

12/V-70

A-91

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P10 - 4943



ЛАБОРАТОРИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ  
И АВТОМАТИЗАЦИИ

А.Я. Астахов, Ю.А. Каржавин, В.М. Котов,  
В.Н. Лысяков, М.Г. Мещеряков, Г.А. Погодина,  
Р. Позе, Г.А. Ососков, И.И. Скрыль, Г. Шумань

### СПИРАЛЬНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ

(Описание  
основных узлов оптико-механической части  
и электронных блоков управления)

1970

P10 - 4943

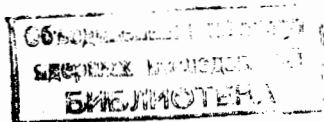
8321/2 чр

А.Я. Астахов, Ю.А. Каржавин, В.М. Котов,  
В.Н. Лысяков, М.Г. Мещеряков, Г.А. Погодина,  
Р. Позе, Г.А. Ососков, И.И. Скрыль, Г. Шуманн

**СПИРАЛЬНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ**

(Описание  
основных узлов оптико-механической части  
и электронных блоков управления)

Направлено в ПТЭ



## О Г Л А В Л Е Н И Е

	Стр.
I. Общее описание спирального измерителя .....	5
I.1. Основные технические данные .....	5
I.2. Описание структурной схемы .....	6
I.3. Последовательность операций в работе СИ ....	13
I.4. Возможность использования СИ в качестве измерительного полуавтомата с автоспро- вождением по следу .....	14
II. Описание конструкции оптико-механической части спирального измерителя .....	17
2.1. Измерительный стол с фильмовым каналом ....	17
2.2. Узел смены проекций .....	19
2.3. Устройство получения спиральной развертки (перископ) .....	22
2.4. Оптическая схема СИ .....	24
2.5. Применение стекловолоконной оптики в конструк- ции оптико-механической части СИ .....	26
III. Программа управления СИ и характеристики ЭВМ ..	28
3.1. Основные характеристики управляющей ЭВМ.....	30
3.2. Обмен информацией по каналу программного прерывания .....	31
3.3. Канал непосредственного доступа в память ЭВМ	33
IV. Основные электронные блоки СИ .....	36
4.1. Управление перемещением кареток измерительного стола .....	36
4.2. Управление перемещением каретки перископа ..	42
4.3. Блок управления узлом смены проекций .....	45

4.4. Электронные узлы пульта управления и контроля ..	49
У. Отсчетный канал .....	52
5.1. Описание структурной схемы .....	53
5.2. Блок обработки входных сигналов .....	55
5.3. Способ определения амплитуды и ширины трека ....	57
5.4. Блок преобразователя код-аналог .....	57
5.5. Схема устройства для определения ширины трека ..	62
5.5. Схема устройства определения уровня дискриминации .....	64
5.7. Схема блока временного согласования несинхронных процессов .....	64
5.3. Блок буферного запоминающего устройства .....	68
5.9. Блок измерения координаты R .....	70
5.10. Блок отсчета угловой координаты Q .....	73
5.11. Другой возможный вариант построения отсчетного канала .....	74
Литература .....	77

## 1. Общее описание спирального измерителя

Устройство "Спиральный измеритель" (СИ) предназначено для сканирования снимков с пузырьковых камер при экспериментальных исследованиях на мощных ускорителях. СИ является полуавтоматической установкой, рассчитанной на работу совместно с управляющей электронно-вычислительной машиной (ЭВМ). Управление последовательностью работы прибора и контроль за качеством измерения осуществляются оператором, при этом большинство функций оператора может выполняться автоматически с помощью ЭВМ. Установка СИ рассчитана на измерения 50-75 одновершинных событий в час.

Основные принципы метода спирального сканирования были сформулированы доктором Альварецом в 1958 году, а с 1965 года

"Spiral Reader", разработанный группой Альвареца, находится в эксплуатации /1/.

Ниже приводится описание основных узлов оптико-механической части и электронных блоков управления устройства "Спиральный измеритель", разрабатываемого в Лаборатории вычислительной техники и автоматизации ОИЯИ. В разработке отдельных узлов СИ принимали участие специалисты из ряда других научно-исследовательских организаций.

### 1.1. Основные технические данные

1. Предполагаемое среднее время обработки снимка с изображением одновершинного события примерно должно быть равно 15 сек.

2. Суммарная среднеквадратичная погрешность измерения положения любой точки, расположенной на обрабатываемом снимке, не должна быть более 2,5 мкм.

3. Максимальный радиус спиральной развертки, приведенный к плоскости снимка, должен равняться 55 мм.

4. В конструкции перископа предусматривается возможность сканирования изображения обрабатываемого снимка либо одной радиальной щелью (размер  $25 \times 10 \text{ мкм}^2$ ), либо двумя, расположенными рядом, или отверстием со световым диаметром, равным 10 мкм (названные размеры приведены к плоскости снимка).

5. Угловая скорость вращения конического барабана перископа принята равной 600 об/мин.

6. Величина рабочих перемещений кресток измерительного стола по X- и Y-направлениям принята равной 230 и 80 мм, соответственно.

7. Максимальный размер окна фильмового канала выбран равным  $227 \times 77 \text{ мм}^2$ .

8. Узел смены проекций должен допускать одновременную установку четырех рулонов пленки шириной 50, 70 или 80 мм и длиной пленки в рулонах до 300 м.

9. Увеличение изображения снимка на обзорном экране пульта контроля и управления принято 10-кратным, на экране ВКУ увеличение изображения принято 200-кратным.

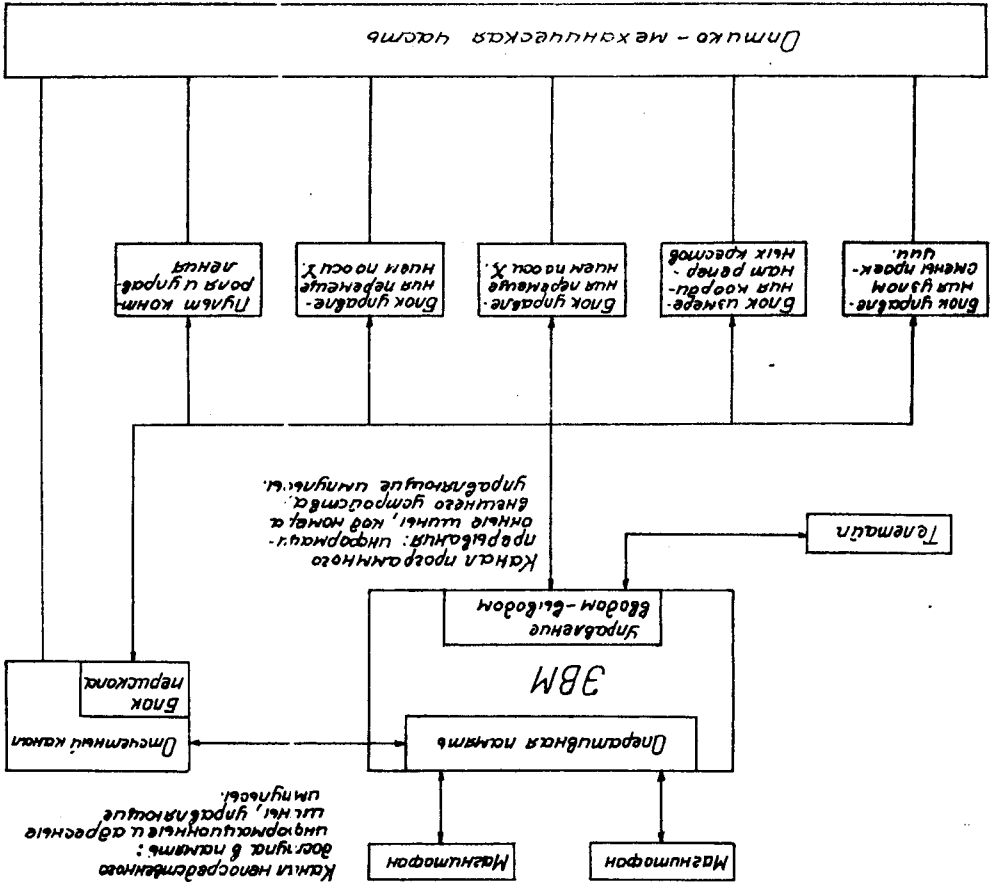
10. В состав установки СИ входит управляющая электронно-вычислительная машина. Данные, полученные в процессе обработки снимка, накапливаются на магнитной ленте, и дальнейшая обработка ведется на большой ЭВМ.

II. Нормальные условия работы установки: температура помещения  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ , относительная влажность воздуха 50-60%.

### 1.2. Описание структурной схемы

Общая блок-схема СИ приведена на рис. I. На ней показаны основные узлы прибора, оптико-механическая часть, электронные

Рис. 1. Общая блок-схема "Спирального измерителя".



блоки, управляющие отдельными узлами оптико-механической части, и управляющая вычислительная машина с набором стандартных устройств ввода-вывода.

Принципиальная схема оптико-механической части приведена на рис. 2. Обрабатываемый снимок 7 проецируется одновременно на обзорный экран I, расположенный перед оператором, на устройство получения спиральной развертки I2 (перископ) и на узел измерения реперных крестов 9. Проекционная система состоит: из осветителя I4, фильмового канала с обрабатываемым снимком 7, двух объективов 4 и 6 для проекции снимка на экран и на перископ, двух полупрозрачных зеркал 3 и 8 и двух отражающих зеркал 2 и 5.

Фильмовый канал неподвижно закреплен на верхней каретке измерительного стола I6 и может перемещаться по двум взаимно-перпендикулярным направлениям (X-и Y-направления) относительно неподвижного узла проекционных объективов 4 и 6. Для измерения положения кареток стола используются два отсчетных узла I5 с дифракционными решетками. Управление движением измерительного стола осуществляется с помощью электронных блоков перемещения по X-и Y-направлениям.

Узел смены проекций представляет собой раму с установленными на ней фильмопротяжными механизмами, которая может перемещаться по направляющим относительно измерительного стола. Каждый фильмопротяжный механизм состоит из приемной и подающей бобины I3, ведущих роликов и фотоэлектрического узла считывания служебной информации, имеющейся на обрабатываемой фотопленке. Процессом поиска и установки в фильмовый канал нужного снимка с проекцией обрабатываемого события управляет ЭВМ.

Узел измерения реперных крестов состоит из платы 9, на которой расположены цели и отверстие с перекрестием. Цели установ-



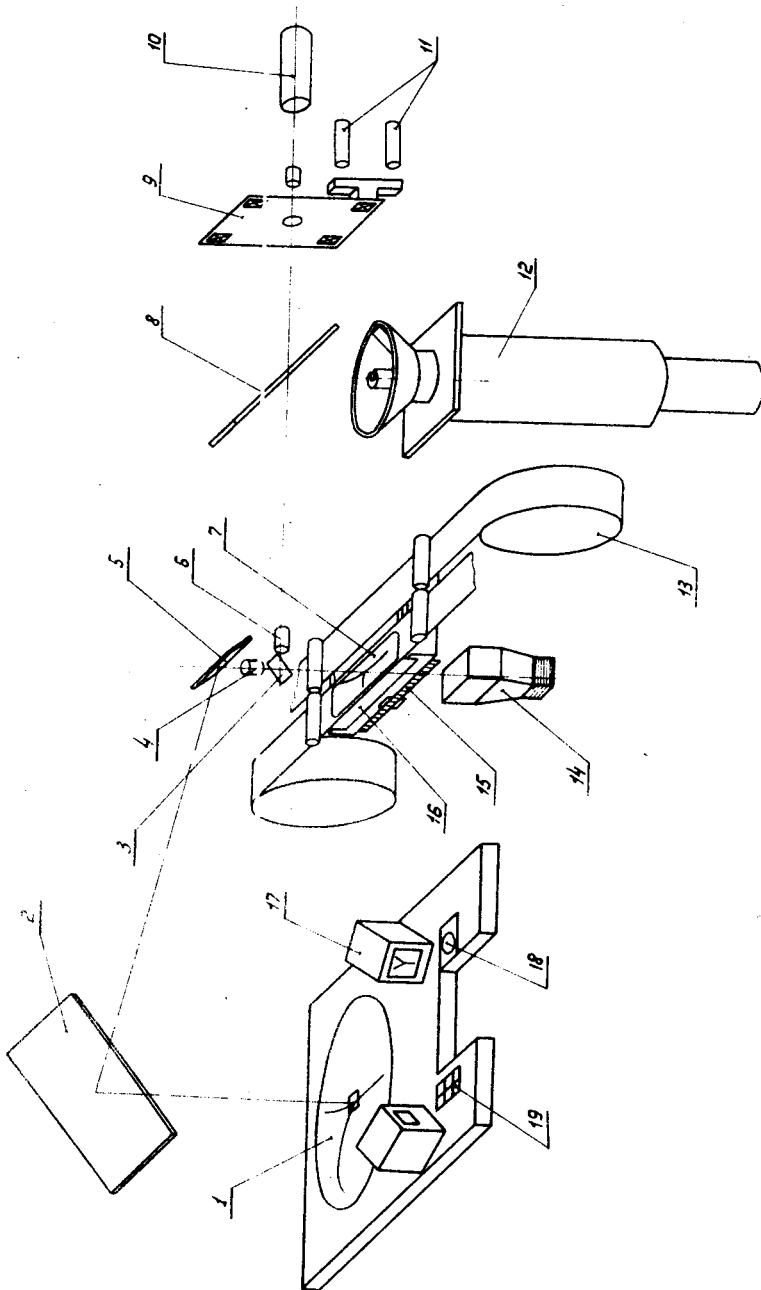


Рис. 2. Принципиальная схема оптико-механической части.

лены параллельно плечам реперных крестов обрабатываемого снимка, спроецированного на плату 9 (по две цели на каждый крест). Световой поток из каждой цели поступает на отдельный фотоумножитель. Отверстие с перекрестием расположено в месте пересечения платы с оптической осью, при этом центр перекрестия совмещен с полюсом спиральной развертки. Небольшая часть изображения снимка, ограниченная отверстием, вместе с перекрестием проецируется дополнительным объективом на фотокатод видикона 10 промышленной телевизионной установки. Изображение с фотокатода видикона выводится на экран видео-контрольного устройства 17 (ВКУ).

Пульт контроля и управления состоит из обзорного экрана 1, ВКУ 17, осциллографа с запоминанием, пульта двухсторонней связи оператора с ЭВМ (световое табло), кнопок управления и "шара перемещения" 18.

Принципиальная схема перископа 12 показана на рис. 3. Конический барабан с закрепленным на нем плоским зеркалом 1 приводится во вращение электродвигателем 9. Каретка 3 связана через направляющие с коническим барабаном 2 и вращается вместе с ним; кроме того, каретка может перемещаться по направляющим вдоль оси конического барабана. Перемещение каретки осуществляется парой винт-гайка. Винт 7 приводится во вращение электродвигателем 8, управляемым от ЭВМ, а гайка 6 может перемещаться только поступательно, и через тяги 5 передает это движение на каретку 3. Световой поток, отраженный от зеркала 1, поступает на щель 11, образуемая которой направлена вдоль оси вращения конического барабана, и далее, отразившись от зеркала 10, поступает на вход фотоумножителя 4, сигнал с которого передается в отсчетный канал для последующей обработки.

При вращении конического барабана световой поток поступает

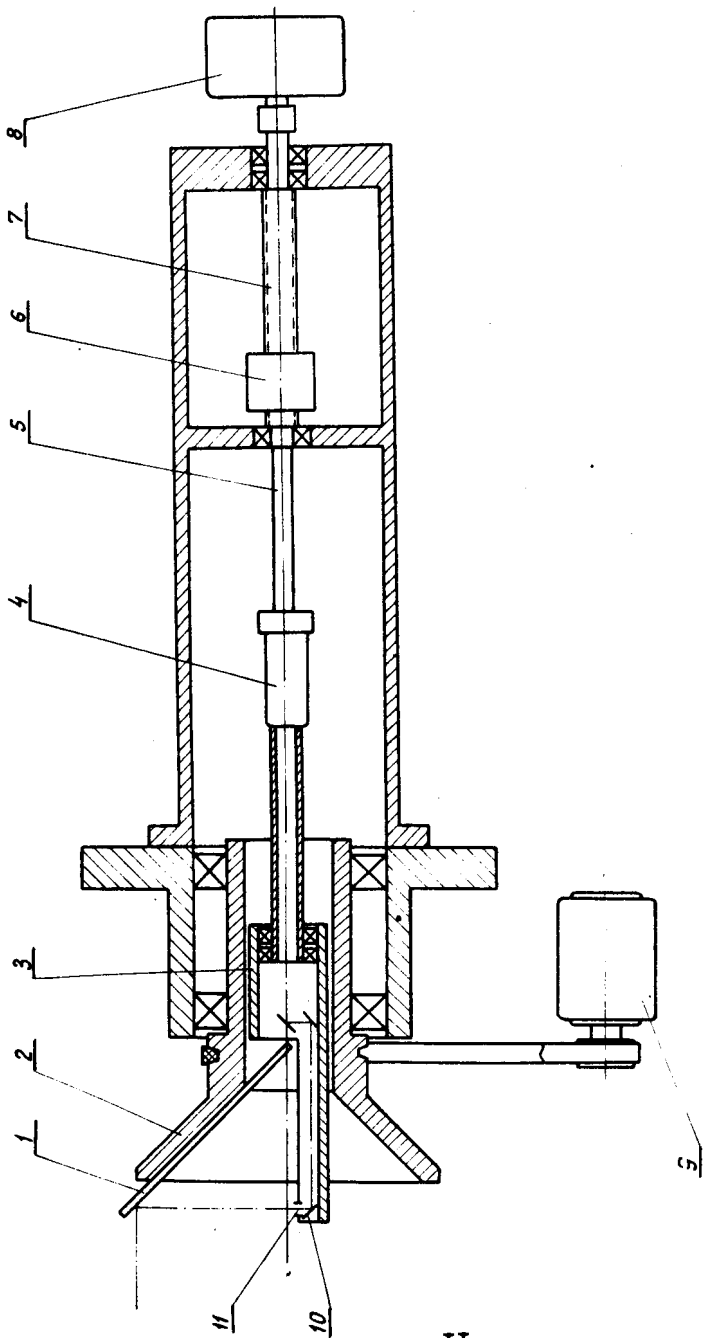


Рис. 3. Принципиальная схема перископа.

