

Алексеева

A-

2116/80

- АЛЕКСЕЕВА, Н.П. и др.



БИ-13-80-133.

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

2845

A-471

БИ-13-80-133

ДЕПОНИРОВАННАЯ ПУБЛИКАЦИЯ

Дубна 1980

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
Лаборатория вычислительной техники и автоматизации

Н.П.Алексеева, В.А.Бутенко, В.А.Дроздов,
В.Ф.Завьялов, Г.М.Кадыков, А.А.Карлов,
В.В.Коштов, Е.Я.Лерман, Р.Ляйсте, М.Г.Мещеряков,
В.И.Петрухин, В.Н.Поляков, В.И.Приходько,
Ю.В.Тутышкин, Э.Хоффман, С.А.Щелев

БЕСФИЛЬМОВАЯ СИСТЕМА СЪЕМА ИНФОРМАЦИИ СО СТРИМЕРНОЙ
КАМЕРЫ УСТАНОВКИ РИСК

Б 1-13-80-133

В 18 02 80

Дубна 1980 г.

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
I. Введение	I
II. Технические предпосылки для создания бесфильмовых систем съёма информации со стримерных камер	I
2.1. Спектрометры со стримерными камерами	I
2.2. Преимущества бесфильмового съёма информации	2
2.3. Состояние работ по бесфильмовому съёму информации со стримерных камер за рубежом	3
2.4. Исследования, выполненные в ОИЯИ. Выбор передающей телевизионной трубки	6
III. Описание бесфильмовой (телевизионной) системы съёма информации со стримерной камеры установки РИСК	10
3.1. Общие сведения об установке РИСК	10
3.2. Требования к телевизионной системе	11
3.3. Основные характеристики телевизионной системы	11
3.4. Описание блок-схемы телевизионной системы	16
3.5. Организация сканирования изображения и передачи данных в режиме измерения ионизации	19
3.6. Коррекция дисторсий и калибровочные операции	23
3.7. Математическое обеспечение телевизионной системы	24
3.8. Размещение аппаратуры	25
3.9. Возможности развития	26
IV. План создания бесфильмовой системы съёма информации со стримерной камеры установки РИСК	31
4.1. Техническая база проекта	31
4.2. План основных работ	
U. Заключение	34
Литература	36

I. Введение

I.I. Разработка настоящего проекта является завершающим этапом работ по теме "Проведение исследований, связанных с разработкой и составлением проекта бесфильмовой системы регистрации и обработки информации со стримерных камер".

Проект основан на результатах исследований, проведенных в ЛВТА ОИЯИ, а также в зарубежных исследовательских центрах, учитывает опыт создания и эксплуатации бесфильмовых систем для оптических искровых камер и соответствует генеральному плану развития ОИЯИ в части создания полностью автоматизированных спектрометров, какими могут быть установки РИСК, СКМ-200 или другие спектрометры со стримерными камерами при условии, что на них будет реализован бесфильмовый метод съема информации.

Практические результаты работ, выполненных по указанной теме, заключаются в выборе и исследовании характеристик передающих телевизионных трубок, разработке специализированных ТВ-камер, регистрирующей аппаратуры и методов сжатия информации, т.е. в получении исходных данных для подготовки проекта, а также в разработке телевизионной установки на линии с ЭВМ и телевизионной системы контроля стримерной камеры установки РИСК, в процессе создания которых были решены основные научные и инженерные задачи, связанные с разработкой бесфильмовых систем регистрации информации со стримерных камер, и которые являются серьезной базой для дальнейшего развития работ в этой области.

II. Технические предпосылки для создания бесфильмовых систем съема информации со стримерных камер

2.I. Спектрометры со стримерными камерами

Стримерные камеры, начиная с 1968 года, успешно используются в физике высоких энергий в экспериментах на пучках адронов, заряженных лептонов, фотонов, а также на встречных пучках. Отличительным свойством стримерных камер является управляемый запуск при

регулируемом времени памяти (≈ 10 мкс), что позволяет, например, работать на адронных пучках со светимостью до $10^{31} \text{ с}^{-1} \cdot \text{см}^{-2}$. Точность геометрических измерений сравнима с получаемой в пузырьковых камерах таких же размеров, но поскольку в стримерных камерах используется газ как рабочая среда, то практически отсутствуют кулоновское многократное рассеяние и вторичные взаимодействия. Стримерная камера является детектором с 4π -геометрией и с практически неограниченной эффективностью регистрации многих частиц в объёме до нескольких м^3 . Важным свойством является возможность измерения скорости ультрарелятивистских частиц по производимой ими в газе камеры первичной ионизации в широком диапазоне вторичных частиц ($E/m \sim 5 \div 200$). Основным недостатком стримерных камер является отсутствие вершины события (в пределах размеров мишени).

Стримерные камеры с большими рабочими объёмами, подобные камере РИСК, позволяют регистрировать сложные по конфигурации события и редкие взаимодействия с достаточно высокой эффективностью. Возможность работы с внутренними мишенями (как жидководородными, так и ядерными) и простота модификации установки делают спектрометры со стримерными камерами универсальными детекторами, пригодными для широкого класса экспериментов.

На ускорителях и накопительных кольцах сверхвысоких энергий весьма перспективно применение стримерных камер в качестве детектора вершины в экспериментах, где существенно важно изучение всего фазового объёма событий (например, глубоконеупругие взаимодействия, рождение частиц с большими поперечными импульсами и т.д.), а также в экспериментах ^{по} ^{поиску и} изучению короткоживущих частиц (Σ , Ξ , Ω , Δ и др.).

2.2. Преимущества бесфильмового съёма информации

Использование в спектрометрах со стримерными камерами фильмового метода регистрации событий ограничивает их возможности. Основной недостаток фильмовой регистрации событий состоит в большой задержке в получении физических результатов – обычно обработка данных для получения хорошей статистики занимает от одного года до нескольких лет. Другим серьёзным недостатком является высокая стоимость просмотрно-измерительного оборудования и большой штат эксплуатационного персонала.

Создание бесфильмовой системы съёма информации со стримерных камер позволит:

- повысить скорость регистрации событий;
- исключить трудоёмкий и дорогостоящий этап измерения и обработки фотографий;
- расширить класс доступных изучению задач, позволив работать на пучке с более мягким триггером (при фильмовой методике регистрации в этом случае возникают ограничения, связанные с большим количеством фильмового материала);
- осуществлять контроль за качеством регистрируемых событий и ходом эксперимента;
- обрабатывать часть событий непосредственно в ходе эксперимента;
- сократить время обработки данных и, тем самым, ускорить получение физических результатов.

В связи с этим разработка и реализация проекта бесфильмовой системы для стримерной камеры установки РИСК и других стримерных камер ОИЯИ, несмотря на неизбежность затраты денежных средств и усилий специалистов, представляется весьма актуальной и оправданной как с научной (практически полная автоматизация спектрометра, контроль эксперимента и сокращение его длительности, ускорение времени получения физических результатов), так и с экономической точки зрения (исключаются затраты на плёнку и измерение снимков, более эффективно используется время ускорителя и т.п.).

