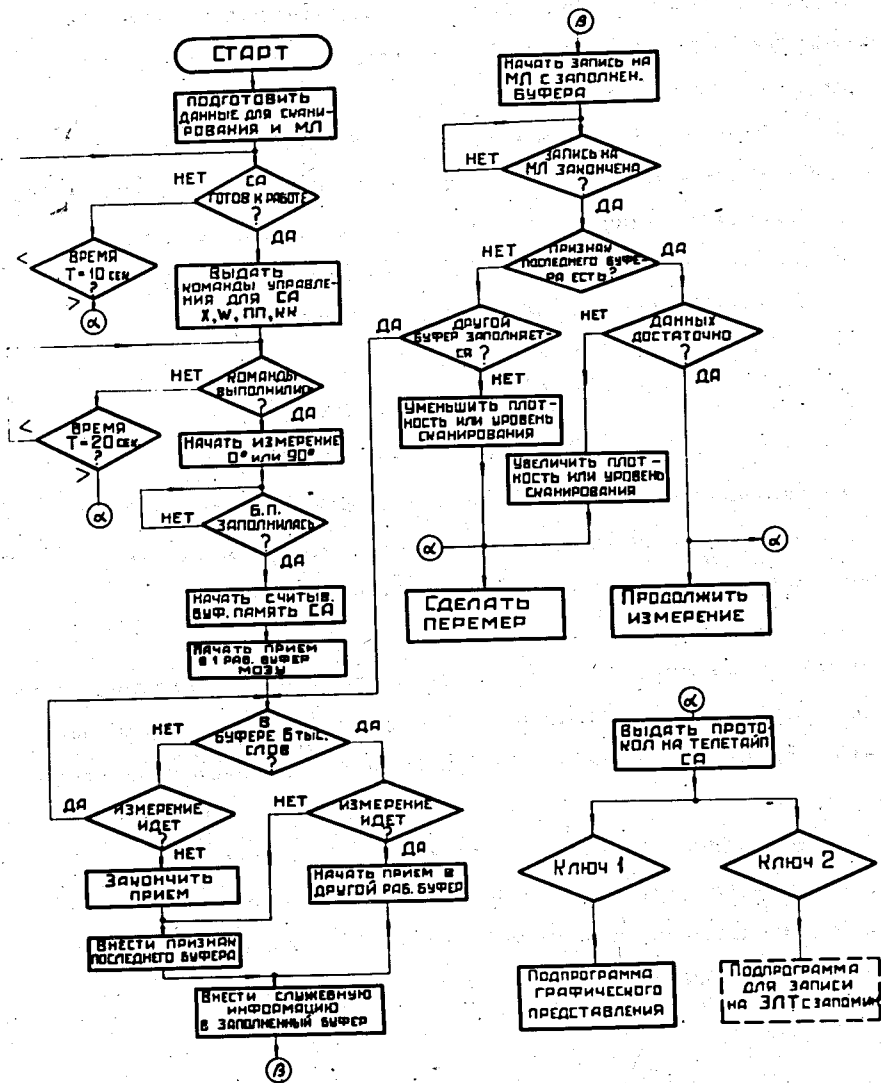


Рис.10. Блок-схема одного из вариантов программы управления СА.

Таблица I.

° Команды управления СА

Разрядность команд: 28 разрядов.

формат команд: 25-28 разряды - код операции /КОП/,
I-24 разряды - числовая часть.

№	Наименование команды	Шифр	КОП	Числовая часть	
				разряды	содержание
1.	Передвинуть каретку X до координаты X_0	X	01	I-12	X_0
2.	Передвинуть каретку W до координаты W_0	W	02	I-12	W_0
3.	Передвинуть фильм на n кадров в заданном направлении	III	03	I-12 13	n направление
4.	Начать сканирование при 0°	0°	04	1,2 3,4 5,6 7,8,9	скорость не используется плотность уровень
5.	Начать сканирование при 90°	90°	05	1,2 3,4 5,6 7,8,9	скорость не используется плотность уровень
6.	Сканировать до координаты X_k / W_k	KK	06	I-12	X_k / W_k
7.	Запросить статусное слово	Zc	07		
8.	Начать считывание буферной памяти СА	СП	10		
9.	Записать в буферную память контрольное число Z	ZП	11	I-24	Z
10.	Записать в буферную память СА координату "маски" M	M	12	I-12	M
11.	Сменить фильм в лентопротяжном механизме СА	ИП	13		
12.	Вызвать оператора СА	BO	14		
13.	Очистить буферную память СА	СВП	15		
14.	Установить каретки стола в исходное состояние	ОС _T	16		