на щель из кольцевой зоны спроецированного на перископ изображения, при этом радиус кольцевой зоны зависит от положения каретки 3. Отсюда ясно, что при соответствующем движении каретки может быть получена спиральная развертка спроецированного изображения. Параметры спиральной развертки зависят только от режима работы двигателя 8, поскольку конический барабан приводится во вращение двигателем 9 с постоянной угловой скоростью. В процессе спиральной развертки, при пересечении щелью изображения следа, электронные схемы отсчетного канала определяют амплитуду сигнала, его ширину, угловую и радиальную координаты точки пересечения, а также формируют на выходных регистрах отсчетного канала коды полученных величин.

При сканировании снимков в СИ используются две системы координат: прямоугольная  $(X, Y)$ , связанная с измерительным столом, и полярная  $(R, \theta)$ , связанная с перископом. В прямоугольной системе координат определяется положение реперных крестов, вершины обрабатываемого события и опорных точек (последние дают дополнительную информацию о следах обрабатываемого события). Измерение координат точек вдоль следов события производится в полярной системе координат, при этом вершина события должна быть совмещена с полюсом спиральной развертки.

Вычислительная машина используется для организации всего процесса обработки, накопления полученных данных, а также для контроля за действием оператора и качеством работы установки. Практически все основные узлы прибора функционально независимы и связаны между собой только через ЭВМ с помощью программы управления.

### 1.3. Последовательность операций в работе (И

Чтобы пояснить взаимодействие отдельных узлов прибора и работу СИ в целом, рассмотрим один из возможных вариантов организации работы СИ в случае, когда большинство операций выполняется автоматически.

После окончания обработки некоторого события, чтобы перейти к следующему, оператор нажимает кнопку "Следующее событие". При этом в फिल्मный канал измерительного стола с помощью узла смены проекций устанавливается снимок первой проекции следующего события, отобранного при просмотре. Работой узла смены проекций управляет ЭВМ на основе полученной при просмотре и записанной на магнитной ленте информации.

Обработка снимка начинается с определения координат реперных крестов. ЭВМ на основе заранее заданной информации управляет перемещением измерительного стола так, что изображения определенных реперных крестов последовательно пересекают крестообразные щели, расположенные на плате узла измерения реперных крестов. При совмещении изображения плеча креста со щелью в ЭВМ поступают данные о координатах измерительного стола в этот момент и номер креста. Возможен также режим полуавтоматического измерения реперных крестов. В этом случае ЭВМ, управляя перемещением измерительного стола, выводит реперные кресты последовательно в зону, которая видна в увеличенном виде на расположенном перед оператором экране ВКУ. Оператор с помощью шара перемещения управляет движением измерительного стола, совмещая изображение реперного креста с перекрестием на экране ВКУ. После нажатия кнопки "Реперные кресты" данные о координатах положения измерительного стола и номер креста поступают в ЭВМ.

После измерения реперных крестов ЭВМ на основе полученной при просмотре информации выводит вершину обрабатываемого события в зону, которая видна на экране ВКУ, а оператор с помощью шара перемещения совмещает точно с перекрестием вершину события. Перекрестие на экране ВКУ совмещено с полюсом спиральной развертки. После нажатия кнопки "Спиральная развертка" спроецированное на перископ изображение снимка сканируется радиальной щелью, перемещающейся по спирали увеличивающегося радиуса. Операция точного совмещения вершины обрабатываемого события с полюсом спиральной развертки не автоматизируется и всегда является обязанностью оператора. Данные, получаемые в процессе сканирования, непрерывно поступают в ЭВМ и одновременно выводятся на экран осциллографа, расположенного на пульте контроля и управления. По виду изображения на экране осциллографа оператор может оценить качество измерения события, решить вопрос об измерении дополнительных точек (опорных точек) на следах обрабатываемого события и т.д.

На этом обработка снимка данной проекции события заканчивается, и оператор переходит к измерению следующей проекции и, далее, следующего события. В описанном режиме на обработку одной проекции события должно затрачиваться в среднем около 15 сек.

Данные, поступающие в ЭВМ в процессе обработки снимков, записываются на магнитную ленту. Последующая обработка их должна проводиться на большой ЭВМ /2/.

#### 1.4. Возможность использования СИ в качестве измерительного полуавтомата с автосопровождением по следу

При обработке снимков на СИ изображение фотографии проецируется на обзорный экран стола оператора и на устройство по-

лучения спиральной развертки (перископ). Так как перемещение измерительного стола вместе с пленкой, которая находится в फिल्मовом канале, осуществляется по командам, поступающим из ЭВМ, а перископ может быть использован для получения круговой развертки постоянного радиуса, то имеется возможность практически без изменения электронной и оптико-механической частей прибора обеспечить работу СИ в режиме автосопровождения по изображению следа на обзорном экране.

Если дополнить программу управления СИ подпрограммой, обеспечивающей автосопровождение по следу, то режим работы СИ может быть аналогичен режиму работы измерительного полуавтомата типа "Свиппник". В этом случае СИ может использоваться для обработки снимков камер "Мирабель" и "Скат". В связи с тем, что конструкция перископа позволяет сканировать не только щелью, но и точкой, СИ в режиме автосопровождения может также применяться для обработки снимков со стримерной камеры с измерением ионизационных характеристик треков. Таким образом, практически без изменений конструкции прибора, введя небольшие дополнения к программе управления, можно значительно расширить возможности применения СИ в области обработки filmовой информации. На стадии дальнейшей разработки предполагается включение в состав прибора СИ более простого устройства для получения круговой развертки. Применение для этой цели относительно сложного узла перископа, возможности которого в этом режиме не используются полностью, рационально только в начальной стадии работы при отладке программы управления. Кроме того, использование простого устройства круговой развертки небольшого радиуса, требования к конструкции которого значительно ниже требований к перископу, позволит увеличить скорость слежения.

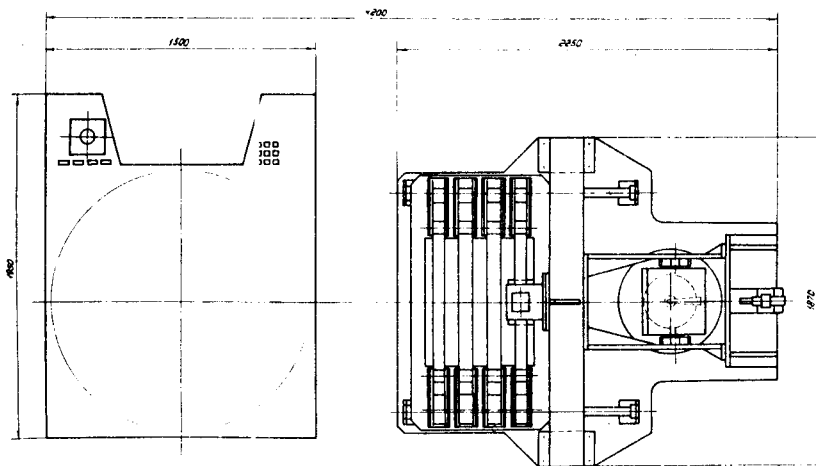
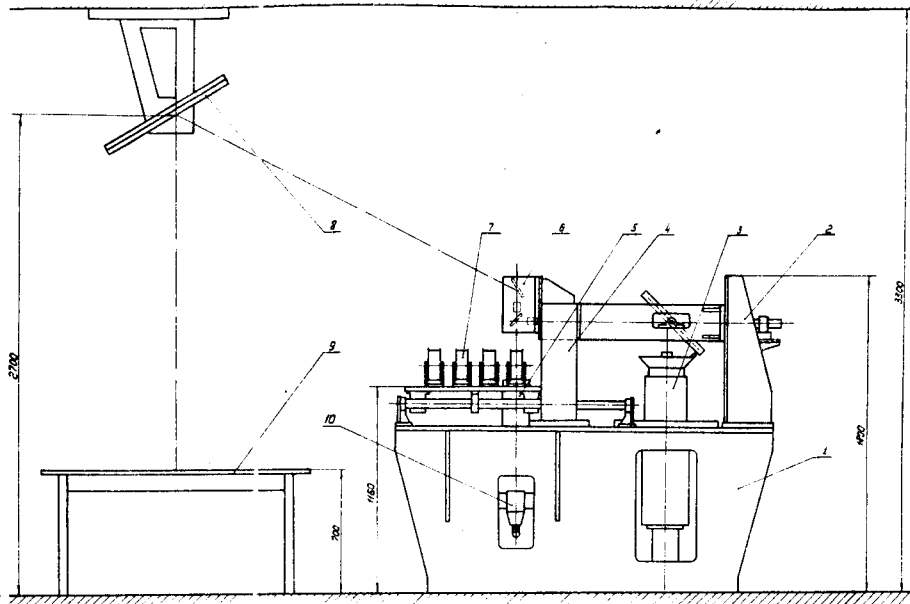


Рис. 4. Общий вид оптико-механической части.



## II. Описание конструкции оптико-механической части спирального измерителя

В процессе проектирования было рассмотрено несколько вариантов конструкции СИ. В частности, рассматривалась возможность изготовления прибора на базе координатно-расточного станка фирмы "Микромат Дрезден" модели ВКОЕ 315x450 (перемещение измерительного стола по X- и Y-координатам 250 и 400 мм соответственно); рассматривался вариант конструкции прибора с двумя автономными измерительными столами и ряд других. В результате проведенного анализа и ряда обсуждений был принят вариант прибора, общий вид которого показан на рис. 4/3/.

В следующих разделах описывается конструкция наиболее ответственных узлов СИ.

### 2.1. Измерительный стол с фильмовым каналом

Общий вид измерительного стола показан на рис. 5. На плате IO измерительного стола на шарикоподшипниках перемещается средняя каретка 2 (X - каретка). Внутренние подшипники, направляющие перемещение каретки, являются опорными, наружные - подпружинены и осуществляют силовое замыкание. Полное перемещение каретки по направлению X составляет 250 мм. Верхняя каретка I4 (Y - каретка) установлена на X-каретке и перемещается относительно неё по замкнутым призматическим направляющим. Полное перемещение Y - каретки составляет 100 мм. Каждое крайнее положение кареток ограничено двумя конечными выключателями (нормальным и аварийным). Привод кареток осуществляется парой винт-гайка I2 и I3 по направлению X и парой винт-гайка 5 и 6 по направлению Y. Пара винт-гайка выбрана специальной конструкции, обеспечивающей отсутствие люфта и постоянный коэффициент

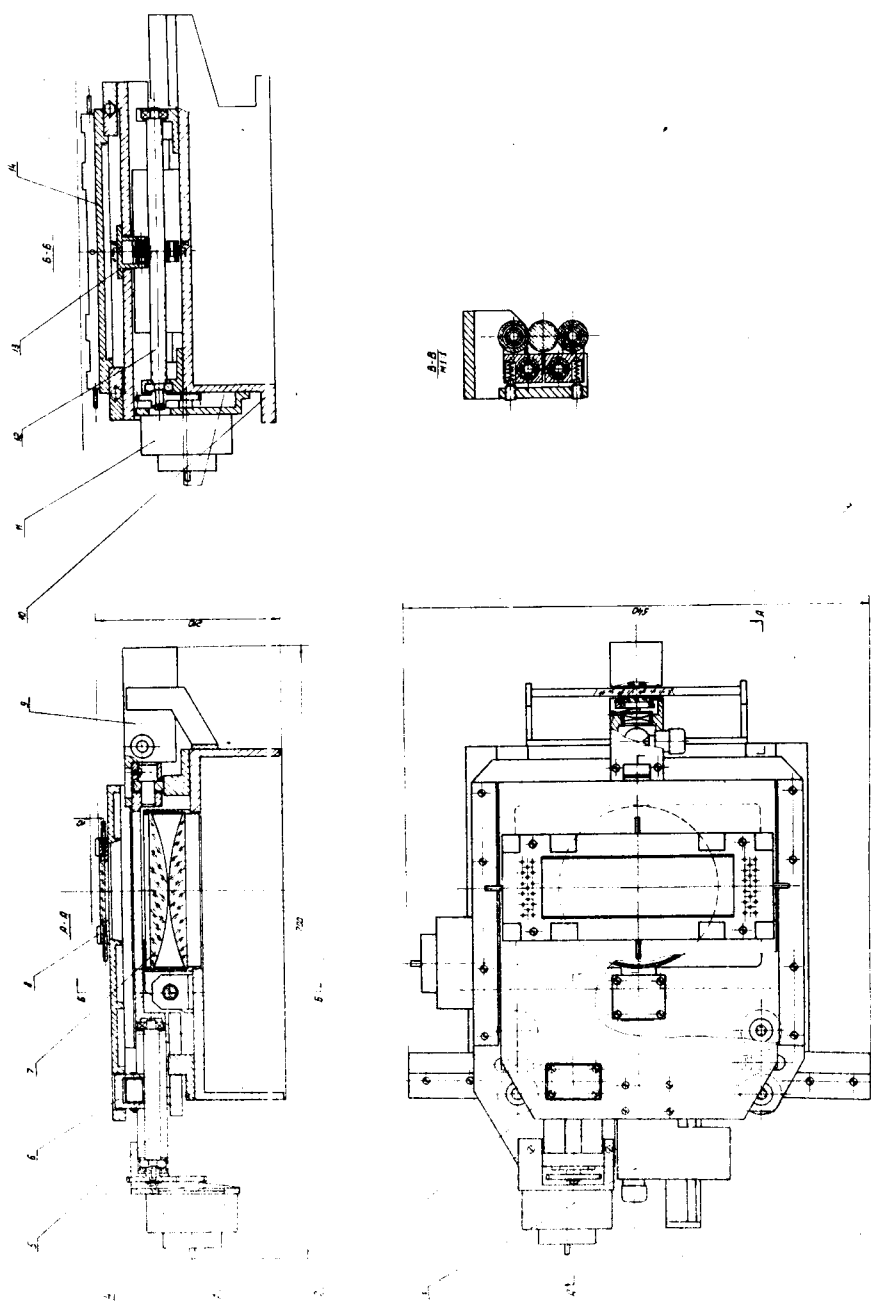


Рис. 5. Измерительный стол.

трения в передаче. Приводные винты 12 и 5 связаны через безлюфтовые редукторы с электродвигателями II и 4, соответственно. Положение стола по X- и Y-направлениям измеряется с помощью отсчетных узлов с дифракционными решетками 9 и I, соответственно. Шаг штрихов, нанесенных на дифракционной решетке, равен 10 мкм. На плате IO закреплены также линзы осветительной системы 7.

Фильмовый канал 8 установлен на верхней каретке I4. Фиксация пленки в фильмовом канале осуществляется с помощью присоса. Откачка воздуха производится через канавку, расположенную по периметру окна фильмового канала, и через дополнительные отверстия, которые независимо от канавки соединены с системой откачки воздуха.

Положение пленки вдоль длины фильмового канала направляется специальными выступами. С одной стороны фильмового канала расположены неподвижные выступы, с другой - подпружиненные. Перед включением системы откачки и осуществлением присоса пленка должна быть введена в фильмовый канал. Эта операция осуществляется с помощью подвижной прижимной рамки, установленной на кронштейне узла проекционных объективов (на рисунке 5 не показана).

## 2.2. Узел смены проекций

На рис. 6 показан узел смены проекций и измерительный стол с фильмовым каналом 7, размещенные на станине I СИ. На раме узла смены проекций 3 установлены четыре фильмопротяжных механизма 4. Рама вместе с фильмопротяжными механизмами может перемещаться по направляющим 2, занимая одно из 4 возможных фиксированных положений. Перемещение ее осуществляется кривошипным механизмом 8, приводимым во вращение электродвигателем. Фиксация положения рамы производится с помощью рычага 9 и планки с углублениями IO.

При каждом фиксировании положения рамы одна из пленок, установленных в фильмопротяжных механизмах, находится над фильмовым каналом измерительного стола, если каретки стола занимают некоторое заданное положение (начальное положение). В этом положении пленка с помощью прижимной рамки может быть введена в фильмовый канал. После присоса ее, для того, чтобы обеспечить возможность свободного перемещения измерительного стола при неподвижном узле смены проекций, должны быть образованы свободно висащие петли пленки 6. Три остальные пленки в это время находятся в натянутом состоянии 5 между ведущими роликами фильмопротяжного механизма. Смена установленной в фильмовом канале пленки происходит следующим образом. Давление воздуха в канавке фильмового канала повышается до атмосферного, и фильмопротяжный механизм, натягивая пленку, выбирает петли 6. После того как пленка натянется, кривошипный механизм 8 перемещает раму в следующее, заданное фиксированное положение. После этого повторяется описанная выше последовательность операций.

Фильмопротяжный механизм для каждой пленки состоит из двух одинаковых узлов, расположенных слева и справа от измерительного стола (рис.6). Быстрая перемотка пленки осуществляется с помощью электродвигателей I3, фрикционно связанных с бобинами I2. Медленная перемотка пленки при поиске и точной остановке искомого снимка, а также образование петель пленки осуществляются с помощью ведущих роликов II. Каждый ведущий ролик приводится во вращение отдельным электродвигателем. На каждом фильмопротяжном механизме установлено по одному фотоэлектрическому узлу считывания служебной информации.