2.3. Состояние работ по бесфильмовому съёму информации со стримерных камер за рубежом

Как известно, в настоящее время бесфильмовые системы реализованы только для оптических искровых камер. Например, в ЦЕРНе создана и с 1972 года эксплуатируется телевизионная система съёма информации с многозачорных искровых камер спектрометра ОМЕГА /1/. Аналогичные работы по телевизионному съёму с искровых камер в течение ряда лет ведутся в ЕФИ (Ереван) /2/, ИТЭФ (Москва) и ЛИЯФ (Гатчина).

Что касается стримерных камер, то проблема создания телевизионных систем регистрации для них существенно сложнее, чем для искровых камер. Это обусловлено двумя основными причинами:

а) малой светимостью стримеров, что требует применения высокочувствительных передающих ТВ-трубок; б) непрерывным чувствительным объёмом стримерной камеры, что предъявляет жесткие требования к быстродействию и емкости запоминающих устройств (или ЭВМ), используемых для записи событий.

В настоящее время ни в СССР, ни за рубежом нет действующих систем бесфильмовой регистрации и обработки информации со стримерных камер, хотя во многих физических центрах (в том числе в ОИЯИ) выполнена широкая программа методических исследований в этом направлении, что позволяет приступить к практической реализации бесфильмовых систем.

В Политехническом институте в Париже разработана телевизионная аппаратура с высокочувствительной трубкой Ноктикон ТН 9655 фирмы Томсон и регистрирующей электроникой, заимствованной от телевизионной системы ОМЕГА-спектрометра ^{/3/}. Методические исследования проводились на стримерной камере с объёмом $0,4 \times 0,8 \times 1,2 \text{ м}^3$, которая работала в ливневом режиме. Результаты измерений показали высокую эффективность регистрации стримеров (88%) на треках от космических лучей с хорошей точностью и разрешающей способностью ($\pm 0,4 \text{ мм}$ и 6 мм соответственно в плоскости стримерной камеры).

В Университете Глазго разработана установка на базе стандартной телевизионной камеры (625 строк разложения) с высокочувствительной трубкой Изокон ^{/4/}. При помощи этой установки в 23-см модели стримерной камеры регистрировались одиночные треки (аппаратурное ограничение) от космических лучей и параллельно записывались на видеомаягнитофон ⁴ после оцифровки в мини-ЭВМ НОВА для последующего анализа. В работе показана принципиальная возможность регистрации стримерных треков с использованием указанной трубки, хотя вся регистрирующая аппаратура нуждается в серьёзных усовершенствованиях (в первую очередь это касается быстродействия электроники, а также быстродействия и мощности ЭВМ).

Аналогичные работы по использованию ТВ-трубок для съёма информации со стримерных камер выполнены также в Лаборатории ДЭЗИ в Гамбурге ^{/5/} (трубка Супертелекон ХQ1320 фирмы Телефункен) и в Институте физики в Риме ^{/6/} (трубка Пломбикон ХQ1023 фирмы Филипс). Причём в ИФ эксперименты проводились со стримерными каме-

рами как с *Ne-He* смесью, так и с водородным наполнением.

В Стенфордском университете (США) в 1977 году проведены исследования твердотельных передающих матриц (ПТМ) с целью их использования для регистрации треков частиц в стримерной камере ^{17/}. В работе использовалась матрица ССД202А (100x100 элементов) фирмы Фэрчайлд. Треки генерировались в двухметровой стримерной камере *S/LAC* на адронном пучке (9,4 ГэВ/с) в магнитном поле 4 кГс. Масштаб уменьшения изображения ~ 160 . Для сравнения события параллельно регистрировались на фотоплёнку. Авторы работы получили обнадеживающие результаты по чувствительности матрицы; она сравнима с чувствительностью плёнки КОДАК *SO-143*, обычно используемой для фотографирования треков в стримерных камерах, хотя и уступает чувствительности ТВ-трубок (что может быть препятствием для использования ПТМ в бесфильмовых системах для стримерных камер, в которых предполагается измерение ионизации). Однако для того, чтобы получить в бесфильмовой системе удовлетворительные точность и разрешающую способность, необходимо установить несколько десятков матриц типа ССД202 (чувствительная область этой матрицы - $3 \times 4 \text{ мм}^2$, что ~ 70 раз меньше площади кадра 35 мм плёнки). В будущем предполагается использовать для бесфильмового съёма более совершенную матрицу ССД211 (244x190 элементов). При этом для получения требуемых параметров бесфильмовой системы можно обойтись разумным количеством таких матриц.

В заключение этого краткого обзора остановимся несколько подробнее на работах, ведущихся в Институте физики (Мюнхен, ФРГ), где создаётся бесфильмовая система для двухметровой стримерной камеры, установленной на пучке ускорителя *S/PS* в ЦЕРНе ^{18,9/}. В системе используются три ТВ-камеры (по одной для каждой стереопроекции) с высокочувствительными трубками *WX-32719* фирмы Вестингауз, имеющими разрешение 1300 телевизионных линий на растр. Координаты измеряются с точностью 13 двоичных разрядов. Объём регистрируемых данных - 10 треков x 1000 строк x 2 байта x 5 соб/имп.уск. = 100 Кбайт (плюс дополнительная информация о ширине трека, номере строки и т.п.), т.е. всего за импульс ускорителя - 128 Кбайт для одной ТВ-камеры. Данные сканирования записываются в полупроводниковую буферную память (3 блока по 128 Кбайт), к которой имеет доступ ЭВМ РДР11/45. Эта ЭВМ, кроме накопления данных, используется также для контроля телевизионной аппаратуры.

В паузе ускорителя вся информация переписывается на магнитную ленту с плотностью записи 6250 байт/дюйм. Запись событий осуществляется в формате, соответствующем формату НРД. Далее эта информация будет пропускаться через БРАШ-процессор (опознавание и фильтрация элементов треков) и обрабатываться по стандартным программам, имеющимся для НРД.

В первом эксперименте, начатом в 1979 году, параллельно работают телевизионная система и фоторегистраторы. Это позволит окончательно проверить и сравнить в реальных условиях характеристики обеих систем. В дальнейшем будет использоваться телевизионная система. Наряду со сравнением фильмовой и бесфильмовой систем будут проведены также методические исследования точности измерения ионизации при бесфильмовом съеме.

В настоящее время в ЦЕРНе обсуждаются предложения по использованию на SPS еще двух стримерных камер, на которых также предполагается реализовать бесфильмовый съем информации.