скорость движения светового пятна равна 25 мкм/мсек, что соответствует частоте повторения опорных импульсов с отсчетной решетки в 1 Мгц и длительности импульсов от треков приблизительно $0,5 + 2$ мсек.

При заданной точности отсчета 1,6 мкм частота интерполяционного генератора равна 16 Мгц.

Блок-схема отсчетного канала приведена на рис. 11.

Сигналы с решетки поступают на коммутатор $0, 90^\circ$, который задает вид сканирования по команде из ЭВМ.

После коммутатора сигналы поступают на резонансный усилитель и формирователь "темного периода". Резонансный усилитель имеет на входе дифференциальную цепочку, устраняющую импульсы "темного" периода ($T_{\text{тп}} = 0,5$ мсек), соответствующие нерабочему ходу развертки.

Добротность контура резонансного усилителя $Q = 20$, при этом восстанавливаются провалы в сигналах, вызванные дефектом решетки или наличием пылинок на них. Как показала практика, величина провалов, вызванных этими дефектами, не превышает 1-2 периодов частоты повторения опорных импульсов, что соответствует 20-30 мкм длины линии скана.

После формирователя опорных импульсов сигналы длительностью $T = 50-60$ нсек поступают на вход Y -счетчика.

Формирователь импульсов темного периода вырабатывает импульсы начала и конца "темного периода", кроме того формирователь устраняет паразитные сигналы, вызванные наличием пылинок в оптической системе. Затем одновибраторы OB_1 , OB_2 и схема "И" формируют стандартный импульс "темного периода".

Формирователь стробов X, W, Y пол вырабатывает сигналы для занесения в буферную память координат стола X, W , контрольной координаты Y пол, соответствующей полной длине линии сканирования.