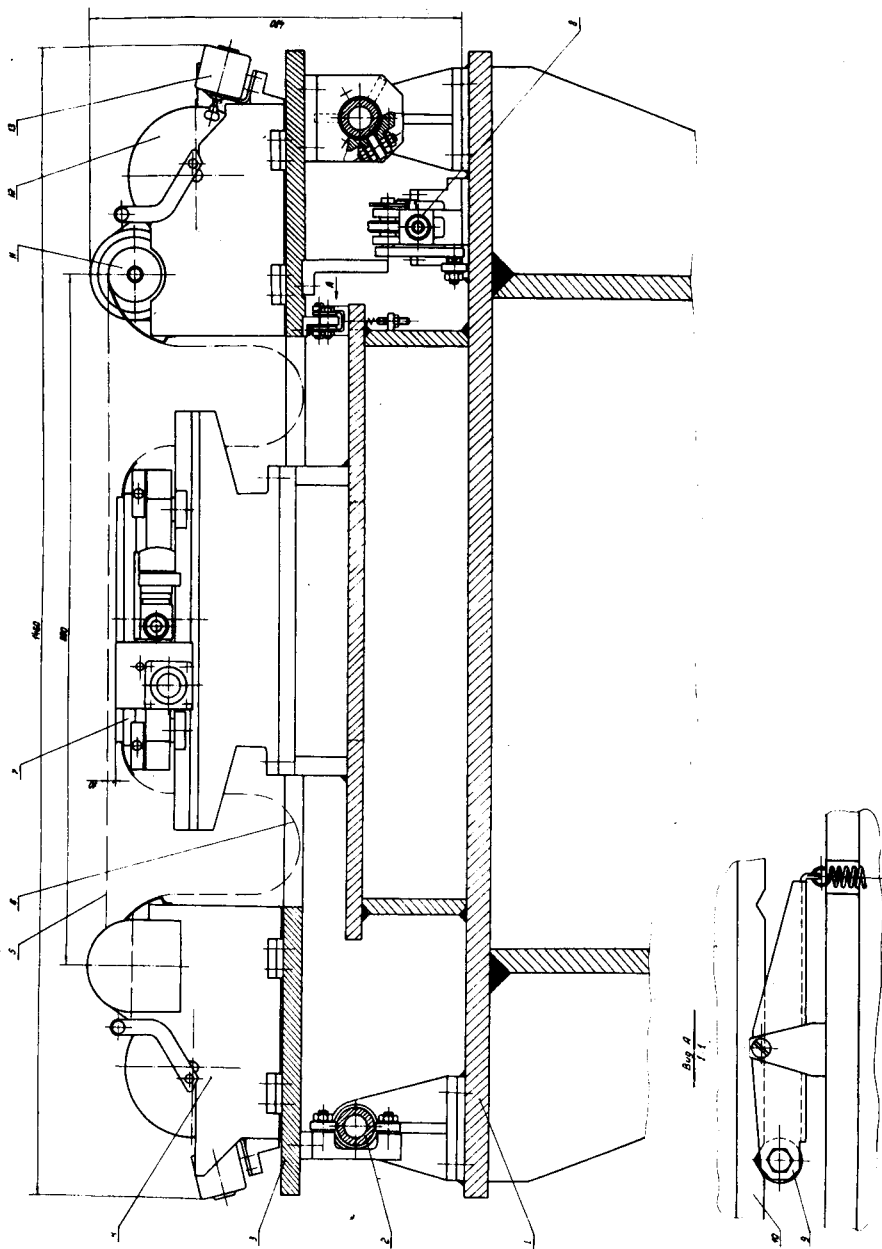


Рис. 6. Узел смены проекций.

### 2.3. Устройство получения спиральной развертки (перископ)

Общий вид перископа показан на рис. 7. Корпус его 4 монтируется на станине установки СИ и является несущим. Внутри корпуса в радиально-упорные подшипники 3 посажен барабан 10 с направляющими. Зазор в подшипниках выбирается пружинной шайбой 6. Сверху на барабан посажен маховик 1 с зеркалом и шкивом. Барабан 10 вместе с маховиком 1 через ременную передачу приводится во вращение электродвигателем. В нижней части барабана смонтирован диск отсчета угла поворота с 32400 щелями и зеркало датчика нуля. Фотозлектрическое устройство 7, считывающее данные с диска и регистрирующее сигналы датчика нуля, установлено на корпусе 4.

В направляющих барабана 10 установлена каретка 2, которая вращается вместе с барабаном и может также перемещаться по направляющим поступательно вдоль его оси. В верхней части каретки 2 смонтирована легкоъемная пластина со щелью, посредством которой сканируется спроецированное на перископ изображение. Внутри каретки смонтирована оптическая система, передающая световой поток на ФЭУ-5. Предусмотрена возможность изменения размеров щели, исходные данные которой равны  $675 \times 27 \text{ мкм}^2$ . При необходимости пластина со щелью может быть заменена пластиной с отверстием. Предусматривается также возможность установки двух расположенных рядом сканирующих щелей, световой поток от каждой из которых выведен на отдельный ФЭУ. В этом случае внутри каретки 2 монтируется специальная оптическая система для транспортировки на отдельные ФЭУ двух отдельных световых потоков.

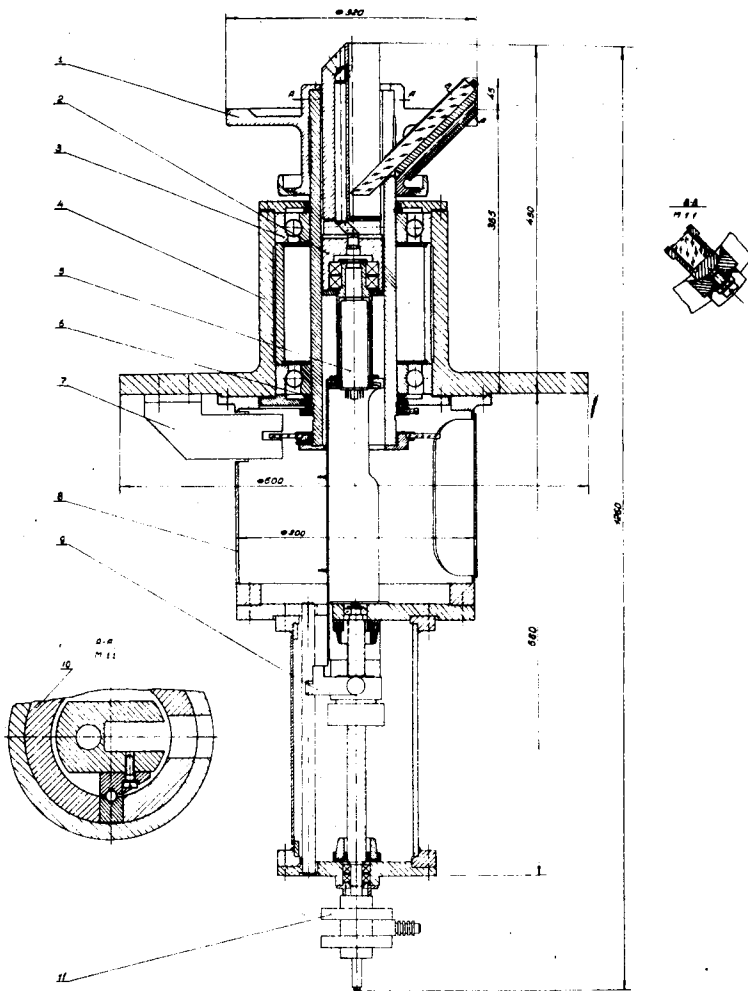


Рис. 7. Общий вид перископа.

Перемещение каретки 2 осуществляется электродвигателем при помощи винта с шариковой гайкой 9. Полная величина перемещения каретки составляет 180 мм, величина рабочего перемещения равна 150 мм. Поступательное движение гайки передается на каретку 2 через тонкостенную трубку (упругая связь), корпус ФЭУ 5 и радиально-упорные шарикоподшипники. Каждое крайнее положение гайки ограничено двумя конечными выключателями (нормальным и аварийным) и дополнительно резиновыми демпферами. Пара винт-гайка и тонкостенная трубка смонтированы внутри несудега кожуха 8. Шаг винта равен 5 мм, с осью винта связан датчик нулевого положения каретки 2 (в этом положении центр сканирующей щели совпадает с полюсом спиральной развертки) и узел отсчета радиальной координаты II. Узел отсчета радиальной координаты представляет собой фотоэлектрический преобразователь угол-код последовательного счета, на отсчетном диске которого нанесено 250 щелей.

#### 2.4. Оптическая схема СИ

Принципиальная оптическая схема СИ показана на рис. 8. Высокоточное полупрозрачное зеркало 5, объектив 6 (Апо-Тессар 9/375), объектив 8 (Апо-Герминар 9/300) и зеркало 7 входят в состав узла проекционных объективов. Полупрозрачный слой зеркала 5 расположен на плоскости, обращенной в сторону объектива 8. Осветительная система, состоящая из конденсора I, зеркала 2 и теплофильтра 3, располагается внутри станины СИ. Линзы 4 монтируются на плате измерительного стола. Зеркало 15 устанавливается на отдельном кронштейне над обзорным экраном. Видимая на обзорном экране часть изображения снимка ограничена кругом с диаметром, равным 1300 мм; увеличение изображения на экране 10-кратное. Полупрозрачный слой высокоточного зеркала 9 расположен на плоскости, обращенной в сторону перископа. Увеличение изображения



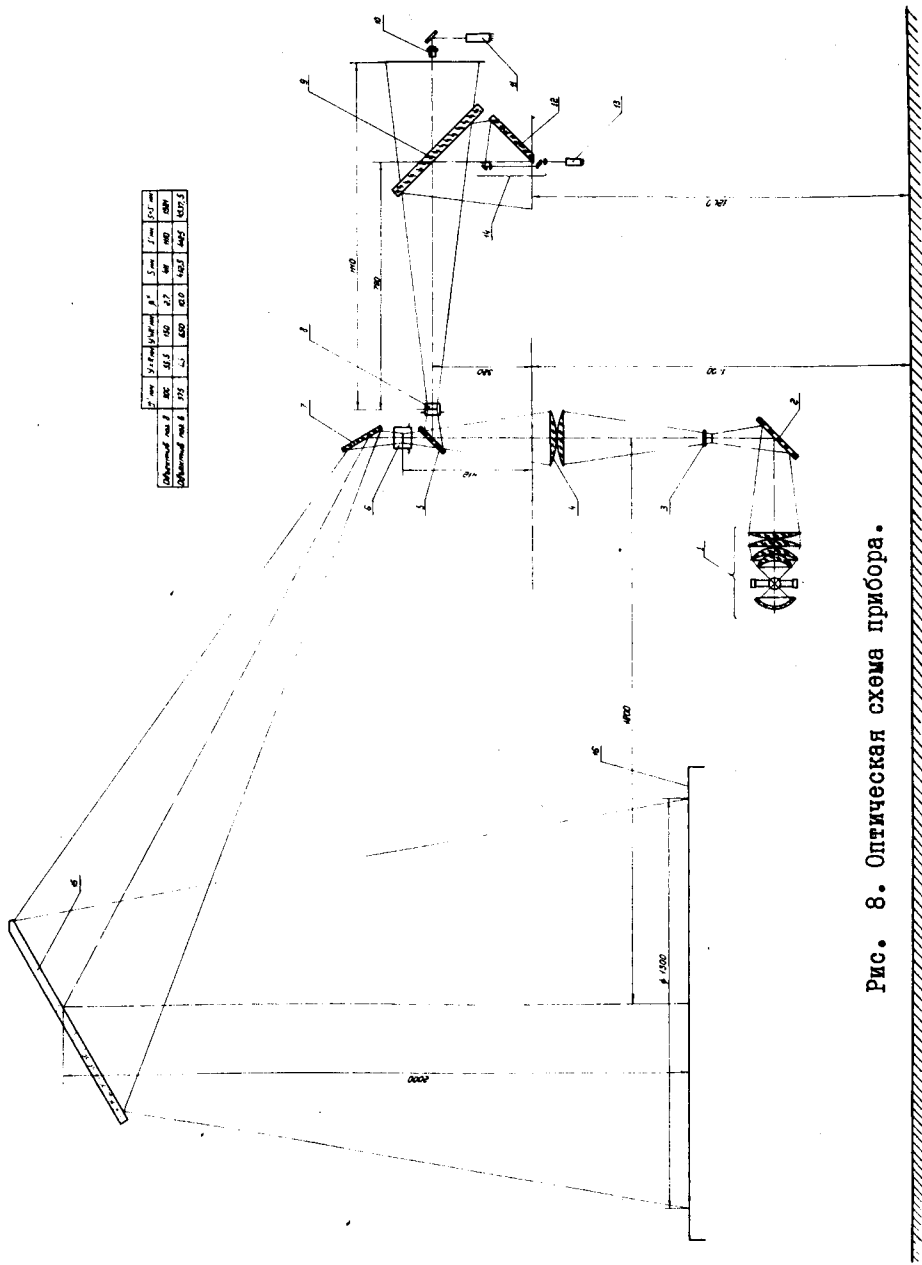


Рис. 8. Оптическая схема прибора.

снимка в плоскости перископа и в плоскости измерения реперных крестов примерно 2,7-кратное. Объектив I0 дает 8-кратное увеличение изображения, суммарное увеличение изображения снимка в плоскости фотокатода видикона II примерно 22-кратное. Высокоточное зеркало I2, оптическая система I4 и ФЭУ I3 входят в состав перископа. На все поверхности оптических деталей, расположенные на пути светового потока, должно быть нанесено просветляющее покрытие.

#### 2.5. Применение стекловолоконной оптики в конструкции оптико-механической части СИ

Использование стекловолоконной оптики позволяет упростить конструкцию отдельных узлов оптико-механической части СИ. Если сканирование снимка осуществляется двумя параллельными, рядом расположенными целями, то возникает необходимость размещения в перископе двух отдельных фотодатчиков (ФЭУ) трекового сигнала. Размещение двух отдельных фотоумножителей в перископе затруднительно. Однако использование гибкого стекловолоконного кабеля дает возможность осуществить передачу света из перископа, совершающего возвратно-поступательное движение, к неподвижным фотодатчикам, расположенным вне перископа. Кроме того, использование коаксиального стекловолоконного кабеля позволяет упростить задачу разделения световых потоков от двух целей.

На стадии дальнейшей разработки прибора предполагается изменить конструкцию узла измерения координат реперных крестов и измерение координат опорных крестов производить по изображению

снимка на обзорном экране стола оператора. Это позволит избежать лишнего разделения светового пучка осветителя и, следовательно, получить большую освещенность на столе. В связи с тем, что стекловолоконный кабель может быть изготовлен с входным отверстием в виде Х-образной маски, а выходным отверстием - круглой формы, использование стекловолокна в узле измерения координат реперных крестов позволит упростить конструкцию этого узла.

Применение стекловолокна для вывода на стол оператора изображения номера кадра пленки, установленного в (фильмовом) канале, а также использование стекловолоконных кабелей в узле смены проекций для схем остановки пленки по меткам Бренера, позволяет не только упростить конструкцию этих узлов, но и облегчить эксплуатацию прибора в целом.

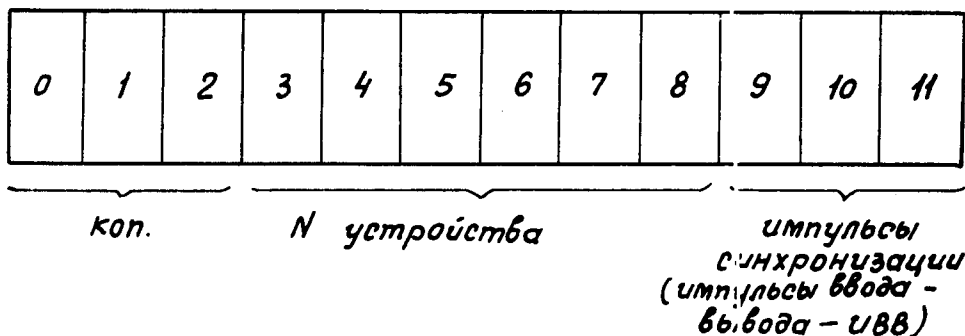


Рис. 9. Формат команды ввода-вывода.

### III. Программа управления СИ и характеристики ЭВМ

ЭВМ должна сбрасывать следующие потоки информации в СИ:

1) Обмен информацией между ЭВМ и оператором. На пульте оператора имеются десять кнопок управления, при помощи которых происходит смена стереопрооекций, дается команда для начала спирального сканирования, производится измерение координат реперных крестов и т.д. Кроме того, на пульте управления оператора имеется телетайп и световое табло. В соответствии с приказом оператора ЭВМ выводит на световое табло служебные команды, информацию о состоянии лентопротяжного механизма и устройства перемещения стола, а также данные о состоянии других узлов прибора.

2) Поток информации между оптико-механической частью и электронными устройствами. Этот поток составляют команды управления механизмами и необходимые числовые данные. В СИ большинство операций управления, связанных с подготовкой к процессу измерения, а также сам процесс выполняются автоматически.

К числу таких операций относятся: а) управление перемещением кареток измерительного стола по направлениям осей X, Y - координат;

- б) управление движением каретки перископа;
- в) управление лентопротяжными механизмами;
- г) нахождение нужного кадра на данной пленке;
- д) измерение координат реперных крестов.

3) Поток информации с датчиков, поступающий в процессе спирального сканирования, передача этой информации в оперативную память ЭВМ и запись ее на магнитную ленту.

Все функции по обработке вышеперечисленных потоков информации осуществляются программой управления, которую следует рас-

смагивать как составную часть установки СИ. Очевидно, что качество выполнения этих функций, а также соотношение между программой управления и схемными частями прибора зависит от параметров управляющей ЭВМ. Чтобы получить требуемые параметры ЭВМ, нужно проанализировать структуру информационных потоков. Так как отдельные блоки СИ выступают в качестве внешних устройств ЭВМ, то последняя должна иметь развитую систему команд для управления и обмена данными с устройствами ввода-вывода. Требования к скоростным характеристикам машины (время выполнения операции, время обращения к оперативной памяти машины и т.д.) определяются заданными скоростями поступления данных из отсчетного канала СИ в процесс спирального сканирования. Анализ точностных характеристик СИ показал, что для записи информации, отвечающей одному пересечению сканирующей щели с каким-либо следом события, необходимо использовать не менее 48 двоичных разрядов. Из них для записи угловой координаты  $\theta$  - 17 разрядов, информации о ширине следа  $\Delta\theta$  - 8 разрядов, линейной координаты  $R$  - 15 разрядов, данные об амплитуде видеоимпульса следа - 4 разряда и, наконец, нужно иметь 4 разряда для записи служебной информации.

Если разрешение прибора будет составлять около 15 мкм по пленке, то максимальная скорость поступления информации будет приблизительно равна 8-9 мксек на одно 48-разрядное слово, при скорости вращения перископа, равной 600 об/мин. и максимальном радиусе спирали, равном 55 мм. Таким образом, время обращения к оперативной памяти машины должно быть не больше 8 мксек при обмене 48-разрядными словами. Если же время обращения к памяти ЭВМ больше, то отсчетный канал СИ должен иметь буферную память.