2.4. Исследования, выполненные в ОИЯИ

Выбор передающей телевизионной трубки

Основная цель указанных выше работ состояла в исследовании характеристик и выборе ТВ-трубок, пригодных для использования в бесфильмовых системах съема информации со стримерных камер. Действительно, ТВ-трубка как преобразователь светового излучения в электрический сигнал является ключевым элементом системы и ее характеристики определяют характеристики системы в целом. В связи с этим в ЛВТА ОИЯИ также были проведены исследования нескольких типов трубок с точки зрения их применимости для бесфильмового съема информации со стримерных камер установки РИСК.

В бесфильмовых системах к телевизионным приборам предъявляется ряд специфических требований, важнейшими из которых являются высокая световая чувствительность и разрешающая способность, достаточно большое время сохранения изображения, способность регистрировать однократные быстротекущие процессы в наносекундном диапазоне длительностей световых импульсов, малое время

стирания остаточного изображения. Весьма важными являются также такие параметры, как равномерность фона по полю изображения, слабая зависимость тока видеосигнала от температуры и некоторые другие, например, простота эксплуатации и долговечность.

В настоящее время отечественной промышленностью и зарубежными фирмами выпускается большой ассортимент передающих телевизионных приборов, которые в принципе могут быть использованы в аппаратуре бесфильмовой регистрации следов частиц в оптических трековых детекторах, включая и стримерные камеры, треки в которых отличаются очень слабой светимостью и малым временем жизни.

Из всего многообразия телевизионных приборов, выпускаемых промышленностью стран-участниц ОИЯИ, наиболее полно перечисленным выше требованиям удовлетворяют две ТВ-трубки, относящиеся к классу однодюймовых видеокон: Кремникон /10/, у которого в качестве фоточувствительного материала мишени используются кремний и Халникон /11/, мишень которого выполнена на основе селенида кадмия.

Свойства мишеней Кремникона и Халникона очень близки: линейность световой характеристики, высокая световая чувствительность, близкий к единице квантовый выход. В работе /12/ приведены результаты исследования указанных трубок и обоснован выбор трубки Халникон для телевизионной системы контроля стримерной камеры установки РИСК.

Важным преимуществом Халникона является то, что при почти одинаковой с Кремниконом чувствительности, мишень Халникона позволяет, используя волоконную оптику, применять модульное его сочленение с электростатическим электронно-оптическим преобразователем (ЭОП), что на порядок (и больше) повышает световую чувствительность, увеличивая тем самым эффективность регистрации стримеров. При этом сохраняется основное преимущество Халникона — простота эксплуатации.

Чтобы поднять чувствительность Кремникона прибегают к усложнению прибора, включая в него секцию переноса изображения. Такие приборы получили название Суперкремниконов. Они отличаются высокой чувствительностью, но имеют повышенный уровень собственных шумов, что снижает потенциальную чувствительность и разрешающую способность, сложны в обслуживании, обладают плохой повторяемостью параметров даже при серийном производстве и имеют высокую стоимость.

Другим преимуществом Халникона является его способность хранить изображение в течение длительного времени без существенного ухудшения качества считываемой видеоинформации. Это свойство мишени Халникона позволяет проводить сканирование в двух ортогональных направлениях. Существенно важным является также малый темновой ток Халникона (на порядок меньше, чем у Кремникона) и его слабая температурная зависимость.

Параметры обеих трубок были исследованы на специально созданной телевизионной установке на линии с ЭВМ М-6000 /13/ с использованием методов временного и амплитудного анализа видеосигналов. Измерения проводились на откалиброванных с помощью ФЭУ светодиодах МОНСАНТО MV-50 ($\lambda = 650$ нм, длительность светового импульса ~ 100 нс). Ниже приведены основные характеристики трубки Халникон:

- спектральная чувствительность - $470 \div 700$ нм;
- световая чувствительность - $0,1$ люкса (при надежном выделении сигнала из шумов);
- разрешающая способность - 500 линий (при глубине модуляции 40%);
- рабочий размер мишени (растр) - 10×13 мм²;
- темновой ток - $1 \div 2$ нА;
- температурная зависимость тока сигнала - $0,5$ нА/гр.С;
- остаточный сигнал после первого сканирования - $20\% \div 40\%$;
- время стирания остаточного изображения - 40 мс;
- долговечность - не менее 1000 час.

Другие параметры соответствуют техническим условиям на обычные видиконы.

Благодаря успехам микроэлектронной технологии, в последнее время появился еще один перспективный для бесфильмового съема информации класс приборов, преобразующих световую энергию в электрический сигнал - передающие твердотельные матрицы с самосканированием без электронного луча. Функционально такие матрицы являются безвакуумными аналогами передающих ТВ-трубок и в будущем должны будут их заменить. Габариты матриц (несколько десятков мм²) существенно меньше габаритов вакуумных приборов, к тому же для их работы не требуется никаких электромагнитных катушек и аналоговых систем отклонения. Световая чувствительность сравнима с чувствительностью передающих трубок и определяется прежде всего свойствами исходного материала (кремния).

Большим преимуществом ПТМ являются возможность работы в сильных магнитных полях, а также высокая стабильность, отсутствие дисторсий и нелинейностей раstra, что существенно упрощает калибровочные процедуры.

Выше отмечалось, что основным недостатком доступных в настоящее время приборов ПТМ как в СССР, так и за рубежом, является их недостаточная разрешающая способность, которая определяется числом элементов и размером светочувствительной области матрицы. Другим недостатком ПТМ является высокий уровень шумов и их большая температурная зависимость, что требует охлаждения матрицы до -10°C (и более) для получения приемлемых рабочих характеристик. Следует также отметить, что время сохранения изображения в матрице ограничено, что может потребовать применения быстрой регистрирующей электроники.

Пока что, по мнению разработчиков как вакуумных приборов, так и ПТМ (и как показывают исследования, проведенные за рубежом /8,14/, а также в ЛВТА с матрицей 100×100 элементов /15/), разработка и выпуск высококачественной телевизионной аппаратуры на ПТМ начнется за пределами ближайшего пятилетия по мере повышения их разрешающей способности и улучшения качества изображения /16/.

Таким образом, в результате проведенных исследований для бесфильмовой системы съема информации со стримерной камеры установки РИСК были выбраны телевизионные трубки Халникон в сочленении с электростатическими ЭОПами.

Именно эти трубки используются в телевизионной системе контроля (ТСК), стримерной камеры спектрометра РИСК /17/. Эта система уже в течение года успешно используется в экспериментах на серпуховском ускорителе. Вариант трубки Халникон с волоконной оптикой на входе был разработан в промышленности по инициативе ЛВТА ОИЯИ. В этой совместной работе разработчики трубки учли специфические требования бесфильмовых систем для стримерных камер и в дальнейшем разработают вариант трубки с предельными для данного типа мишени чувствительностью и разрешающей способностью за счет ухудшения других ее параметров (как чисто телевизионного прибора), не существенных для наших применений.