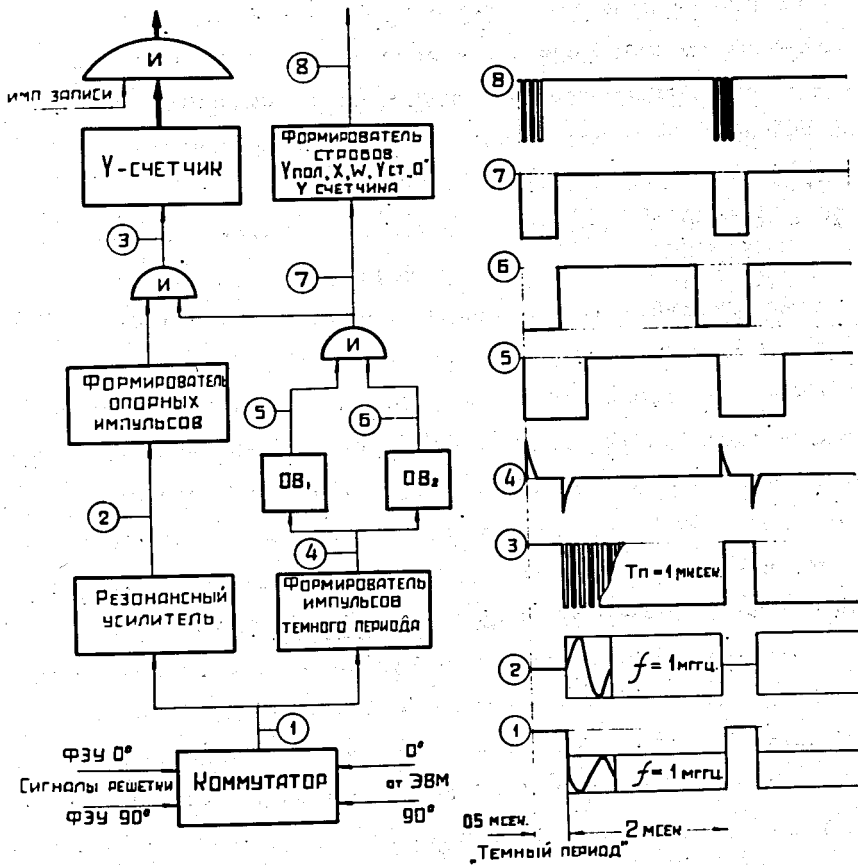


Рис.11. Блок-схема отсчетного канала Y-координаты.

У - счетчик имеет 12 разрядов с параллельным переносом, время переноса на весь счетчик - 50 нсек. Содержание У - счетчика переносится в буферную память импульсом записи.

Трековые сигналы после коммутатора 0, 90° поступают на схему регулирования порога. Управление порогом осуществляется ЭВМ для получения оптимального потока информации со сканируемого снимка. В канале применен фильтр с частотой отсечки приблизительно 2 Мгц для устранения шумов ФЭУ.

Для получения стандартных импульсов от треков использована схема с двумя линиями задержки, описанная в /4/.

Схема стандартизации и определения полуширины трековых сигналов и временная диаграмма ее работы приведены на рис. 12.

Импульс А стробирует сигналы интерполяционного генератора и подает их на вход Тг 1/2, который формирует последовательность импульсов половинной частоты. Эти импульсы пересчитываются интерполяционным счетчиком для определения полуширины трекового сигнала. После окончания сигнала А интерполяционный счетчик досчитывает до ближайшего опорного импульса последовательность импульсов полной частоты. На диаграмме приведены импульсы записи показания интерполяционного счетчика в буферную память и установки его в "0".

В качестве буферной памяти в СА использовано запоминающее устройство на тонких магнитных пленках объемом в 128 24 - разрядных слов с временем обращения 0,8 мсек. 20 разрядов слова используются для записи измеряемых координат, 4 разряда являются служебными признаками. Разрешающая способность СА, полученная при использовании этого буферного запоминающего устройства, составляет 30 мкм по снимку. Максимальная скорость передачи данных в ЭВМ равна приблизительно 30 тыс. слов/сек (определяется параметрами аппаратуры связи и буферного канала CDC-1604A). Такая скорость реализуется при