### 3.1 Основные характеристики управляющей ЭВМ

Разработка проекта СИ проведена в предположении, что в качестве управляющей ЭВМ в СИ будет использована вычислительная машина, имеющая следующие характеристики /7/:

- 1) Система счисления - двоичная
- 2) Длина слова - 12 разрядов
- 3) Емкость оперативного запоминающего устройства - до 32 К
- 4) Организация памяти - страничная
- 5) Цикл памяти - 1,5 мксек
- 6) Количество основных команд - 65
- 7) Общее число команд - до 200
- 8) Число подключаемых внешних устройств - 64
- 9) Система прерывания - с программным приоритетом
- 10) Быстрый канал обмена данными имеет скорость до  $7,9 \cdot 10^6$  бит/сек
- 11) Программный канал обмена данными имеет скорость  $1,77 \cdot 10^6$  бит/сек.
- 12) Уровни сигналов: 0 в и -3 в.
- 13) Рабочая температура окружающей среды  $10+35^{\circ}\text{C}$ . Охлаждения не требуется.

Программное обеспечение машины включает в себя трансляторы с символических языков, библиотеку служебных подпрограмм и набор тестовых программ. ЭВМ должна иметь следующее оборудование ввода-вывода:

- 1) Телеаппаратура
- 2) Магнитофоны и мультиплексор обмена.
- 3) Экран визуального контроля и наблюдения на ЭЛТ с запоминанием.

### 3.2. Обмен информацией по каналу программного прерывания.

Передача данных по этому каналу управляется с помощью команд ввода-вывода. Формат команды ввода-вывода показан на рис.9. Разряды 0, 1 и 2 предназначены для определения кода команды ввода-вывода, разряды с 3-го по 8-ой служат для определения номера внешнего устройства, с которым будет проводиться обмен информацией, и в зависимости от значений 9-11 разрядов этой команды формируются синхронизирующие импульсы ввода-вывода (ИВВ). Эти импульсы определяют во внешнем устройстве момент исполнения команд управления и момент начала передач данных. На рис. 10 приведена типичная логическая схема построения блока сопряжения внешнего устройства с ЭВМ по каналу программного прерывания.

Блок сопряжения должен иметь дешифратор на 6 входов, три шины для приема ИВВ, две шины управления (для сигналов прерывания и пропуска), триггер состояния, а также вентили для приема и выдачи 12-разрядных слов. Обмен информацией с ЭВМ осуществляется через сумматор.

При поступлении в ЭВМ сигнала прерывания выполнение основной программы приостанавливается, и начинает выполняться программа обслуживания прерывания. Обращаясь последовательно к каждому внешнему устройству, эта программа определяет номер внешнего устройства, которое требует прерывания, что определяется по сигналу, пришедшему по шине пропуска. После этого начинает выполняться программа обслуживания данного устройства; и только после окончания этой программы возможно обслуживание сигналов прерывания от других внешних устройств. Однако программным способом может быть введен приоритет обслуживания прерываний.

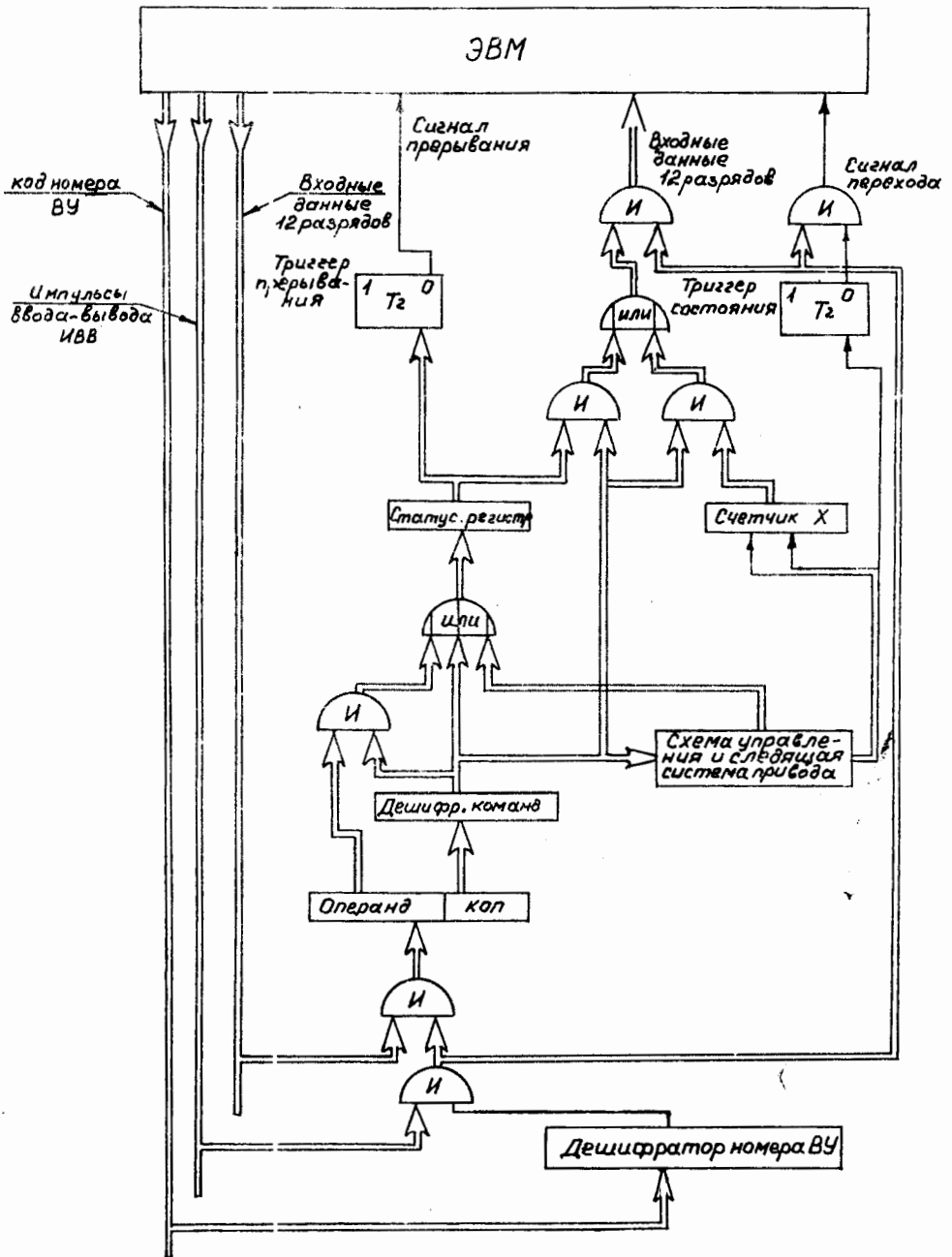


Рис. 10. Схема сопряжения внешнего устройства с ЭВМ по каналу программного прерывания.



### 3.3. Канал непосредственного доступа в память ЭМ

Этот канал используется для связи с быстродействующими внешними устройствами. К нему можно подключить до 7 внешних устройств через мультиплексор обмена. В ЭИ устройствами, подключенными к каналу непосредственного доступа, являются блок отсчетного канала и магнитофоны.

Во время передачи данных внешние устройства посылают в машину сигналы и информацию следующего характера:

1) Запрос на передачу.

2) Тип передачи. Режим непосредственной передачи бывает двух типов: одноцикловый и трехцикловый. При одноцикловом режиме внешние устройства выдают адрес для каждого кода данных, производят подсчет переданных чисел, чтобы определить конец передачи. При трехцикловом режиме для этих целей используются две ячейки оперативной памяти машины.

3) Сигнал о направлении передачи информации.

4) Сигнал запрета увеличения адреса. Этот сигнал используется в режиме трехцикловой передачи. Внешнее устройство может управлять последовательностью записи данных путем запрета изменения адреса записи.

5) 12-разрядный адрес данных.

6) 12-разрядный код данных.

В свою очередь машина передает внешнему устройству следующую информацию и сигналы:

1) 12-разрядный код данных.

2) Сигнал приема адреса.

3) Сигнал переполнения счетчика слов. Этот счетчик используется в режиме трехцикловых передач. Сигнал переполнения

используется внешним устройством для окончания режима передачи.

4) Временной синхронизирующий сигнал, который управляет собственно передачей данных.

Для того чтобы передать данные по каналу непосредственного доступа в память, внешнее устройство должно выполнить следующие операции:

1) Установить адрес в адресном регистре.

2) Установить код на входном регистре, если данные будут передаваться в ЭВМ, или подготовить управляющие цепи для приема данных из машины.

3) Определить направление передачи.

4) Определить тип передачи. (Одноцикловый или трехцикловый)

5) Выдать сигнал запроса.

На рис. 11 показана структурная схема блока сопряжения для работы по каналу непосредственной передачи данных в одноцикловом режиме. Все операции, перечисленные выше, с первой по 4-ую должны быть выполнены до подачи сигнала запроса. Получив сигнал запроса, ЭВМ заканчивает выполнение текущей команды и вырабатывает импульс приема адреса. Показания адресного регистра внешнего устройства заносятся в регистр адреса ЭВМ, а буферный регистр памяти машины подготавливается для приема данных из внешнего устройства.

В режиме трехцикловой передачи сопряжение внешнего устройства может не иметь регистра адреса и счетчика слов. Вместо этого регистра и счетчика используются две ячейки памяти ЭВМ. Этот режим удобен в случае работы с несколькими внешними устройствами, так как не требует дополнительных электронных схем для каждого внешнего устройства. При режиме трехцикловой пере-

дачи после получения запроса ЭВМ считывает из фиксированного адреса памяти показания счетчика слов, затем это показание увеличивается на единицу и снова запоминается в памяти машины по тому же адресу. Из ячейки памяти по адресу на единицу больше предыдущего считывается и передается в регистр адреса памяти значение текущего адреса данных. Затем происходит собственно передача данных. После этого текущий адрес данных увеличивается на единицу. Окончание передачи определяется по импульсу переполнения счетчика слов.

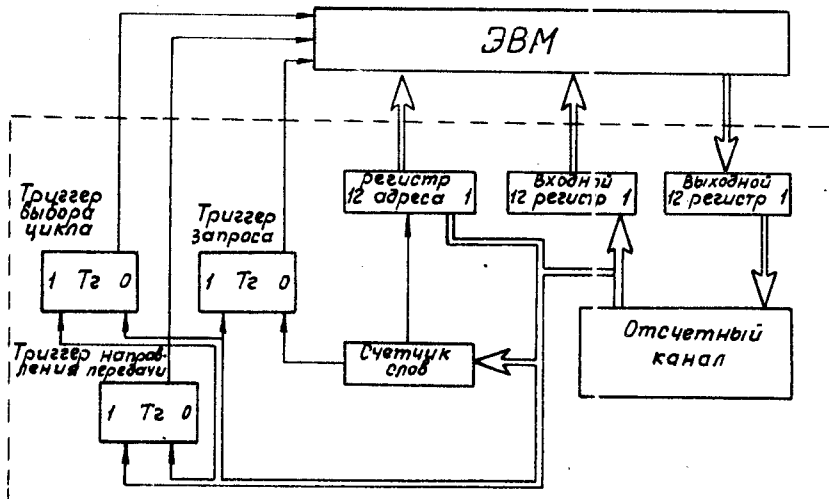


Рис. II. Схема сопряжения внешнего устройства с ЭВМ по каналу непосредственного доступа.

#### IV. Основные электронные блоки СИ

Электронные блоки СИ осуществляют связь исполнительных элементов и датчиков оптико-механической части СИ с ЭВМ и обеспечивают выполнение команд, вырабатываемых программой управления. К числу основных электронных блоков относятся (см.рис.1):

- 1) Блоки управления перемещением кареток измерительного стола по направлениям осей координат  $X, Y$  ;
- 2) блок управления перемещением каретки перископа;
- 3) блок управления узлом смены проекций;
- 4) электронные узлы пульта управления и контроля;
- 5) блок измерения координат реперных крестов;
- 6) отсчетный канал.

Связь электронных блоков с ЭВМ осуществляется по каналу программного прерывания, исключая отсчетный канал, который передает координаты точек пересечения щели со следом измеряемого события, получаемые в процессе спирального сканирования, по каналу непосредственного доступа в память ЭВМ.

Прямые связи между отдельными электронными блоками СИ отсутствуют, а согласованное функционирование всего комплекса аппаратуры задается программой управления. Электронные блоки совместно с узлами оптико-механической части СИ образуют системы автоматического регулирования, обратные связи которых замыкаются через ЭВМ<sup>/4/</sup>.

#### 4.1. Управление перемещением кареток измерительного стола

Управление перемещением кареток измерительного стола может осуществляться с помощью систем автоматического и ручного регулирования (см. рис. 12). В автоматическом режиме обратная связь замыкается через ЭВМ. В зависимости от величины необходимого

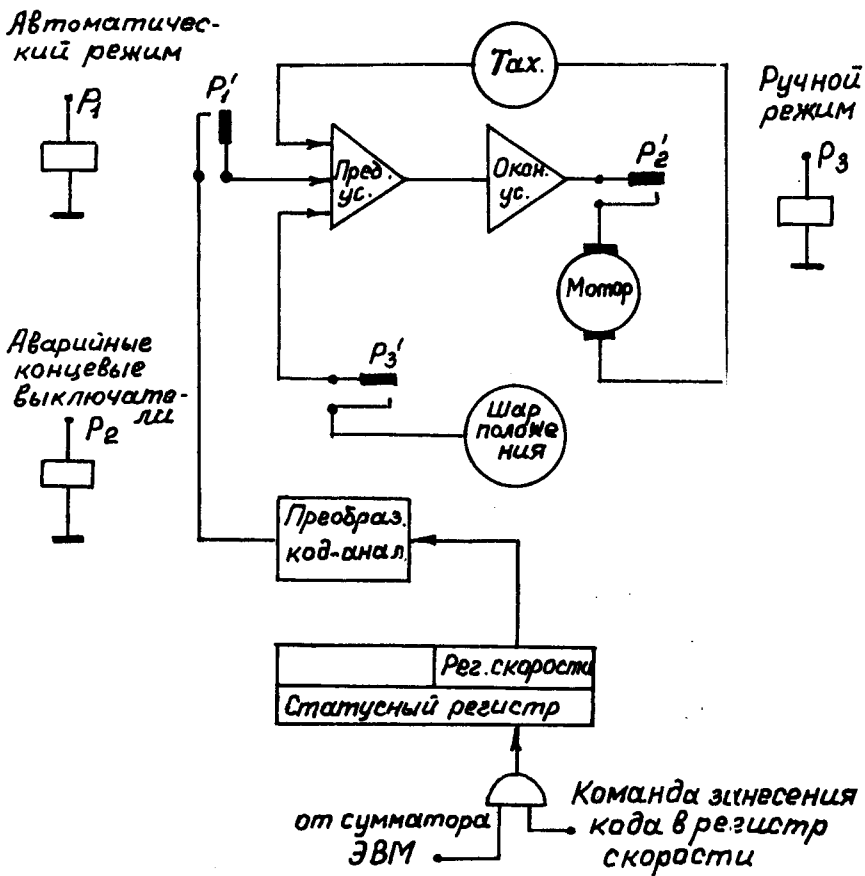


Рис. 12. Следящая система привода перемещения кареток измерительного стола по направлению оси координаты X.

перемещения кареток измерительного стола, ЭВМ задает значение скорости, посылая соответствующие значения кода на регистр скорости. Регистр скорости имеет 4 разряда, из них 3 используются для того, чтобы иметь 8 градаций скорости, а один разряд определяет знак перемещения. Выход регистра скорости соединен с преобразователем код-аналог, выходной сигнал которого поступает на вход следящей системы привода измерительного стола. Эта следящая система представляет собой блок регулирования скорости электродвигателя, в котором обратная связь замыкается через тахогенератор.

ЭВМ периодически считывает показания счетчика положения по сигналу прерывания, который формируется по изменению состояния седьмого, девятого или одиннадцатого разрядов этого счетчика (см. рис. 13). В зависимости от разности между текущей и заданной координатами стола по командам из ЭВМ изменяется содержимое регистра скорости и уменьшается скорость движения стола. Останов кареток измерительного стола в точке с заданными координатами происходит при минимальной (центрирующей) скорости. Точность останова кареток измерительного стола в этом режиме составляет 100-200 мкм. Установка кареток измерительного стола (с точностью -  $2,5 \pm 5$  мкм) в заданном положении осуществляется оператором вручную с помощью "шара перемещения" (ШП). При этом контроль перемещения стола производится визуально путем наблюдения изображения снимка на экране ВКУ, размещенного на пульте управления и контроля. При ручном управлении оператор имеет возможность производить значительные перемещения стола, при этом контроль за перемещением ведется по изображению на обзорном экране. Для удобства работы оператора введена логарифмичес-

Во входной регистр ЭВМ

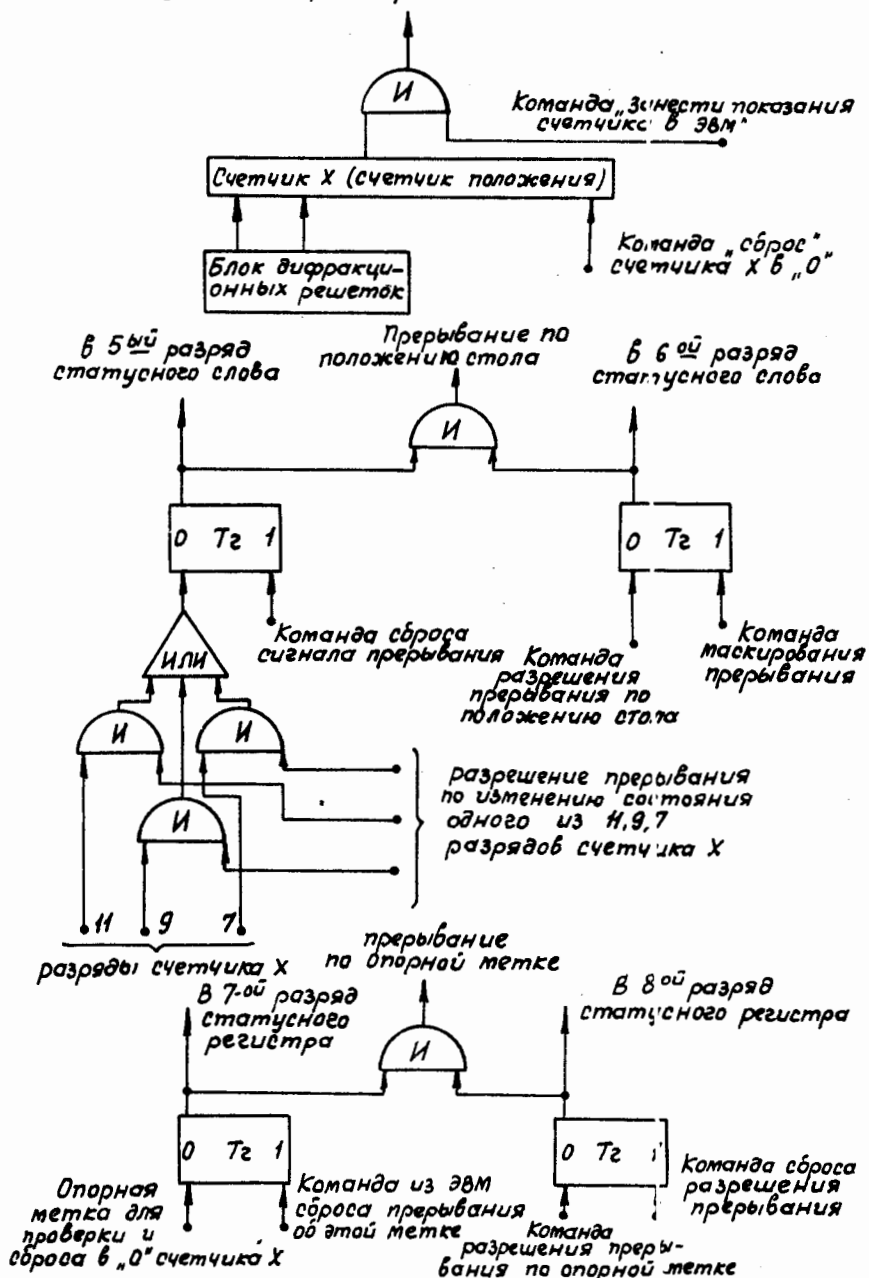


Рис. 13. Логическая схема связи ЭВМ и блока перемещения по направлению оси X.