Трубка Халникон прошла всесторонние испытания на упоминавшейся выше телевизионной установке, на I-метровой модели

стримерной камеры, а также в составе телевизионной системы контроля на РИСКе. На рис. 1 показаны две фотографии одного и того же события с I-метровой камеры, полученные: а) путем прямого фотографирования на высокочувствительную пленку OKW O

NP -7 через двухкаскадный ЭОП и б) с экрана телевизионного монитора (Халникон в сочленении с однокаскадным ЭОПом). Из приведенных фотографий видно, что треки совершенно идентичны, хотя на снимке с ТВ-монитора часть стримеров потеряна при переписи информации с Халникона в блок запоминания ТВ-изображений на трубке Литокон и далее на монитор, а также при фотографировании с экрана на очень контрастную бумагу (Полироид, тип 51). Другой пример события, зарегистрированного телевизионной системой контроля в стримерной камере установки РИСК при помощи трубки Халникон, показан на рис. 2.

III. Описание бесфильмовой (телевизионной) системы съема информации со стримерной камеры установки РИСК

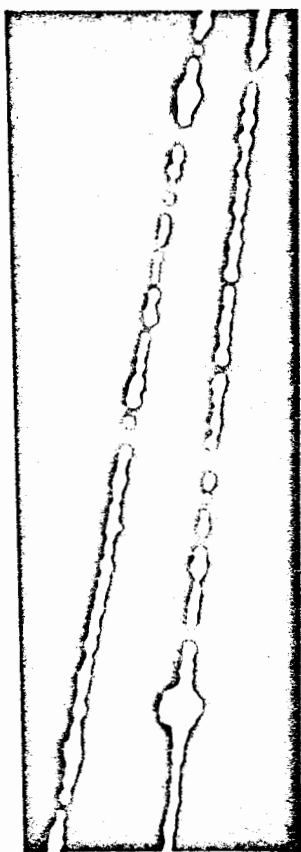
3.1. Общие сведения об установке РИСК

Основой спектрометра РИСК /34/ является стримерная камера с рабочим объемом $4,6 \times 1,0 \times 0,8 \text{ м}^3$, помещенная в магнитное поле напряженностью 15 кЭ. На высоте около 4,5 м над камерой, т.е. в предполагаемом месте размещения аппаратуры бесфильмового съема (передающих трубок) рассеянное поле составляет $\sim 100 \text{ Э}$.

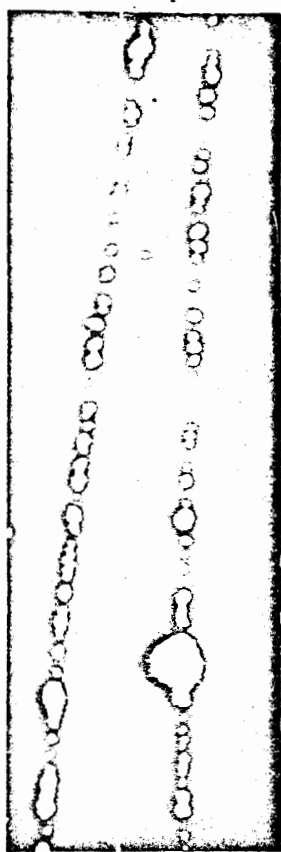
Для образования стримеров на электроды камеры подается биполярный высоковольтный импульс с амплитудой $\pm 350-400 \text{ кВ}$ и длительностью $10 \div 30 \text{ нс}$. Рабочим газом камеры служит Ne-He смесь с добавкой SF_6 .

В рабочем объеме камеры на расстоянии около 0,5 м от передней стенки установлена жидководородная мишень длиной 25 см и диаметром 5 см. Интересующие нас взаимодействия происходят в мишени, причем из-за малого времени памяти стримерной камеры ($\sim 1 \text{ мкс}$) в рабочем объеме будут наблюдаться только треки принадлежащие данному (выбранному) событию (практически отсутствуют фоновые следы). Характерными являются треки, идущие под малыми углами относительно первичного пучка. В районе мишени, однако, могут наблюдаться треки, идущие под большими углами к пучку.

Спектр РИСК работает на канале 4Э протонного синхротрона ИФВЭ (Серпухов). Режим работы ускорителя - циклический. Пучок ускоренных частиц подается на стримерную камеру в течение $0,5 \div 2 \text{ с}$.



a)



б)

Рис. I.

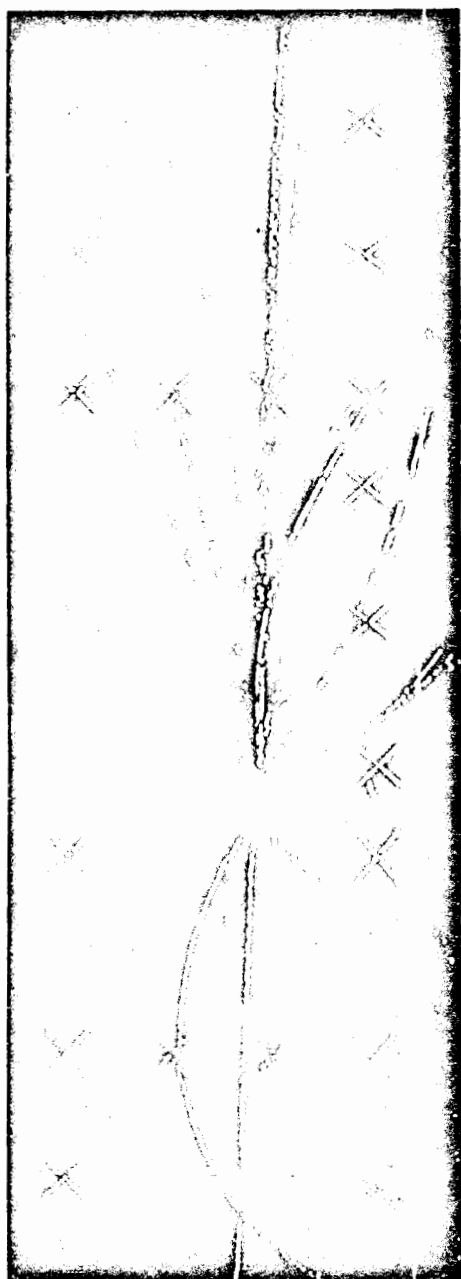


Рис. 2.

после чего наступает пауза ~ 7 с. Типичный сеанс при наборе статистики 200–300 час.

3.2. Требования к телевизионной системе

1. Точность измерения координаты трека в объёме стримерной камеры – 0,5 мм.
2. Разрешающая способность в объёме стримерной камеры – 5 мм.
3. Максимальное количество треков в одном событии – 15.
4. Среднее число треков в событии – 8.
5. Средняя плотность стримеров на треке – не более 6–7/см.
6. Быстродействие – 5 событий за импульс ускорителя (1,8 с).
7. Чувствительность должна быть достаточной для регистрации стримеров длиной 5–7 мм; регистрация полного числа стримеров на треке в системе без измерения ионизации не требуется.