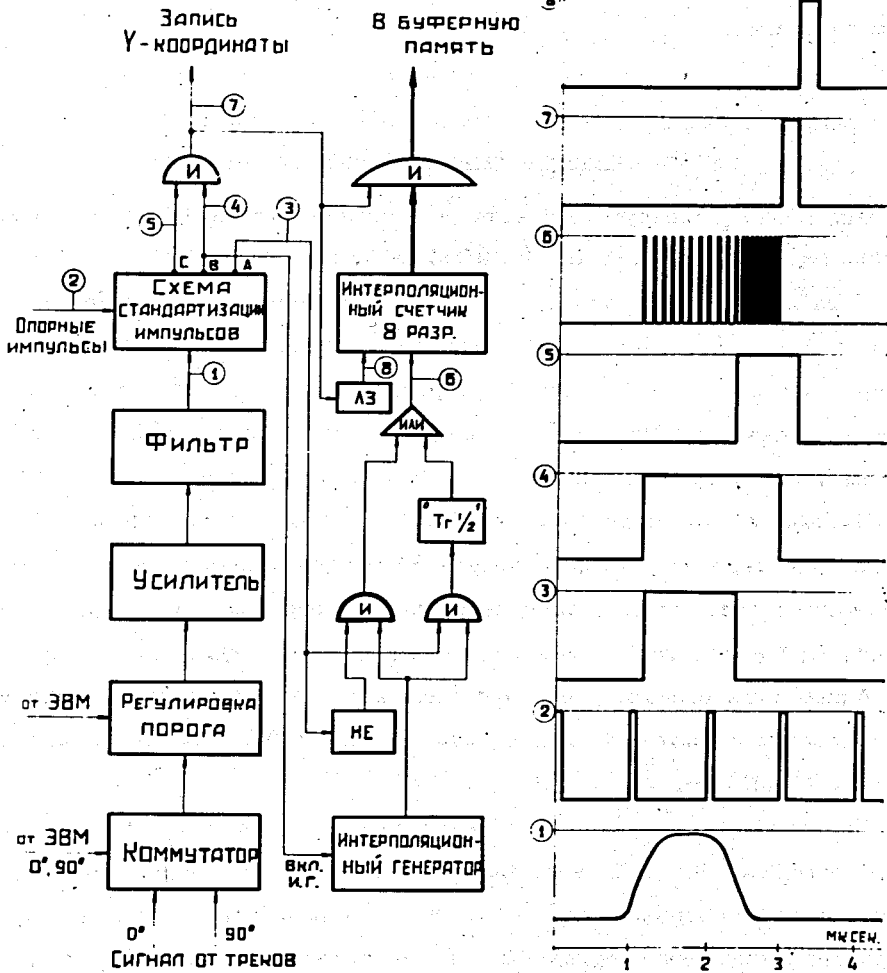


Рис.12. Схема стандартизации и определения полуширины треновых сигналов.

записи данных в оперативную память ЭВМ. При работе с магнитной лентой необходима грубая фильтрация информации приблизительно в 4 раза для возможности переписи данных на магнитную ленту в процессе сканирования.

Некоторые результаты испытаний

Испытания сканирующего автомата производились в ноябре-декабре 1968 года совместно с ЭВМ CDC-1604A.

Целью испытаний являлась отладка всех узлов системы по реальным снимкам. Проводилось исследование возможности обработки на сканирующем автомате фотографий с различных трековых камер, в том числе и с искровых. При этом выяснились точностные характеристики автомата, его разрешающая способность и скорость работы.

На рис. 2 приведена распечатка на широкой печати содержания рабочего массива оперативной памяти ЭВМ, полученного при измерении сканирующим автоматом координат треков с водородной пузырьковой камеры. Оригинал этой фотографии приведен на рис. 1.

Аппаратура сканирующего автомата доведена до состояния заданных точностей отсчета: по координате $X, W - \pm 2,5$ мкм, по координате $Y - \pm 1,6$ мкм.

Для определения точности измерения координаты Y многократно (число замеров $n = 100$) измерялась координата Y одного и того же трека при фиксированных X и W . Максимальное отклонение от среднего значения координаты Y составило при этом 5,8 мкм, а средняя квадратичная ошибка $\sigma = 2,5$ мкм.

При выбранной плотности сканирования с шагом 60 мкм скорость движения кареток стола при измерении составляет 12 мм/сек, что позволяет с учетом подготовительных операций производить промер одного стереоснимка в двух направлениях за 10-12 сек.

Стабильность шага в установившемся режиме измерения сохраняется по предварительным расчетам с точностью лучшей, чем $\pm 2,5$ мкм ($\pm 1,8$ мкм).

Л и т е р а т у р а

1. Материалы школы по применению ЭВМ в ядерной физике. Препринт ОИЯИ Б1-1043, Дубна 1969.
2. В.Я. Алмазов, И.А. Голутвин, В.Д. Инкин, Ю.А. Каржавин, В.Д. Неустроев, В.Д. Степанов. Препринт ОИЯИ 1352, Дубна 1963.
3. В.Я. Алмазов, А.С. Буров, А.А. Горяинов, В.И. Зайцев, Ю.А. Каржавин, М.А. Либерман, В.Д. Неустроев, В.Я. Рубцов, И.И. Скрыль, А.И. Староверов. Препринт ОИЯИ 10-4172, Дубна 1968.
4. F. Marciano. CERN DD/DA/65/18, 1965.

Рукопись поступила в издательский отдел
29 мая 1969 года.