ная зависимость между скоростью вращения "шара перемещения" и скоростью перемещения стола.

Принцип работы "шара перемещения" поясняется блок-схемой (см. рис. 14). Сигналы из фотоэлектрических преобразователей "шара перемещения" поступают в блок, определяющий направление вращения шара. Этот блок в зависимости от направления вращения выдает импульсы напряжения разной полярности, которые поступают на емкостные интеграторы. На последние, в свою очередь, поступают и сигналы с узла дифракционных решеток измерительного стола. Выходной сигнал интеграторов заставляет каретки двигаться в нужном направлении до тех пор, пока электрический заряд, сообщенный интегратору импульсами, приведенными от преобразователей "шара перемещения", не будет компенсирован электрическим зарядом противоположной полярности от импульсов, поступивших из блока дифракционных решеток измерительного стола. Постоянная времени интегратора должна быть больше постоянной времени срабатывания следящей системы привода.

Перемещение кареток стола по X- и Y- направлениям осей координат ограничивается четырьмя парами концевых выключателей. Крайние из этих выключателей являются аварийными: они снимают питание привода кареток стола, когда стол наезжает на один из них. Сигналы с этих выключателей заведены через схему сборки в один из разрядов статусного регистра и выдают сигнал "вызов оператора". Внутренние концевые выключатели изменяют полярность напряжения, подаваемого на привод стола, когда каретка стола касается одного из них. В этом случае каретка измерительного стола будет совершать возвратно-поступательное движение до тех



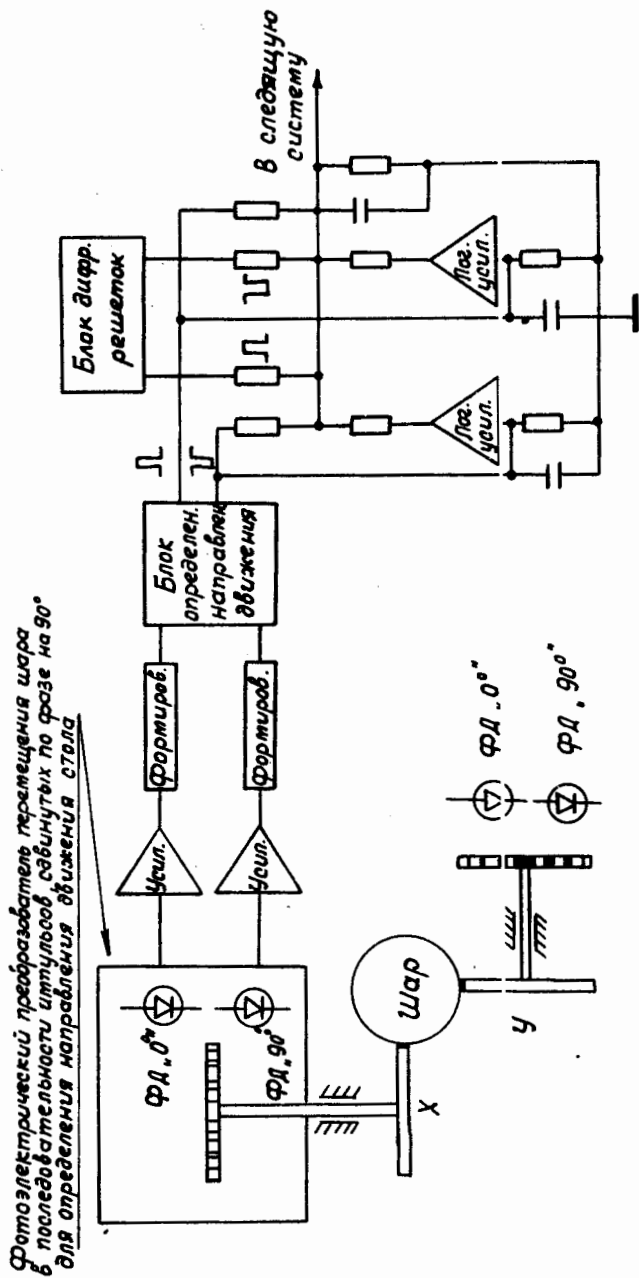


Рис. 14. Блок ручного перемещения кареток измерительного стола.

пор, пока не будет снято напряжение питания по команде из ЭВМ или оператором.

Блок перемещения стола снабжен оптико-механическим узлом, предназначенным для проверки показаний счетчиков положения (счетчиков  $X$ -,  $Y$ - координат ) и сброса их на ноль. Фотоэлектрический преобразователь этого узла выдает сигнал, когда стол находится в некоторой заданной точке с координатами  $X_0$ ,  $Y_0$ . Если показания счетчиков положения в этот момент времени не соответствуют действительным координатам стола, то в ЭВМ поступает сигнал прерывания. Этот сигнал может быть замаскирован соответствующей командой ЭВМ, которая запоминается в статусном регистре.

#### 4.2. Управление перемещением каретки перископа.

Блок управления перемещением каретки перископа служит для создания спиральной развертки. Вращаясь вместе с конусом, перископ совершает поступательное движение с переменной скоростью по оси конуса от его вершины до основания, в результате чего изменяется радиус спиральной развертки. Скорость поступательного движения каретки перископа задается программой управления. Логическая схема этого блока приведена на рис. 15, на котором показаны электронные узлы, относящиеся к схеме управления блоком и связи его с управляющей ЭВМ. Счетчик линейной координаты  $CI$  имеет 15 разрядов, что позволяет получить цену отсчета по

Фотодатчики диска счета кол-во оборотов пары гайка-винт преобразующей вращат. движение двигателя в поступат. движение перископа

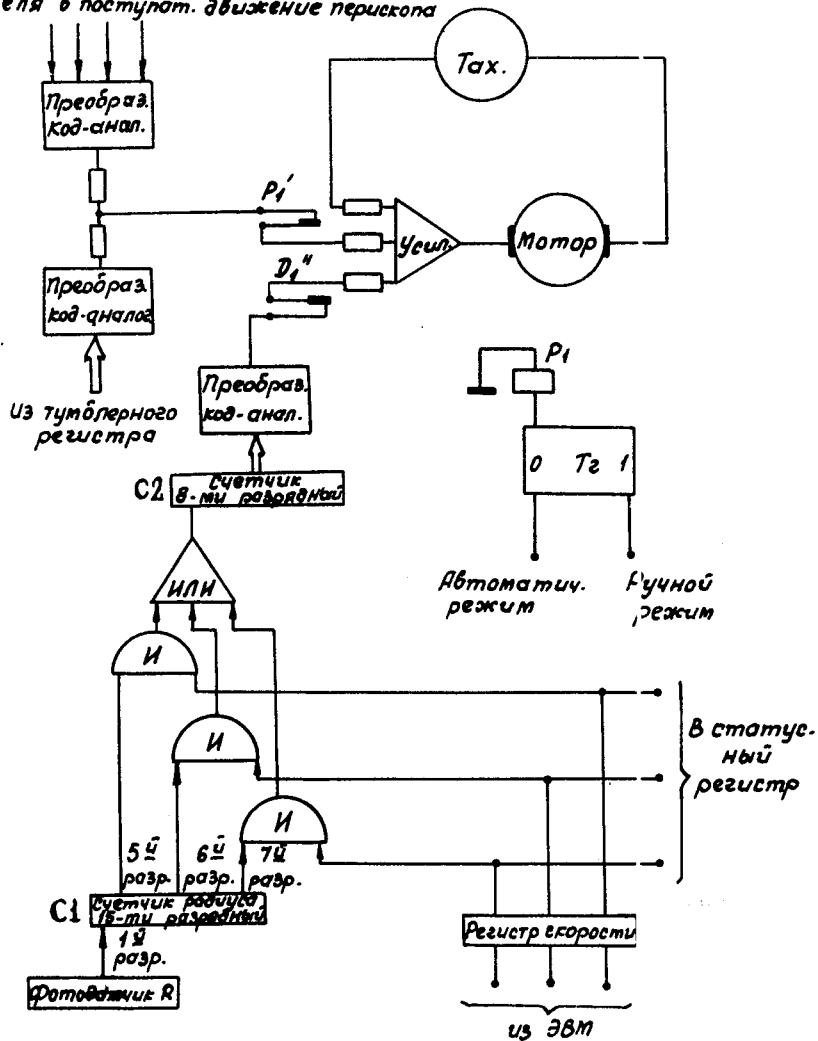


Рис. 15. Следящая система привода каретки перископа.

этой координате 2,5 мкм. На вход этого счетчика во время спирального сканирования поступают сигналы с фотоэлектрического преобразователя, трансформирующего вращательное движение вала двигателя перископа в последовательность импульсов напряжения.

Информация о состоянии блока управления движением каретки перископа содержится в статусном регистре, показания которого могут считываться в ЭВМ по командам программы управления. Значение каждого разряда статусного регистра приведено в таблице I.

По командам, поступающим из ЭВМ, может быть установлен автоматический или ручной режим работы. При автоматическом режиме работы управление скоростью движения каретки перископа производится в соответствии со значением регистра скорости, содержимое которого может изменяться по командам управляющей программы. Начальная скорость движения перископа определяется начальным состоянием счетчика  $C_2$ , выход которого соединен с преобразователем код-аналог. Напряжение с выхода преобразователя поступает на следующую систему привода электродвигателя перископа.

Для обеспечения с необходимой точностью заданного движения перископа счетчик  $C_2$  должен иметь 8 разрядов. В качестве входных импульсов этого счетчика используются импульсы переноса 5,6 или 7 разрядов счетчика линейной координаты  $C_1$  (см. рис.15) которые увеличивают содержимое счетчика  $C_2$  по мере движения перископа.

Увеличение показания счетчика  $C_2$  вызывает соответствующее увеличение напряжения на выходе преобразователя код-аналог, в результате чего увеличивается скорость движения перископа. Для

того чтобы увеличить или уменьшить скорость движения перископа, достаточно изменить частоту поступления импульсов на вход счетчика  $S_2$ , которая зависит от состояния регистра скорости. Если показания этого регистра останутся неизменными в течение всего времени развертки спирали, то перископ будет двигаться равноускоренно со скоростью, которая является линейной функцией времени.

При ручном управлении, необходимость в котором возникает при настройке и контроле работы блока управления перемещением перископа, можно получить 16 положений перископа между пределами его перемещения. Для этого на тумблерном регистре пульта управления (см. рис. 15) нужно задать положение перископа, т.е. значение координаты  $R$  в виде 4-разрядного двоичного кода. На выходе преобразователя код-аналог, соединенного с этим регистром, появляется сигнал рассогласования, который поступает на вход следящей системы привода перископа. Этот сигнал заставит каретку перископа перемещаться по оси конуса от вершины к его основанию до тех пор, пока на диске счета числа оборотов гайка-винт не возникнет значение кода, соответствующее значению, заданному на тумблерном регистре пульта управления. При этом сигнал на входе следящей системы исчезнет и каретка перископа остановится.

#### 4.3 Блок управления узлом смены проекций

Узел смены проекций СИ рассчитан на одновременную установку 4 рулонов пленки. Управление узлом смены проекций во вре-

мя работы СИ осуществляется по командам из ЭВМ, которые вырабатываются управляющей программой. По этим командам блок управления узлом смены проекций должен выбрать заданную пленку и найти на ней нужный снимок, обеспечить с точностью  $0,5 \pm 1$  мм остановку пленки на данном снимке, произвести прижим ее к измерительному столу и зафиксировать это состояние. Необходимая информация, полученная при предварительном просмотре и измерении фотографий событий, хранится на магнитной ленте в управляющей ЭВМ.

Электронные схемы управления - общие для всех 4 лентопротяжных механизмов и обслуживают их последовательно. Структурная схема блока управления узлом смены проекций приведена на рис. 16.

Процесс нахождения нужного снимка может быть совмещен во времени с процессом измерения координат реперных крестов или с процессом спирального сканирования.

После того как на каждом из 4 лентопротяжных механизмов пленки установлены в начальное положение и счетчик числа снимков сброшен на "0", оператор нажимает одну из 4 кнопок на пульте управления, соответствующую данному лентопротяжному механизму. По командам из ЭВМ значение кода, соответствующее разности между начальным номером снимка и тем номером, который должен быть найден, заносится в счетчик числа снимков, выход которого соединен с преобразователем код-аналог. Выходной сигнал преобразователя пропорционален показаниям счетчика и определяет скорость движения пленки. При движении пленки фотоэлектрический преобразователь вырабатывает импульсы напряжения, чис-



до которых равно количеству протянутых снимков. Эти сигналы поступают на вход счетчика снимков и уменьшают его значение. По мере протяжки пленки и уменьшения показания этого счетчика уменьшается сигнал на выходе преобразователя код-аналог, а следовательно, и скорость протяжки пленки. Остановка пленки на данном снимке происходит на малой скорости, что позволяет останавливать её по меткам снимка с точностью  $0,5 \pm 1$  мм. Счетчик числа снимков выдает сигнал "разность = 0", т.е. искомый снимок найден. Этот сигнал поступает на тормозные муфты, которые останавливают ведущие ролики, и на муфты, отключающие двигатели. После задержки, необходимой для полной остановки пленки, срабатывает прижимная рамка и происходит вакуумный присос пленки. Затем датчик давления воздуха выдает сигнал о том, что пленка прижата, прижимная рамка поднимается вверх, тормозные муфты отключаются, а двигатели подключаются к ведущим роликам и начинается процесс образования петель пленки. При этом на ведущие двигатели подается напряжение равной полярности, амплитуда которого обеспечивает передвижение пленки с минимальной скоростью.

Ведущие ролики имеют отсчетную систему, которая преобразует их вращение в последовательность импульсов напряжения. Количество этих импульсов пропорционально углу поворота ведущего ролика. Блок управления, отсчитывая эти импульсы, устанавливает петлю нужной длины, тормозит двигатели и выставляет сигнал прерывания, устанавливая соответствующий триггер статусного регистра в состояние "1". По этому сигналу ЭВМ может начинать следующую операцию по обработке данного кадра (например, измерять ко-



ординаты реперных крестов, перемещать стол до совпадения оптической оси перископа с вершиной измеряемого события и т.д.).

В это время следящая система блока фильмопротяжного механизма освобождается от приводов данного лентопротяжного устройства и может быть подключена к следующему.

Блок управления приводом лентопротяжных механизмов имеет узел регулировки напряжения, подаваемого на двигатели подмотки, в зависимости от количества ленты на приемной и подающей катушках. Каждый из двух двигателей подмотки имеет свой регистр, содержимое которого ЭВМ может менять в зависимости от количества ленты на катушках.

#### 4.4 Электронные узлы пульта управления и контроля

Этот пульт позволяет оператору контролировать процесс обработки события, управлять работой отдельных узлов СИ, обращаться к управляющей программе и получать инструкции из ЭВМ. На пульте управления имеется 10 кнопок, световое табло и осциллограф с запоминанием для вывода данных непосредственно из отсчетного канала, а также для вывода информации из ЭВМ. Пульт управления имеет статусный регистр и относится к нестандартным внешним устройствам, работающим с ЭВМ. При нажатии одной из управляющих кнопок соответствующий разряд статусного регистра устанавливается в положение "1", и выставляется сигнал прерывания в ЭВМ. Сигнал прерывания может быть замаскирован командой из ЭВМ. Управляющие кнопки снабжены световой индикацией. После того как управляющая

программа отреагировала на включение данной кнопки, ЭВМ сбрасывает соответствующий разряд статусного регистра в положение "0" и убирает световую индикацию этой кнопки. Кнопки "смена проекций" (их четыре), кнопка "измерение координат реперных крестов", кнопка "спиральная развертка", а также кнопка "измерение дополнительных точек" - имеют постоянное назначение и вызывают определенную последовательность операций СИ. Остальные три кнопки постоянного назначения не имеют, а назначение их (например: пропуск следующей команды, переход на другую команду и т.д.) может задаваться программистом. Сигналы с этих кнопок поступают в статусный регистр пульта управления и могут вызывать прерывание в ЭВМ. Логическая схема соединения управляющих кнопок приведена на рис. 17.

Световое табло пульта управления служит для того, чтобы оператор имел прямую связь с ЭВМ и получал стандартные инструкции от программы управления (например: перемерить кадр, перемерить событие, измерить на данном кадре координаты дополнительной точки и т.д.). Для передачи этой информации используется 4 разряда статусного регистра пульта управления.

По изображению измеряемого события в полярных координатах на экране осциллографа с запоминанием оператор имеет возможность визуально оценить работу канала и решить вопрос об измерении дополнительных (опорных) точек. Электронные схемы управления работой осциллографа имеют также выход на статусный регистр пульта управления.