3.3. Основные характеристики телевизионной системы

С точки зрения регистрации и измерения координат треков в стримерной камере к числу основных характеристик ТС (при обеспечении необходимой световой чувствительности) относятся:

- а) точность измерения;
- б) разрешающая способность;
- в) быстродействие.

Необходимо отметить, что выбор каждого из параметров не может быть осуществлён вне связи с выбором других параметров.

Точность измерения координат трека определяется отклонением центров стримеров от следа частицы, дисторсией и конечным разрешением оптической системы и точностью регистрации, обеспечиваемой собственно телевизионной системой :

$$\varepsilon = \sqrt{\varepsilon_{\text{диф.}}^2 + \varepsilon_{\text{дист.}}^2 + \varepsilon_{\text{тс}}^2}$$

Величина $\varepsilon_{\text{ТС}}$ определяется, в основном, следующими факторами:

- погрешностью в определении середины видеоимпульса от изображения стримера;
- погрешностью от преобразования временного интервала в цифровой код;

– нелинейностью развёртки и дисторсией раstra передающей трубки и ЭОПа.

Рассмотрим эти факторы более подробно.

Середина видеоимпульса определяется или методом дифференцирования с выделением момента перехода производной через ноль, или путём деления частоты отсчётных импульсов пополам за время длительности видеосигнала. Оба способа дают приблизительно одинаковую точность при обработке скорректированных по форме видеосигналов. В работах /1,13/ показано, что при длительности видеосигналов 300÷350 нс метод дифференцирования даёт ошибку в определении середины импульса около 10 нс. Это означает, что при длине скан-линии в стримерной камере РИСК 1000 мм и времени сканирования строки 204,8 мкс (см. стр. 14) ошибка составит около 0,05 мм.

Погрешность от преобразования временного интервала в цифровой код зависит от количества отсчётов, приходящихся на одну скан-линию. Учитывая, что операция преобразования не должна существенно влиять на точность и исходя из требований к быстродействию системы (см. ниже), число отсчётов выберем равным 8192 (13 двоичных разрядов). Тогда погрешность преобразования будет иметь величину $\sim 0,12$ мм в плоскости стримерной камеры.

Ошибка в измерении от нелинейности развёртки и дисторсий трубки и ЭОПа определяется калибровочными процедурами. При надлежащем выборе степени аппроксимирующего полинома и системы реперов на сканируемых участках стримерной камеры эта ошибка для нашего случая не превышает 0,1 мм.

Таким образом, среднеквадратичная ошибка измерения координат трека при телевизионном съёме данных составляет приблизительно 0,17 мм в горизонтальной плоскости стримерной камеры.

Отклонение центров стримеров от следа $\varepsilon_{\text{диф}}$ связано с диффузией электронов на следе во время задержки высоковольтного импульса и составляет по данным работы /18/ около 0,3 мм.

Погрешности, вносимые оптическим звеном телевизионной системы учитываются так же, как и для фоторегистраторов при фотометрической методике регистрации, при этом $\varepsilon_{\text{дист}}$ не превышает 0,3 мм /19/. Это означает, что суммарная среднеквадратичная ошибка в определении координаты трека с учётом всех перечисленных выше факторов составит $\sim 0,46$ мм.

Приведённое значение ошибки согласуется с величиной ошибки измерения координат треков в бесфильмовой телевизионной системе на Омега-спектрометре в ЦЕРНе, а также с результатами исследований, проведённых в ЛВТА.

Разрешение двух треков в пространстве стримерной камеры помимо разрешающей способности объектива лимитируется в основном разрешающей способностью передающей трубки, т.е. диаметром сканирующего луча, площадью мишени трубки и длиной скан-линии в стримерной камере. Для Халникона в центральной части мишени эффективный диаметр сканирующего луча имеет величину 25 мкм, а длина строки сканирования 10 мм. Это означает, что для стримерной камеры РИСК ($\ell = 1000$ мм) мы будем иметь разрешающую способность около 2,5 мм в центральной части сканируемого объёма.

Существенное влияние на разрешающую способность оказывает фокусировка электронного луча в трубке. Проведённые нами исследования показали, что при оптимальной фокусировке в центре мишени фокусировка на её краях в два раза хуже. Для улучшения качества фокусировки предполагается использовать динамическую фокусировку (изменение тока в фокусирующей катушке в зависимости от угла отклонения луча) с тем, чтобы, учитывая разрешающую способность объектива, получить разрешение около 5 мм в пространстве стримерной камеры.

Быстродействие телевизионной системы зависит от параметров сканирования изображения, способа считывания видеоинформации в передающих трубках, объёма информации, а также от скорости передачи данных по каналу связи в ЭВМ.

Число строк сканирования желательно иметь как можно больше, чтобы получить максимальную разрешающую способность, которую обеспечивает передающая трубка (для Халникона она составляет 500 телевизионных линий на растр с 40% модуляцией видеосигнала).

Поэтому, хотя для измерения геометрических параметров треков достаточно регистрировать координаты с 256 строк, необходимо заложить возможность сканирования числом строк равным 512 (и даже 1024) с тем, чтобы в методических исследованиях по измерению ионизации при бесфильмовом съёме данных полностью использовать возможности современных передающих трубок (возможно, что в районе мишени сканирование будет производиться или с 512 строками, или

с 256 в двух ортогональных направлениях).

Сканирование объёма стримерной камеры производится в направлении, перпендикулярном первичному пучку; длина скан-линии - 1000 мм. Так как площадь раstra трубки равна $10 \times 13 \text{ мм}^2$, то при масштабе уменьшения 100 одна телевизионная трубка охватывает $1000 \times 1300 \text{ мм}^2$ площади стримерной камеры. Это означает, что для одной проекции стримерной камеры РИСКА ($L = 4600 \text{ мм}$) необходимо установить с учётом перекрытия изображений четыре телевизионных камеры; следовательно, для двух проекций, образующих стерео-кадр, потребуется восемь ТВ-камер.

Быстродействие системы прямо зависит от времени сканирования строки и длительности обратного хода луча в трубке. Для повышения точности измерения и разрешающей способности выгодно работать с пониженной скоростью развёртки и малым током считывающего луча. При этом существенно улучшаются условия фокусировки луча, а также фильтрации и коррекции видеосигнала. С этой точки зрения оптимальное время развёртки строки составляет $100 \div 300 \text{ мкс}$ /20,21/.

С другой стороны, для отсчётных систем последовательного типа с одним счётчиком при использовании интегральных схем Шотки-ТТЛ номинальная частота отсчётных импульсов составляет 40 МГц. Это означает, что при измерении координаты с точностью, соответствующей 13 двоичным разрядам (8192 отсчёта на строку), время сканирования одной строки должно быть не менее $0,025 \text{ мкс} \cdot 8192 = 2048 \text{ мкс}$. Если нет дополнительных условий, то время обратного хода луча в трубке обычно выбирается равным 25% от времени развёртки строки, т.е. в нашем случае $t_{\text{о.х.}} = 51,2 \text{ мкс}$. Тогда полное время кадра при 256 строках составляет $(204,8 + 51,2) \times 256 = 65,5 \text{ мс}$.

Максимальное быстродействие телевизионной системы достигается при параллельной работе всех 8 ТВ-камер. С учётом времени стирания остаточного изображения (65 мс)

время регистрации одного события (мертвое время ТС) равно $\sim 130 \text{ мс}$. Это означает, что ТС позволяет регистрировать 8 событий/с или 14 событий за импульс ускорителя (1,8 с).

При параллельной работе ТВ-камер за время сканирования одной строки максимальное количество регистрируемых координат (15 треков + номер строки) составляет $8 \times 16 = 128$. Как будет показано

ниже координаты треков передаются в ЭВМ во время обратного хода луча и во время сканирования следующей строки. Отсюда вытекают требования к времени цикла памяти ЭВМ и к быстродействию канала связи: время передачи одной координаты (2 байта) в ЭВМ должно быть не более $256/128 = 2$ мкс.

На этапе создания телевизионной системы и в процессе опробования бесфильмовой методики предполагается использовать 4-й селекторный канал ЭВМ ЕС-1040 ^{/22/}, к которому в настоящее время подключена установка РИСК. Техническая скорость ввода по этому каналу 330 Кбайт/с, а если учесть принятый принцип обмена, то время приёма одного 16-разрядного слова в ЕС-1040 составит около 10 мкс, что в 5 раз больше требуемого. Это приводит к необходимости последовательного считывания информации со всех ТВ-камер и к соответствующему снижению скорости регистрации событий (до трёх за импульс ускорителя). Хотя такой вариант ТС и является работоспособным, тем не менее он не является оптимальным, так как с одной стороны, не выполняются заданные требования по быстродействию, а с другой стороны при последовательной работе ТВ-камер передающие трубки находятся в неодинаковых условиях, что, несмотря на способность Халникона в течение длительного времени хранить изображение, может привести к снижению точности и разрешающей способности.

Путём несложных переделок в аппаратуре связи, аналогичных тем, которые выполнены на I-м селекторном канале можно исключить влияние длинной линии связи и цикла КАМАК на скорость передачи и полностью реализовать быстродействие канала (330 Кбайт/с или 6 мкс на координату). В этом случае можно считывать информацию с ТВ-камер в параллельно-последовательном режиме 2x4 (параллельно работают две камеры) и уменьшить мертвое время системы до 325 мс. Однако, как будет показано ниже, такой путь не является радикальным решением проблемы быстродействия. Эта проблема может быть решена или путём монопольного использования I-го селекторного канала ЕС-1040, работающего со скоростью 1,25 Мбайт/с, или путём включения в состав телевизионной системы малой ЭВМ (например, СМ-4) со скоростью ввода данных 2 Мбайт/с (из внешних устройств ^{как минимум} необходимы 2 накопителя на магнитной ленте и стандартные устройства ввода-вывода). Кроме накопления данных, на малую ЭВМ будут возложены функции управления и контроля ТС.

При выбранных параметрах скачивания максимально возможный объём данных на одно событие равен: 256 строк x 8 камер x 15 треков x 2 байта = 61 Кбайт. К этому необходимо добавить 4К байт для записи информации о номере строки и номере ТВ-камеры. Учитывая среднее ожидаемое число треков в событии (8) и среднюю плотность стримеров на треке (0,7) ^{/23/}, реальный объём данных составит $(61К \times 0,5 \times 0,7) + 4К = 25К$ байт/событие. Следовательно, при заданном быстродействии 5 соб./импульс требуемый объём буферной памяти для накопления данных составляет $(25К \times 5) + 3К$ (программа приёма данных) = 128К байт.

3.4. Описание блок-схемы телевизионной системы

На рис. 3 показана блок-схема бесфильмовой (телевизионной) системы съёма данных со стримерной камеры установки РИСК. Схема соответствует варианту телевизионной системы с использованием для накопления данных ЭВМ ЕС-1040 (последовательная работа ТВ-камер; передача данных через 4-й селекторный канал) и включает в себя следующие основные узлы:

1. Восемь ТВ-камер.
2. Коммутатор видеосигналов.
3. Блок регистрации координат.
4. Буферная память на одну строку (32 слова, 16-разрядов).
5. Контроллер крейта для передачи данных в ЭВМ.

Переход от фотосъёма к телевизионному предполагается осуществить простой заменой фоторегистраторов на ТВ-камеры. При этом полностью сохраняется система зеркал, исключаются фильмопротяжные механизмы, ^и заменяются объективы.

Таким образом на оптической ферме РИСКА устанавливаются 8 камер.

Для защиты от рассеянного магнитного поля и мощной импульсной электромагнитной помехи от срабатывания стримерной камеры телевизионные трубки, ЭОПы и часть электронных схем помещаются в двойной экран из пермаллоя (внутри) и мягкого железа. Подобная защита надёжно работает на телевизионной системе Омега-спектрометра в ЦЕРНе ^{/1/}. Проведённые нами исследования на метровой стримерной камере показали, что для более надёжной защиты электронные схемы (особенно видеоусилитель) необходимо дополнительно