*В статусный регистр фильмопротяжного устройства*

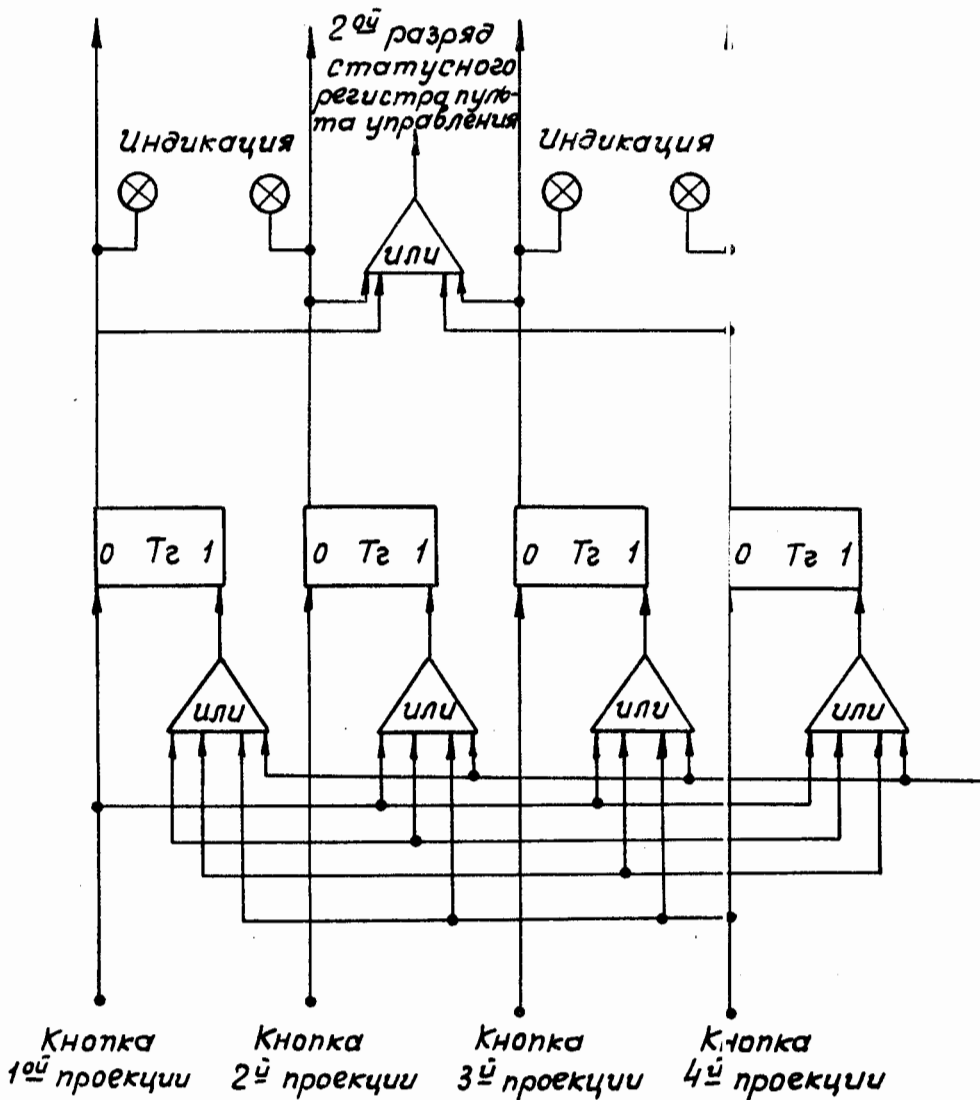


Рис. 17. Логическая схема соединения управляющих кнопок стола оператора.

## У. Отсчетный канал

Измерение координат точек пересечения сканирующей щели со следом изучаемого события производится в полярных координатах. Этот процесс полностью автоматизирован, поэтому функции оператора заключаются только в подготовке к измерению (совмещение оси перископа с вершиной заданного события на пленке, измерение координат дополнительных точек и т.д.). Все подготовительные операции выполняются оператором с помощью и под контролем управляющей программы и после окончания их оператор выдает команду для начала спирального сканирования. С этого момента управление работой СИ задается полностью программой, которая управляет передачей в память ЭВМ результатов отсчета координат точек пересечения сканирующей щели со следами события. Предварительная обработка этих данных производится в отсчетном канале, в котором определяются и кодируются данные об амплитуде трекового сигнала и его ширине, а также вычисляются угловые и линейные координаты точек пересечения сканирующей щели со следами. <sup>/5/</sup>

Ниже приводится описание логической схемы отсчетного канала СИ.

В процессе проектирования прибора авторами был также рассмотрен и другой вариант - более универсальный - схемы отсчетного канала, позволяющий уменьшить требования к электронным узлам ЭВМ. Схема этого канала описана в разделе 5.11.

## 5.1 Описание структурной схемы

В отсчетный канал, структурная схема которого приведена на рис. 18, поступают сигналы с фотодатчиков перископа. Угловая координата определяется с помощью счетчика  $\theta$ , на вход которого поступают сигналы с фотодатчика отсчетного диска, жестко связанного с вращающейся частью перископа. Сигналы на вход счетчика проходят через схему управления, назначением которой является временное согласование сигналов, выполнение функций контроля и записи данных в блок выходного регистра.

Для измерения линейной координаты  $R$  в перископе используется точный винт с отсчетным диском, сигналы с которого поступают в блок 3 регистрации координаты  $R$ .

Сигналы с трекового ФЭУ проходят фильтр, блок автоматической регулировки усиления (АРУ) и видеоусилитель (блок 4 рис. 18). Усиленный сигнал поступает на блок преобразователя код-аналог (6), который трансформирует входной видеосигнал трека в серию импульсов, количество которых пропорционально амплитуде видеоимпульса. Величина амплитуды импульса фиксируется на счетчике преобразователя код-аналог.

Блок 6 выдает преобразованную последовательность импульсов в блок 5, предназначенный для определения ширины  $\Delta\theta$ , данные о которой фиксируются в одном из счетчиков А или В. Сигналы с блока 6 также поступают и в блок 7 регулировки уровня дискриминации. Блок 7 в свою очередь связан с блоком (8) управления и синхронизации, который управляет переносом показаний всех счетчиков в блоках 2, 3, 5, 6 в выходной регистр (9).

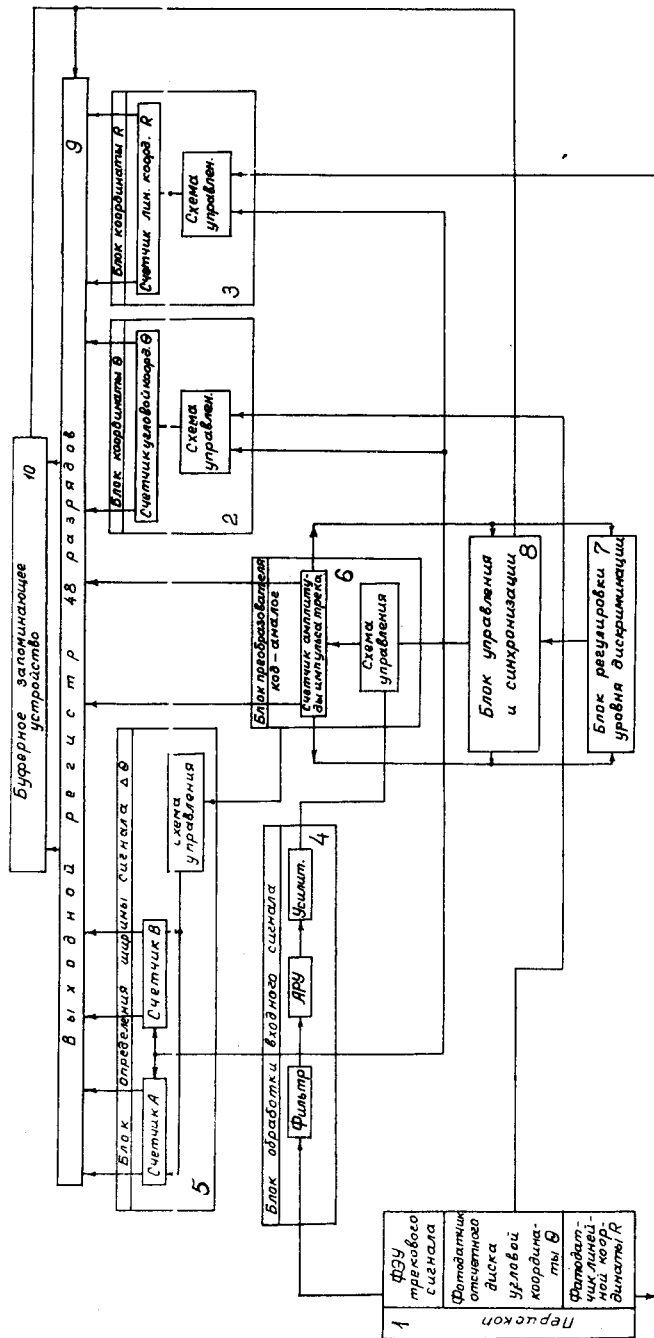


Рис. 18. Блок-схема отсчетного канала.

При наличии уровня входного сигнала, превышающего уровень дискриминации, блок 7 выдает команду на перенос данных из выходного регистра (9) в буферную память (10). Далее подробно будут рассмотрены отдельные блоки этой схемы.

### 5.2. Блок обработки входных сигналов

Трековый сигнал, полученный в результате модуляции изображением следа светового потока, проходящего через сканирующую щель, преобразуется в электрический сигнал и поступает в блок автоматической регулировки усиления (АРУ). Амплитуда видеосигнала на выходе ФЭУ зависит от многих причин (неравномерности освещения внутреннего объема камеры, бликов и др.). Аналогичные явления могут быть также вызваны дефектами фотоматериалов и неравномерностью освещения пленки в измерительном устройстве. В большинстве случаев амплитуда сигнала находится в прямой зависимости от уровня напряжения на выходе фотоумножителя. Это напряжение, соответствующее полному пропусканию светового потока пленкой, т.е. отсутствием на ней следов, в дальнейшем будет называться "белым".

Принцип действия рассматриваемого АРУ заключается в том, что сигнал на его выходе является отношением амплитуды сигнала от следа к амплитуде, соответствующей "белому" уровню. Блок-схема АРУ приведена на рис. 19. "Белый" уровень формируется интегратором, который убирает трековые сигналы. Эти сигналы выделяются дифференцирующей цепочкой. Оба сигнала поступают на вход делителя. Система АРУ и видеоусилитель являются нестандартными схемами, изготавливаемыми на транзисторах.

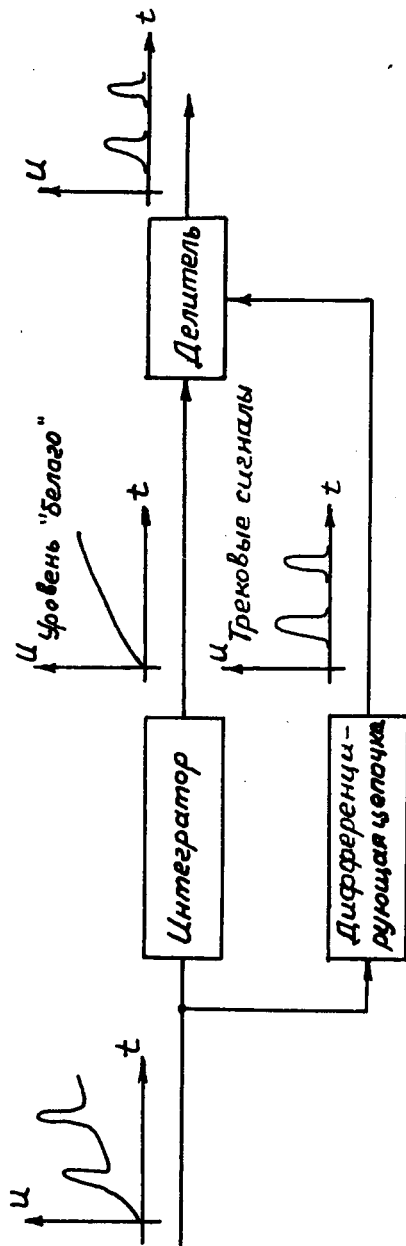


Рис. 19. Блок-схема АРУ.



### 5.3 Способ определения амплитуды и ширины трека

Сигналы с блока обработки видеосигнала трека имеют различную амплитуду, зависящую от плотности почернения трека и от наклона сканирующей щели по отношению к треку. Длительности фронтов видеоимпульса трека также различны и будут зависеть от текущего радиуса и угла наклона щели.

Принцип работы схемы определения ширины импульса, разработанный в Беркли (США)<sup>/5/</sup>, поясняется на рис.20.

На фронтах видеоимпульса трека по уровням напряжения, условно обозначенных 1, 2, 3, 4 и 5, пороговой схемой вырабатываются импульсы. Импульсы, соответствующие переданному фронту видеосигнала, сбрасывают поочередно каждый из счетчиков А или В в "0". Первым из импульсов на заданном фронте видеосигнала останавливается счет в том из счетчиков, который был сброшен в "0" предпоследним. В указанной на рис. 20 ситуации ширина трека будет зафиксирована на счетчике А. На выходы счетчиков А и В поступают импульсы с отсчетного диска угловой координаты  $\theta$ . Ширина трека определяется по максимальной амплитуде видеоимпульса. Работа схемы хорошо приспособлена для определения ширины трека, видеосигналы которого имеют переменные длительности фронтов. Количество импульсов, соответствующих переднему фронту видеосигнала, определяет амплитуду сигнала трека.

### 5.4. Блок преобразователя код-аналог

На рис. 21 приведена логическая схема преобразователя код-аналог. Видеосигнал положительной полярности поступает через схему, собранную на сопротивлениях  $R_1$  и  $R_2$ , выходной сигнал с которой пропорционален разности входных сигналов. Далее этот

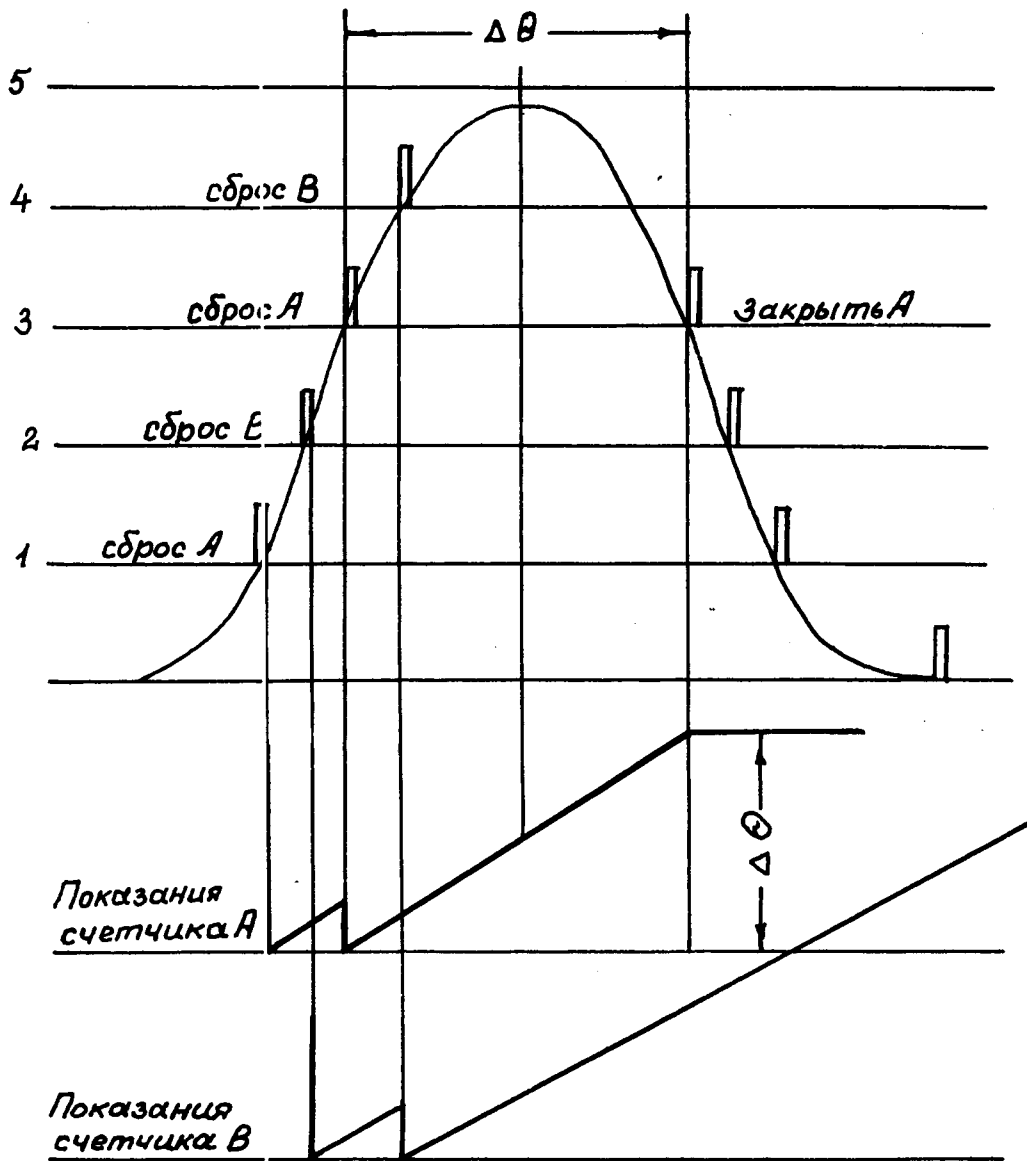


Рис. 20. Временная диаграмма, поясняющая принцип определения ширины трекового сигнала.