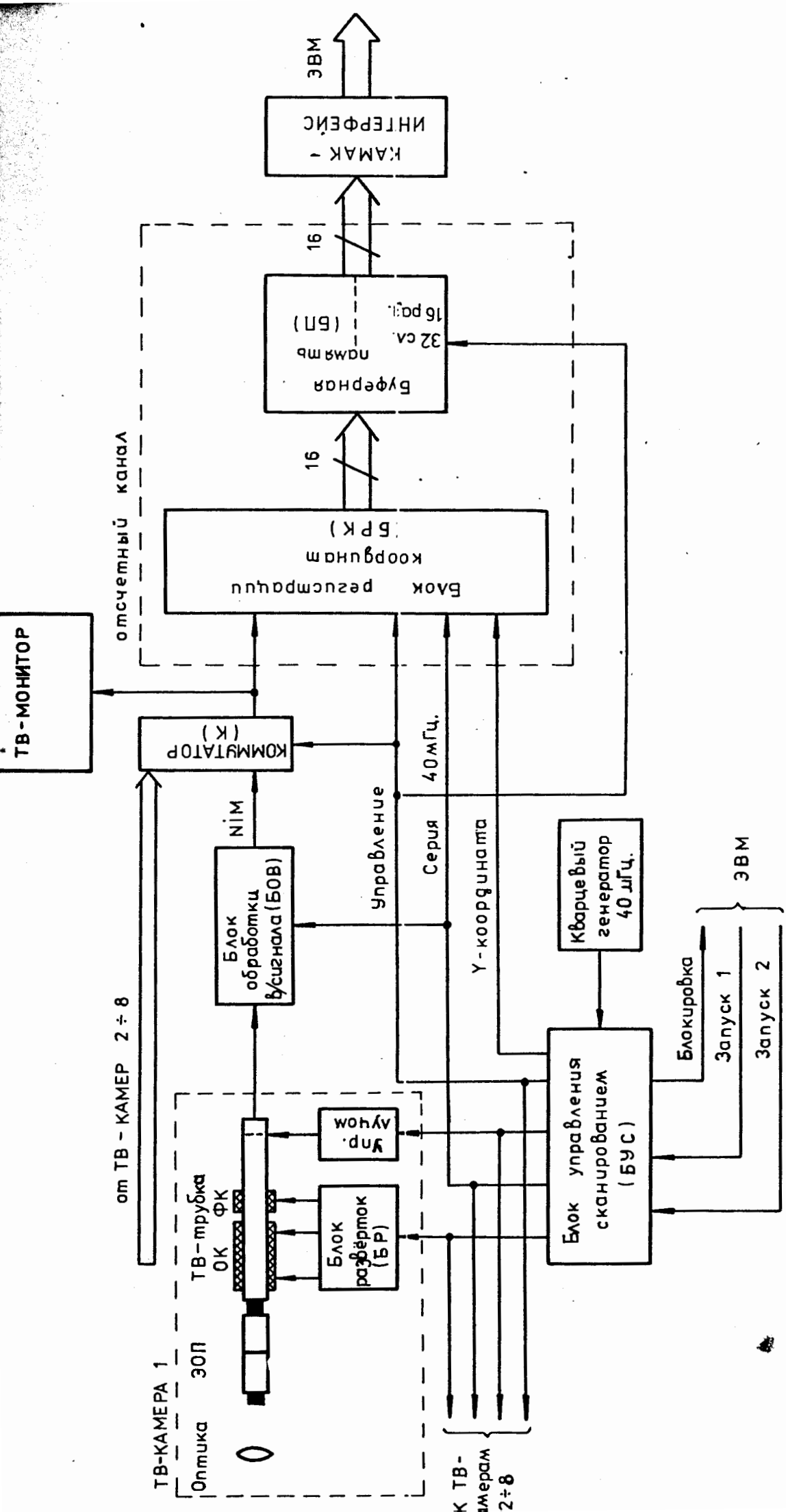


Рис. 3. Блок-схема телевизионной системы съёма информации со стримерной камеры установки РИСК.

экранировать латунной сеткой с ячейкой около 2 мм^2 .

Каждая ТВ-камера состоит из:

- а) объектива Гелиос-44 ($f = 58 \text{ мм}$, $d/f = 1/2,0$);
- б) передающей трубки Халниксн в модульном сочленении через волоконную оптику ^{двухкаскадным} электростатическим ЭОПом типа ХХ-1050;
- в) электронной аппаратуры, которая обеспечивает развертку электронного луча; управление сканированием; усиление видеосигнала, его аналоговую обработку и определение середины.

Кратко поясним работу ТВ-камер. Сканируемый объект (объём стримерной камеры) проецируется оптической системой на мишень телевизионной трубки, представляющую собой фоточувствительный слой с низкой электрической проводимостью. Внешняя поверхность этого слоя контактирует с прозрачным проводником, имеющим положительный потенциал U . На внутренней поверхности поддерживается приблизительно нулевой потенциал при сканировании электронным пучком. Падающий свет увеличивает проводимость фоточувствительного слоя в соответствующих местах и, таким образом, на внутренней поверхности создаётся электростатическое изображение объекта.

Сканирующий луч разряжает это изображение и заряды текут от источника через проводящий слой. Этот ток и является видеосигналом, последовательность видеосигналов даёт в аналоговой форме информацию об объекте, находящемся в поле зрения телевизионной камеры.

Развёртка луча по строке осуществляется генератором пилообразного тока с высокой линейностью, построенным на базе операционного усилителя – интегратора и мощного выходного каскада. Кадровая развертка – дискретная. Отклоняющий ток вырабатывается при помощи прецизионного цифро-аналогового преобразователя с усилителем мощности на выходе. Преобразователь синхронизован со строчной разверткой и имеет управляемый шаг развертки. Это даёт возможность выбирать различное число строк на растр: 128, 256, 512 и 1024.

Видеосигнал с передающей трубки усиливается малощумящим видеоусилителем с полосой пропускания около 3 МГц. Видеоусилитель имеет полевой транзистор на входе и сложную противошумовую коррекцию и охвачен отрицательной обратной связью.

После усиления видеосигнал поступает на блок обработки

(БОВ), где происходит частотная коррекция и коррекция формы сигнала и определяется его середина. При этом параллельно используются два метода: 1) дифференцирование видеосигнала с последующим выделением момента перехода производной через ноль и 2) деление числа отсчётных импульсов на два во время действия видеосигнала. Первый метод даёт хорошую точность при обработке слабых видеосигналов, имеющих форму кривой Гаусса, а второй используется при обработке видеосигналов большой амплитуды и с плоской вершиной. В обоих случаях блок обработки параллельно с импульсом, соответствующим середине видеосигнала, может выдавать информацию о ширине видеосигнала (трека) при определённом значении порога.

С выхода БОВ импульс середины видеосигнала в стандарте *NIM* поступает через коммутатор (К) в блоки регистрации координат (БРК).

Режим работы ТВ-камер определяется блоком управления сканированием (БУС), который вырабатывает все необходимые сигналы с высокой точностью и стабильностью от кварцевого генератора частоты и ряда пересчётных схем. При срабатывании стримерной камеры БУС по сигналу "Запуск-1" выдаёт сигнал "Запирание луча" во все ТВ-камеры, а с приходом сигнала "Запуск-2" открывает луч ТВ-камере-1 и начинается считывание видеоинформации. В конце кадра открывается луч в ТВ-камере-2 и т.д. до конца считывания в ТВ-камере-8. После считывания всей информации БУС переводит ТВ-камеры в режим стирания остаточного изображения.

В конце стирания снимается сигнал "Блокировка" и система готова к регистрации следующего события. Блок регистрации координат представляет собой быстрый 18-разрядный счётчик (частота счёта 40 МГц), который в режиме считывания накапливает отсчётные импульсы с момента начала сканирования строки в ТВ-камере. С приходом импульса, соответствующего середине видеосигнала, состояние счётчика (координата "X") передаётся в буферную память (БП) и хранится там в течение времени сканирования данной строки. Передача информации со счётчика в БП происходит без нарушения процесса накопления отсчётных импульсов; таким образом, с приходом второго импульса от БОВ со счётчика снимается координата X_2 и т.д. В конце строки счётчик сбрасывается в ноль, а в БП засылается координата "Y" (номер строки), номер телевизионной камеры и признак. Буферная память "разбита" на две половины по 16 слов в каж-

дой; данные при сканировании N -ой строки засылаются в одну половину, а в это время содержимое другой половины ($N-1$ строка) передаётся в память ЭВМ ЕС-1040. Передача данных в ЭВМ осуществляется через КАМАК-интерфейс.