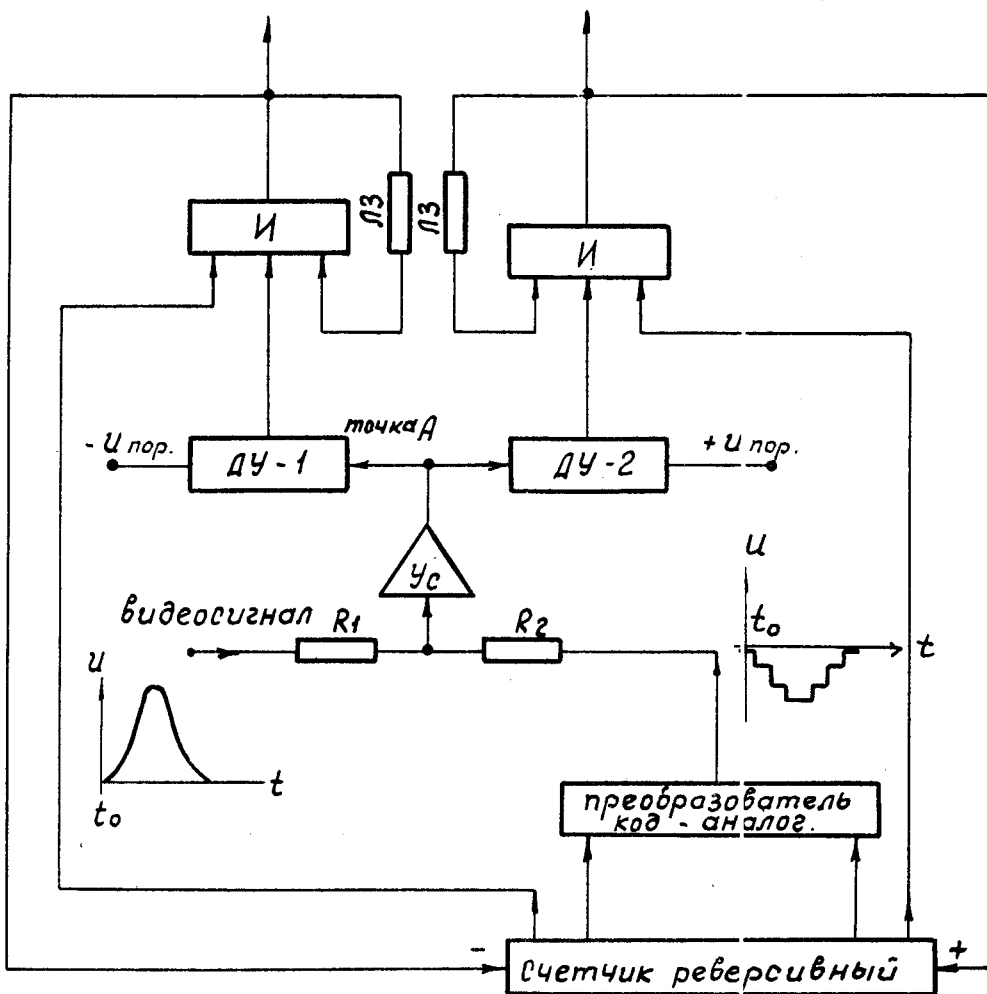


Рис. 21. Структурная схема преобразователя код-аналог.

сигнал усиливается и поступает на входы дифференциальных усилителей (компараторов) ДУ-1 и ДУ-2. Так как выход преобразователя в начальный момент времени имеет нулевой потенциал, а ДУ-2 имеет положительный порог срабатывания, то он выдает на выходе импульсы при нарастании трекового сигнала, т.е. на переднем фронте видеоимпульса. ДУ-1 имеет отрицательный порог срабатывания и выдает импульсы на заднем фронте видеосигнала. Для пояснения работы схемы на рис. 22 приведена временная диаграмма видеосигнала и импульсов в точке А. Эти импульсы поступают на вход реверсионного счетчика, показание которого преобразуется в соответствующий уровень потенциала в преобразователе код-аналог.

Блок собирается из микросхем на стандартных платах с использованием навесного монтажа. Требования к быстродействию элементов этого блока определяются следующим образом:

- 1) С учетом требуемого диапазона линейности амплитудной характеристики блока необходимо иметь порог срабатывания ДУ-1 и ДУ-2, равный 0,03 от максимальной амплитуды видеоимпульса.
- 2) При максимальной скорости движения светового пятна длительность импульса от трека шириной в 15 мкм будет равна по основанию примерно 9 мксек (длительность переднего и заднего фронтов видеоимпульса равна приблизительно 4 мксек).

Для максимальной амплитуды импульса быстродействие всех схем преобразователя код-аналог должно быть порядка 7 нгц.

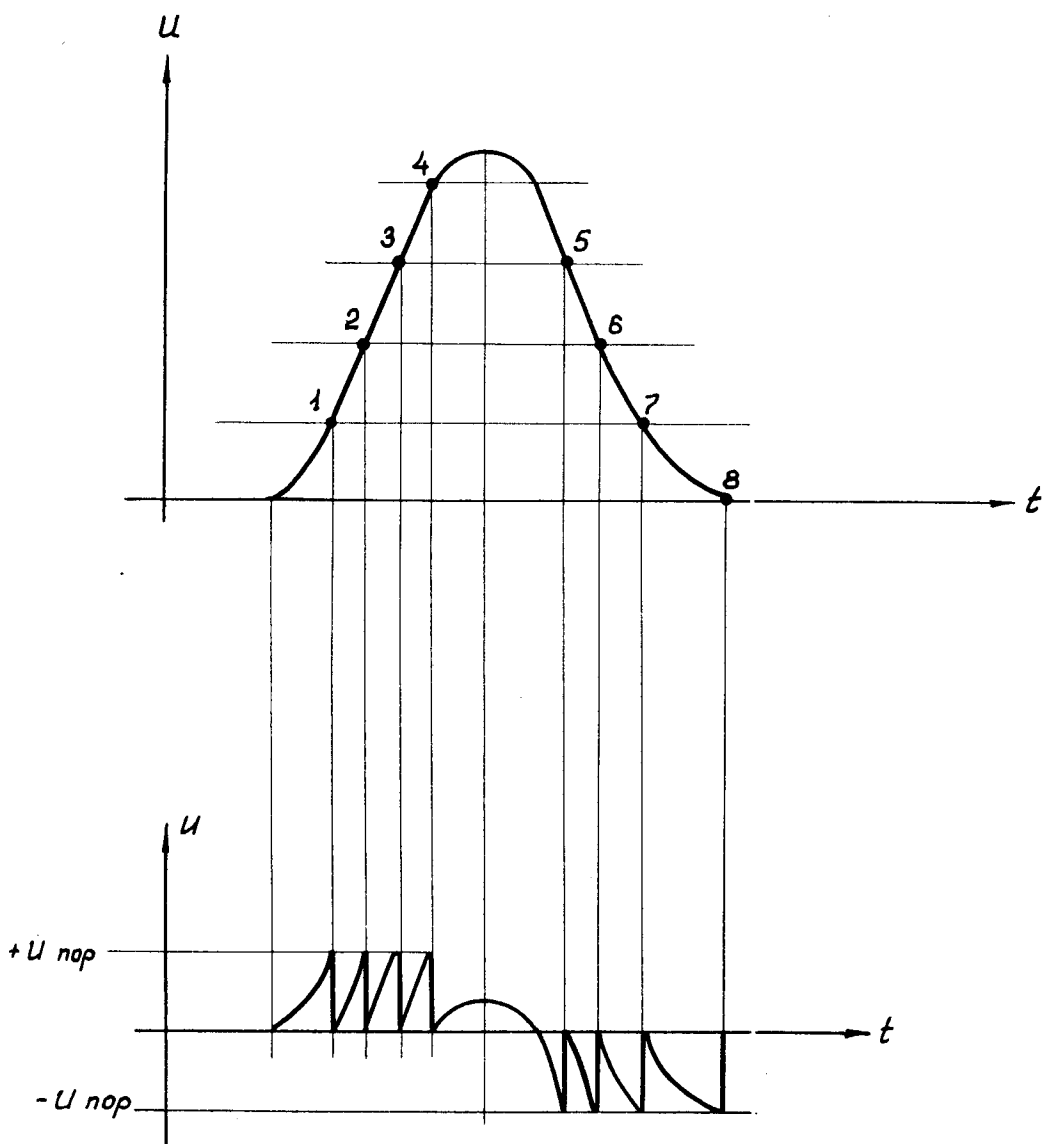


Рис. 22. Диаграмма напряжения в точке А преобразователя код-аналог.

### 5.5. Схема устройства для определения ширины трека

Импульсы, соответствующие переднему фронту видеосигнала, поступают (см. рис. 23) на счетный вход триггера  $F$ . Импульсы с входа обоих плеч триггера  $F$  поочередно сбрасывают в "0" счетчик А или В.

В течение времени, соответствующего длительности переднего фронта видеосигнала от трека, с триггера  $C$  поступает потенциал, разрешающий прохождение счетных импульсов  $\theta$  на входы счетчиков А и В.

При появлении первого импульса, соответствующего заднему фронту видеосигнала, триггер  $C$  запрещает прохождение счетных импульсов на вход того счетчика (А или В), который был сброшен на "0" предпоследним импульсом переднего фронта. Первым импульсом, соответствующим переднему фронту следующего трека, счетчики А и В возвращаются в исходное положение.

Быстродействие счетчиков А и В определяется частотой повторения импульсов отчета угловой координаты  $\theta$ , равной примерно 1,3 мГц. Максимальная частота сброса импульсов А и В составляет 3 мГц. С учетом последнего требования счетчики выполнены по схеме с параллельным переносом.

В связи с наличием таких несинхронных процессов, как счет импульсов угловой координаты и сброс счетчиков на "0" сигналами из блока преобразователя код-аналог в данной схеме, необходимо иметь блок синхронизации, обеспечивающий временное согласование этих процессов.

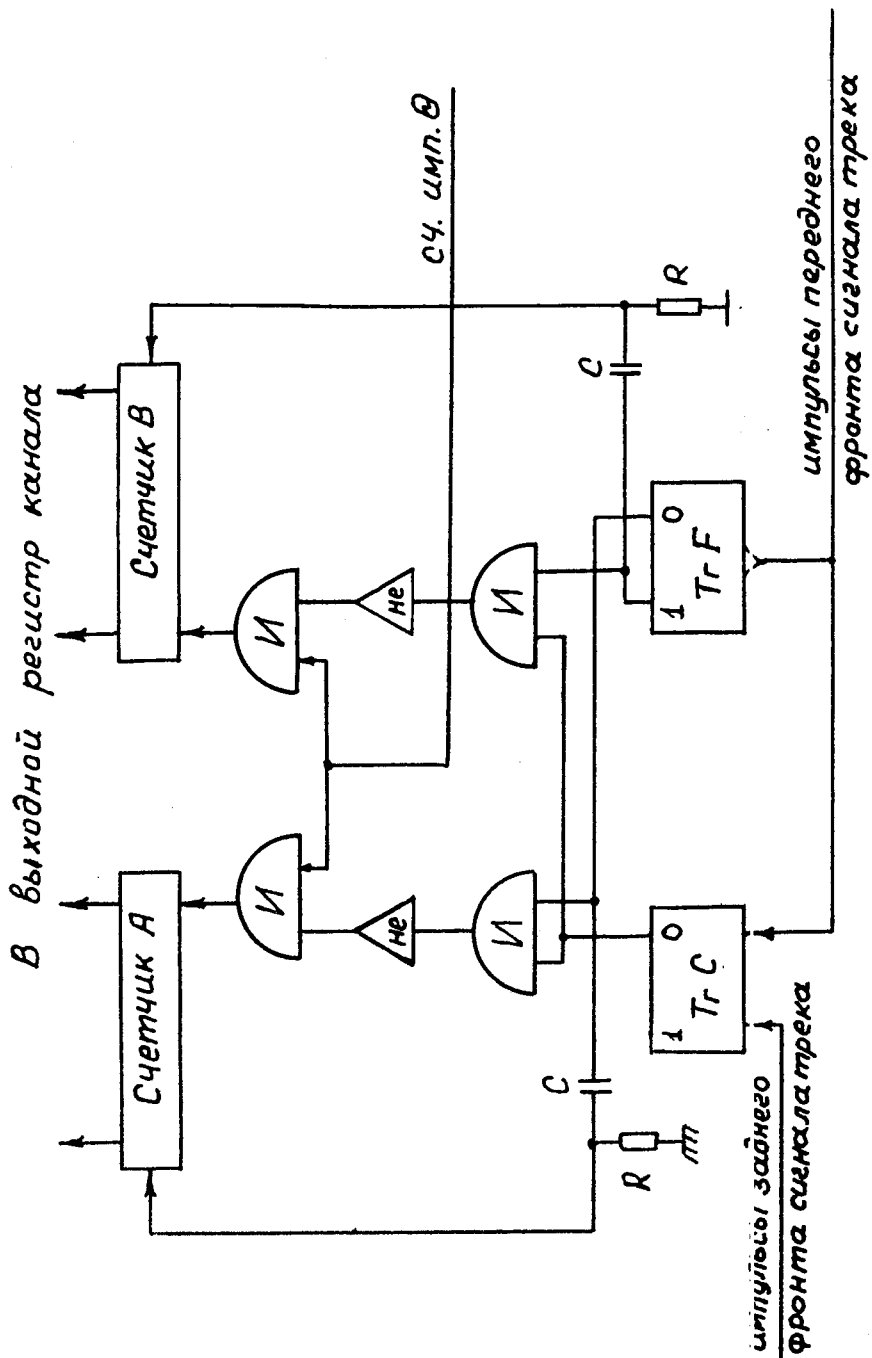


Рис. 23. Структурная схема блока определения ширины трека.

### 5.6 Схема устройства определения уровня дискриминации

Величина уровня дискриминации задается оператором с помощью тумблерного регистра, выходное значение которого подается на схему совпадения. На другие входы этой схемы поступают сигналы со счетчиков, показания которых пропорциональны количеству импульсов переднего и заднего фронтов видеосигнала от трека. Когда число этих импульсов равно величине, заданной на тумблерном регистре, блок дискриминации посылает сигнал для записи значений координат  $\theta$ ,  $\Delta\theta$ ,  $R$ ,  $H$  из выходного регистра в буферное запоминающее устройство. Кроме того, этот сигнал формирует импульс, запрещающий последующую запись координат в выходной регистр на время переходных процессов в БЗУ.

### 5.7 Схема блока временного согласования несинхронных процессов

В отсчетном канале "СИ" в процессе спирального сканирования происходят процессы, не синхронные во времени, например, отсчет угловой координаты  $\theta$ , формирование видеосигнала от трека и определение его амплитуды, отсчет линейной координаты  $R$  и т.д. Одновременно с этим процессом происходит передача данных в оперативную память ЭВМ и запись их на магнитную ленту.

Кроме того, для нормального функционирования отсчетного канала (отсутствия потерь информации) необходимо обеспечить требуемые приоритеты выполнения отдельных операций с минимальным "мертвым" временем (временем установления переходных процессов), которое определяет такой важный параметр, как разрешающая способность прибора.



В связи с высокими требованиями к частотным характеристикам ЭВМ, синхронизация и управление работой отсчетного канала не могут полностью осуществляться программой управления, в связи с чем основную роль по временному согласованию процессов должны выполнять электронные блоки этого канала.

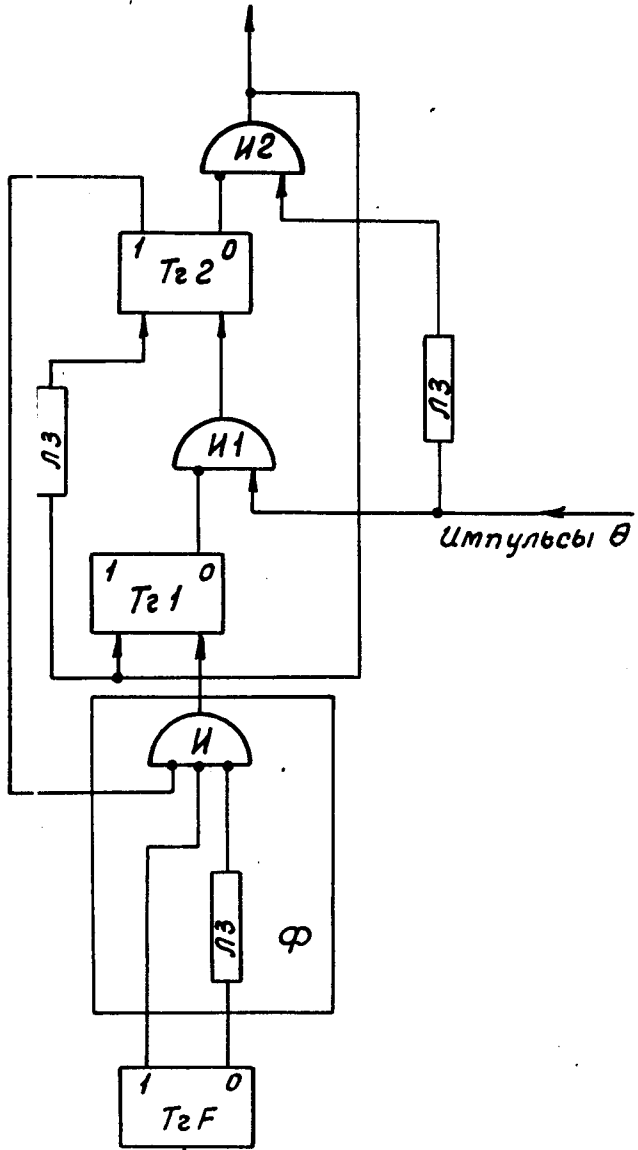
В основе построения схем согласования лежит принцип преобразования импульсного сигнала в потенциальный сигнал (логическая "1") с последующим стробированием синхроимпульсами. Конкретное логическое построение таких схем зависит от логики работы данного блока. Для уменьшения "мертвого" времени синхронизация

отсчетного канала осуществляется от сигналов отсчета угловой координаты (частота повторения этих сигналов равна 1,3 мГц).

В данном разделе приводится логическая схема блока временного согласования (рис.24) процессов, возникающих при определении ширины видеоимпульса трека, и рассматриваются два несинхронных процесса: сброс с частотой повторения до 3 мГц счетчиков А или В в нулевое положение и суммирование числа импульсов, которые поступают на вход этих счетчиков, частота повторения равна 1,3 мГц.

Сигналы сброса счетчиков на "0" поступают с выходов триггера (см. рис. 24). Положительный перепад напряжения, возникающий на одном из выходов триггера  $F$ , поступает на блок выделения переднего фронта и формирования из него стандартного импульса. Сигнал с выхода этого блока устанавливает триггер  $T_I$  в положение "1", подавая тем самым сигнал разрешения на вход схемы совпадения  $U_1$ , на другой вход которой поступают синхроимпульсы.

Импульсы сброса в "0" счетчика В



Импульсы переднего фронта видеосигнала трека

Рис.24. Логическая схема блока временного согласования.

Возможны две ситуации: 1) сигнал разрешения на входе схемы  $I_1$  возникает раньше синхроимпульса. Тогда на входе схемы  $I_1$  появится стандартный сигнал, который заставит сработать триггер  $T_2$ . Сигнал с выхода триггера  $T_2$  (логическая "1") дает разрешение на вход схемы совпадения  $I_2$ . На другой вход  $I_2$  после задержки, определяемой временем переходных процессов в  $T_2$  и  $T_1$ , поступает ничем не стробированный, а следовательно, и не искаженный синхроимпульс. Таким образом, на выходе схемы  $I_2$  возникает стандартный сигнал, жестко привязанный во времени к синхроимпульсам канала.

2) синхроимпульс на входе схемы  $I_1$  совпал во времени с разрешающим сигналом, вследствие чего на выходе схемы  $I_1$  возник нестандартный сигнал. Если этот сигнал заставит сработать триггер  $T_2$ , и разрешающий потенциал на входе схемы  $I_2$  установится, то задержанный синхроимпульс пройдет через эту схему совпадения, а на выходе  $I_2$  возникнет стандартный сигнал, как и в предыдущем случае.

Если неполноценный сигнал с выхода  $I_1$  недостаточен для срабатывания  $T_2$ , то разрешение для данного задержанного синхроимпульса на входе блока  $I_2$  не возникнет, и этот синхроимпульс не пройдет через блок  $I_2$ . И только следующий синхроимпульс, условия срабатывания для которого будут нормальными, выдаст стандартный сигнал сброса на выходе схемы  $I_2$ .

Счетными импульсами для счетчиков А и В являются те же импульсы с фотодатчика устройства регистрации угла поворота перископа  $\theta$ , но задержанные на время, необходимое для установления переходных процессов в счетчиках А и В после сброса их на "0".

Выходной сигнал схемы согласования с выхода  $I_2$  устанавливает  $T_I$  в исходное состояние, затем после задержки сбрасывает на "0" триггер  $T_2$ , возвращая схему в исходное состояние.

Общее время задержки в схеме должно быть меньше периода следования синхроимпульсов, чтобы триггеры  $T_2$  и  $T_I$  к моменту поступления следующего синхроимпульса возвратились в начальное состояние.

Частотные характеристики применяемых микросхем позволяют сделать эту задержку равной 300 нсек при периоде следования синхроимпульсов порядка 700 нсек.

### 5.8 Блок буферного запоминающего устройства

Для обеспечения необходимой разрешающей способности прибора (порядка 15 мкм по пленке) при максимальной скорости движения светового пятна 3,5 мкм/мксек время передачи в ЭВМ одного 48-разрядного слова, содержащего информацию о  $\theta$ ,  $\Delta\theta$ ,  $R$ ,  $H$ , не должно превышать 8 мксек. Если быстродействие ЭВМ позволяет обеспечить такую скорость обмена информацией, то СИ может работать непосредственно с ЭВМ без буферного запоминающего устройства.

При работе с ЭВМ, имеющей быстродействие хуже, чем 8 мксек на прием одного 48-разрядного слова, необходима разравнивающая память, полный цикл которой (то есть время записи и считывания) должен быть равен примерно 8 мксек на одно 48-разрядное слово.

Разравнивающая память должна хорошо согласоваться с интегральными микросхемами; это означает, что токи записи и считывания не должны превышать десятков миллиампер. Этим условиям удовлетворяет память на МОП-структурах (полевых транзисторах).

Входные сопротивления МОП-структур очень большие (до  $10^5$  ома), эти структуры хорошо согласуются с микросхемами по напряжению питания.

Если объем памяти небольшой (300-400 бит), то такая память может быть выполнена в виде триггерных регистров, собранных на микросхемах. В случае использования в качестве управляющей вычислительной машины ЭВМ типа РДР-8 и организации одноциклового режима ввода информации в оперативную память ЭВМ и выводе её на магнитную ленту, отпадает необходимость наличия в составе отсчетного канала буферной памяти. В этом случае уравнивание скорости поступления информации из отсчетного канала СИ и скорости записи её на магнитную ленту производится при помощи только оперативной памяти ЭВМ. При наличии достаточного объема памяти (12К) вся информация, полученная в результате спирального сканирования снимка, записывается в МОЗУ ЭВМ, а затем переписывается на магнитофон. Эта информация займет около 6К 12-разрядных слов, остальные 6К слов оперативной памяти предназначены для хранения программ управления /16/.

При использовании управляющей ЭВМ с меньшим объемом оперативной памяти возникает необходимость при записи информации в МОЗУ ЭВМ одновременно переписывать её на магнитную ленту. Возможность такого режима работы обеспечивается тем, что не смотря на высокую максимальную скорость поступления информации из отсчетного канала СИ, средняя скорость поступления информации невелика и составляет 2,6 мсек на одно 48-разрядное слово, что на порядок меньше скорости записи на магнитофон.

В таком режиме часть объема МОЗУ, отведенная под накопление данных, поступающих во время спирального сканирования, разбивается на два или больше равных по величине массива, в один из которых в данный момент времени производится только запись координат из отсчетного канала, из другого производится считывание и запись на магнитную ленту ранее записанных данных. Необходимый объем памяти, используемый в таком режиме для накопления информации определяется параметрами накопителя на магнитной ленте и организацией его работы. При работе накопителя в стартстопном режиме с 25% потерями ленты при старте и останове, ёмкость одной кассеты с магнитной лентой позволяет накапливать данные, полученные в течение 8 часов работы СИ. При этом необходимый для накопления данных объем памяти ЭВМ составляет  $2 \times 1500$  12-разрядных чисел. Остальные 5К ячеек МОЗУ ЭВМ используются для размещения программы управления и контроля.

#### 5.9. Блок измерения координаты R.

Логическая схема блока измерения координаты R приведена на рис. 25. На счетчик поступают импульсы с формирователя сигналов фотодатчика устройства отсчета радиуса. Реверсивный счетчик R, имеющий 15 разрядов, определяет линейную координату перископа, совершающего возвратно-поступательное движение. Ограничение перемещения каретки перископа производится с помощью двух пар концевых выключателей.

Устройство отсчета координаты R представляет собой два диска с нанесенными метками, жестко связанных с вращающейся

часть пары гайка-винт, которая преобразовывает вращательное движение в возвратно-поступательное. Фотодатчики диска, предназначенного для отсчета долей оборота, выдают сигналы, которые поступают на вход счетчика  $R$ . На этом диске есть метка, от которой формируется сигнал, соответствующий полному обороту диска. Другой диск, связанный с диском отсчета долей оборота через понижающую передачу, служит для отсчета количества оборотов.

По команде "Начало измерений" каретка перископа приходит в поступательное движение от исходного положения, определяемого нижним концевым выключателем.

При поступлении сигнала из фотодатчика первого диска, соответствующего концу первого оборота, и сигнала, соответствующего первому обороту, из фотодатчика второго диска формируется сигнал сброса счетчика на "0". После этого счетные импульсы, поступающие на вход счетчика  $R$ , формируют значение линейной координаты, и с дешифратора  $D$ , соединенного с выходом счетчика, формируется сигнал останова. Затем перископ начинает движение в обратном направлении до концевого выключателя, определяющего начальное положение каретки перископа.

Частотные характеристики блока координаты  $R$  определяются значением частоты счетных импульсов фотодатчика  $R$ ; эта частота примерно равна 50 кГц. Однако время установления переходных процессов в счетчике не должно значительно отличаться от времени записи в БЗУ, так как оно входит в общее "мертвое" время отсчетного канала, т.е. время, требуемое для передачи значений координат  $\theta$ ,  $\Delta\theta$ ,  $R$ ,  $H$  в БЗУ. Если цикл записи в БЗУ равен примерно 1 мксек, то и время переходных процессов в счетчике должно быть такого же порядка.

Блок буферной памяти (блок 10)

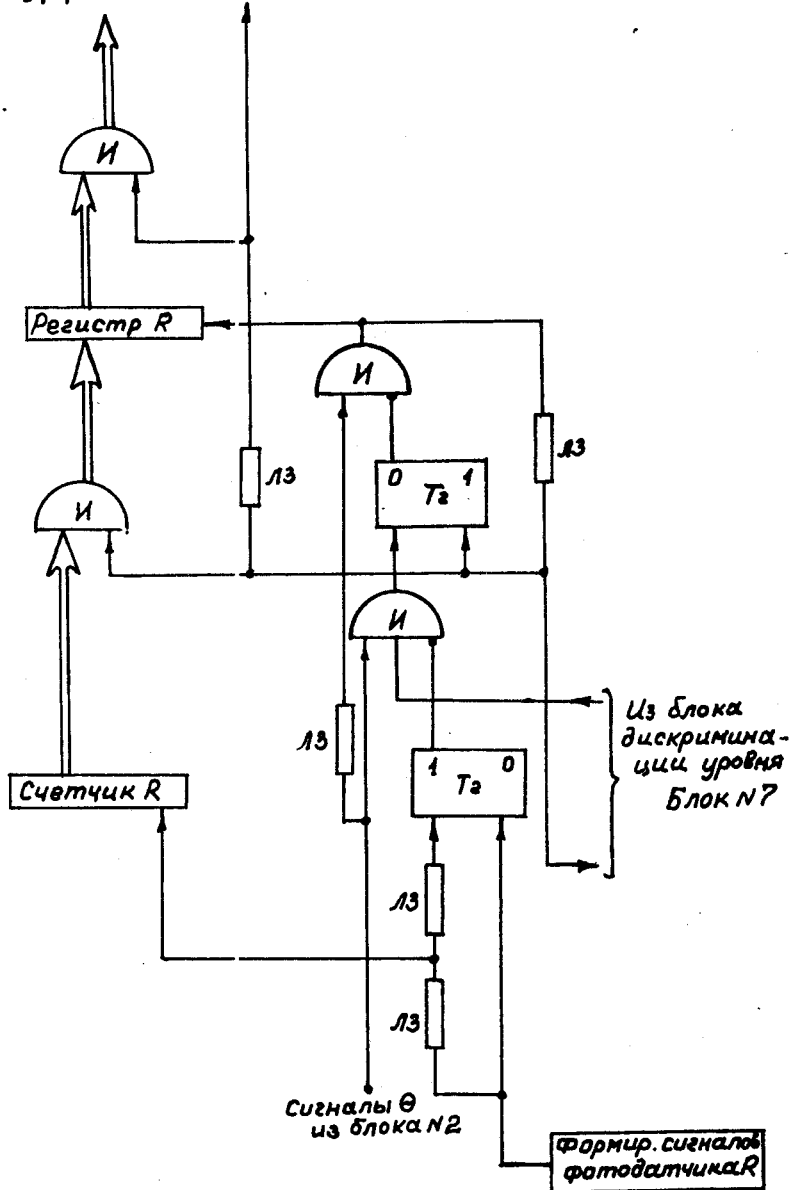


Рис.25. Структурная схема блока регистрации координаты радиуса.



Регистрация значений полярных координат точек пересечения сканирующей цели со следом измеряемого события на снимке распадается на ряд операций: после отсчета и занесения значений угловых координат в выходной регистр отсчетного канала блок дискриминации выдает команду о том, что данный видеосигнал от следа определен как трековый сигнал. По этой команде показания счетчика  $R$  должны быть также занесены в регистр памяти.

Так как этот сигнал не зависит от импульсов счета, поступающих на счетчик  $R$ , то блок координаты  $R$  имеет схему временного согласования, подобную схеме, описанной в разделе 5.7. Триггер  $T_6$  в данном блоке и две линии задержки  $LZ_1$  и  $LZ_2$  блокируют занесение показаний счетчика в регистр памяти на время переходных процессов в счетчике.

После занесения содержимого счетчика  $R$  во входной регистр памяти формируются все необходимые сигналы для записи значений координат  $\theta$ ,  $\Delta\theta$ ,  $R$ ,  $H$  в буферное запоминающее устройство, и до окончания цикла записи выдается запрет на занесение следующей информации во входной регистр БЗУ.

#### 5.10. Блок отсчета угловой координаты $\theta$

Сигналы, поступающие с фотодатчика устройства регистрации угловой координаты, имеют частоту повторения  $f = 600$  кГц. Эти сигналы поступают на схему формирования и удвоения частоты, т.к. для получения цены отсчета по угловой координате порядка  $2\pi/2^{17}$  радиана, частота счетных импульсов должна быть порядка 1,3 мГц.

В отсчетный канал поступает также сигнал установки отсчета в "0". Этот сигнал формируется при помощи метки, жестко связанной с вращающейся частью перископа. После формирования

сигнал поступает в блок регистрации координаты  $\theta$ , на схему управления сбросом счетчика в "0" и на схему контроля работы счетчика  $\theta$ . Контроль работы счетчика  $\theta$  производится считыванием показаний счетчика в конце каждого оборота спиральной развертки.

Блок угловой координаты имеет схемы временного согласования, аналогичные схеме, описанной в разделе 5.7.

Частотные характеристики счетчика  $\theta$  определяются частотой повторения входных сигналов ( $f = 1,3$  мГц) и временем переходных процессов.

Так как для стробирования показаний счетчика и занесения этих показаний в регистр памяти используется счетный импульс, то при периоде следования  $T_n = 0,6$  мксек и длительности импульса  $T_m = 0,1$  мксек время установления  $T_{уст} = T_n - T_m = 0,5$  мксек. С учетом этого счетчик угловой координаты выполнен по параллельной схеме.

#### 5.II. Другой возможный вариант построения отсчетного канала

В описанной выше схеме отсчетного канала после соответствующих испытаний макета оптико-механической части и отладки соответствующих программ могут быть введены следующие изменения:

I) переход на регистрацию значений приращений радиуса за время одного оборота спирали вместо регистрации полной координаты  $R$ . По этим данным текущее значение координаты может быть восстановлено.

2) переход на регистрацию вместо полной угловой координаты  $\theta$  значений приращений  $\Delta\theta$  за  $0,1-0,5$  часть одного оборота спирали. Это позволит сократить разрядность передаваемого слова, а следовательно, и объем электронных узлов, участвующих в передаче, а также объем буферной памяти.

На стадии дальнейшего усовершенствования прибора будет рассмотрена возможность использования другого метода построения отсчетного канала. Отсчетный канал, описанный выше, содержит блок преобразователя аналог-код, выполнение которого представляет определенные трудности. Требования к частотным характеристикам электронных узлов отсчетного канала относительно невелики (частота порядка 2 мгц), однако блок преобразователя аналог-код требует элементов с быстродействием в 10 мгц. Именно этот блок ограничивает скорость сканирования.

Существенное упрощение схем отсчетного канала и сокращение разрядности передаваемых слов может быть достигнуто при сканировании снимка двумя рядом расположенными параллельными щелями с отдельными фотодатчиками. При этом исключается трудность в определении ширины видеосигнала трека  $\Delta\theta$ , т.к. возможно применение схемы, аналогичной той, которая описана в работе <sup>18</sup> /.

На рис. 26 приведены временные диаграммы сигналов от 2 щелей и пояснен принцип определения координаты середины трека. В этом режиме работы отсчетного канала в ЭВМ будет передаваться значение одной координаты  $\theta$ , определяющей середину трека, или, как было указано выше, эквивалентное значение приращения угловой координаты за соответствующую часть одного оборота спирали.

В конструкции перископа предусмотрена возможность размещения двух параллельных щелей с отдельными фотодатчиками.

В такой схеме отсчетного канала для определения амплитуды видеосигнала может использоваться схема, подобная блоку преобразователя код-аналог. Но так как эти измерения производятся только на первых оборотах спирали, когда линейная скорость перемещения сканирующего пятна невелика, то в этом случае требования к частотным характеристикам электронных схем оказываются на порядок ниже.

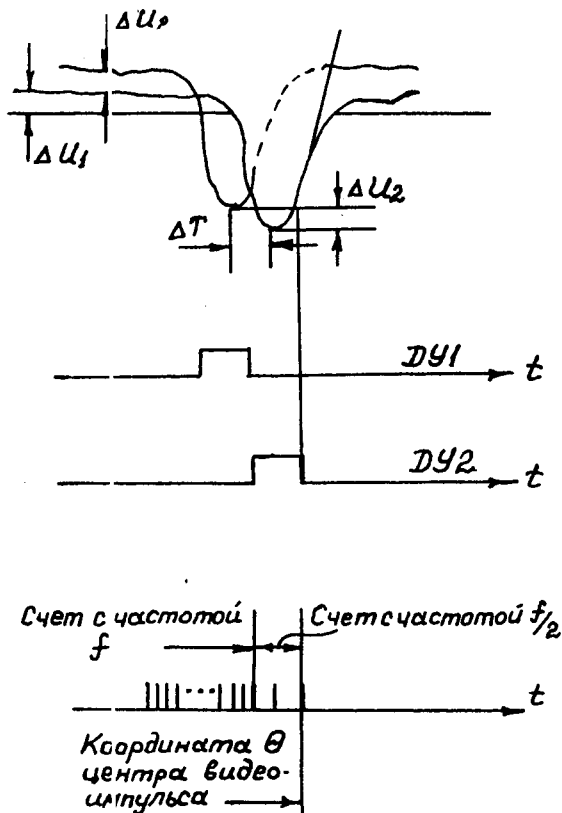


Рис.26. Временная диаграмма, поясняющая принцип определения середины трекового сигнала при работе с двумя щелями.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Alvarez L.W. Proc. of the Informal Meeting on Track Data Processing. Cern, 62-37. 43, 1962.
2. М.Г.Мещеряков, Н.Н.Говорун. Быстродействующие вычислительные машины в физических исследованиях. Вестник АН СССР 3. 1968.
3. В.М.Живаев, А.С.Зеленчер, Д.А.Каржавин, А.И.Кушудун и др. Спиральный измеритель. Проект оптико-механической части установки. Препринт ОИЯИ БЗ-10-4694.
4. J.Stedman, Sr Control and Acquisition with PDP 4, Nov. 29. 1965. UCRL 16555.
5. G.V. Butler, Spiral Reader. Electronics Description and Specification, Lawrence Radiation Lab., UCID 2842.
6. J.C.Gouche, J.Tremly. L.S.T Project (Spiral Reader). CERN /D.2/ JT9.5. 1968.
7. The Digital Small Computer Handbook. 1966-67 Edition.
8. F.Marciano. A Survey of Track Center Circuits Used in Flying Spot Digitizers. CERN-DD/DA/65/ 18. JUNE, 1965.

Рукопись поступила в издательский отдел  
24 февраля 1970 г.