Данные о всех событиях, регистрируемых в импульсе ускорителя, накапливаются в памяти ЭВМ и во время паузы переписываются на магнитную ленту в заданном формате. Так как одно событие занимает в среднем 25К байт (см. стр. 16), то при стандартной плотности записи 800 байт/дюйм для записи события требуется $\sim 0,75$ м магнитной ленты. Это означает, что на одну бобину магнитной ленты (750 м) можно записать около 1000 событий.

На рис. 3 полностью показан только один телевизионный регистрирующий канал. Следует отметить, что каждая ТВ-камера вместе с БР и БОВ является самостоятельным модулем, из которых скомпонована вся система. В случае последовательной работы ТВ-камер БРК и БП являются общими для всех камер. При изменении режима работы ТВ-камер, например, при параллельной работе 2, 4 или 8 камер, соответственно увеличивается количество блоков БРК и БП, представляющих собой один модуль единичной ширины в стандарте КАМАК. Управление сканированием во всех случаях осуществляется от единого блока БУС.

Как было отмечено выше, в ТС заложена возможность выбора любого количества строк в кадре, что в совокупности с модульным принципом построения системы позволяет гибко изменять как её конфигурацию, так и режимы сканирования.

3.5. Организация сканирования изображения и передачи данных в режиме измерения ионизации

Возможность измерения ионизации⁵ области роста релятивистских потерь энергии является важным свойством установки РИСК, позволяющим использовать её как спектрометр для анализа частиц по скоростям и, таким образом, по массам. Поэтому, хотя создаваемая ТС в первую очередь ориентирована на измерение геометрических характеристик событий, представляется целесообразным параллельно с запуском системы в указанном режиме провести в реальных условиях методические исследования по измерению ионизации при бесфилмовом съёме информации.

Следует отметить, что режим измерения ионизации предъявляет повышенные требования к чувствительности и разрешающей способности ТВ-трубок, так как в этом случае необходимо регистрировать все стримеры на треках, а также к быстродействию каналов ввода и объёму памяти ЭВМ, вследствие увеличения объёма информации при сканировании изображения с максимальным разрешением.

Для трубки Халникон реально достигнутое в настоящее время разрешение составляет 500 телевизионных линий при глубине модуляции видеосигнала 40%. При выборе такого числа строк в одной ТВ-камере шаг сканирования в направлении наибольшего размера стримерной камеры будет равен $1300/512 = 2,5$ мм, что сравнимо с эффективным диаметром стримера в камере (~ 3 мм) и позволяет надеяться на успешное применение одного из способов измерения ионизации^{/33/} (примерно такой же шаг сканирования выбран в бесфильмовой системе для двухметровой стримерной камеры ЦЕРНа^{/9/}, где предполагается измерение ионизации):

Кроме координаты середины видеосигнала от стримера в режиме регистрации событий с измерением ионизации в ЭВМ будет передаваться также информация о ширине видеосигнала (7 двоичных разрядов, что соответствует точности $\sim 1\%$). Эта информация будет использоваться для определения средней ширины трека в алгоритмах выделения стримеров и просветов на треке^{/24/}.

Таким образом, каждый отсчёт характеризуется тремя байтами (2-координата и 1 - ширина трека), а общий объём информации на одно событие равен (512 строк \times 8 камер \times 15 треков \times 3 байта \times $0,5 \times 0,7$) + (512 строк \times 8 \times 2 байта) = 72К байт.

Требуемая скорость ввода данных по каналу ЭВМ колеблется от 190 до 1500К байт/с в зависимости от режима работы ТВ-камер. Следует отметить, что при измерении ионизации требование параллельной работы ТВ-камер становится ещё более жестким из-за возможного ухудшения разрешающей способности трубки при больших временах сохранения изображения. С этой точки зрения быстродействие 4-го селекторного канала ЕС-1040 явно недостаточно и он может быть использован только для отработки методики измерения ионизации при бесфильмовом съёме. При подключении к 1-ому селекторному каналу можно организовать параллельно-последовательный режим работы ТВ-камер по схеме 4x2 (считывание видеоинформации производится

Тип ЭВМ	Тип канала	Измер. ионизирующей защ.	Возможный режим работы ТВ-камер с учётом быстрой работы канала	Требуемое быстродействие в установленном режиме Кбайт/с	Мертвое время ТС	Производительность соо/с соо/имп/уск.	Требуемый объём буферн. памяти Кбайт	Интервал замены бооины на НМЛ
		нет	посл. 1x8	125	585	2	50	мин.
	4-й селектор. канал (в су-ществ. виде)	да	посл. 1x8	190	1100	1	72	75
	4-й селектор. канал (с до-работками)	нет	пар/посл. 2x4	250	325	3	75	72
	1-й селектор. канал	да	посл. 1x8	190	1100	1	72	72
	1250	нет	пар. 8x1	1000	130	8	200	350
	Прямой доступ в память с прерыванием работы процессора	да	пар/посл. 4x2	750	325	3	216	360
СМ-4	2000	нет	пар. 8x1	1000	130	8	200	350
		да	пар. 8x1	1500	195	5	300	648
								5,5

Примечания: 1. Во всех расчётах предполагается монопольное использование канала.

2. Требуемое быстродействие рассчитано, исходя из максимального количества координат на произвольно взятой строке.

3. Требуемый объём буферной памяти для накопления данных рассчитан, исходя из средних оценок по количеству треков с учётом их разрывности.

4. Плотность записи на НМЛ - 800 байт/дюйм.

в два приема параллельно с 4-х камер). Параллельная работа всех 8-ми ТВ-камер возможна только на линии с малой ЭВМ класса СМ-4.

В таблице I приведены некоторые технические характеристики телевизионной системы, зависящие от типа используемой ЭВМ и каналов ввода информации. Некоторые из этих данных, например, потенциальное быстродействие ТС в случае использования ЭВМ СМ-4, на первый взгляд представляют лишь академический интерес, однако в этих цифрах заложены возможности дальнейшего развития системы, о чем будет сказано ниже.

Таким образом, на основании приведенных выше расчетов и предложений можно сформулировать основные технические параметры системы бесфильмового съема информации со стримерной камеры установки РИСК:

Таблица 2.

№№ ПП	Параметр	Система без измерения ионизации	Система с измер. ионизации
1.	Точность, мм	0,5	0,5
2.	Разрешающая способность, мм	5	5
3.	Количество ТВ-камер	8	8
4.	Число строк в ТВ-камере	256	512
5.	Шаг сканирования, мм	5	2,5
6.	Максимальное число регистрируемых треков	15	15
7.	Масштаб уменьшения	100	100
8.	Время сканирования строки (с учетом обратного хода луча), мкс	256	256
9.	Частота отсчетных импульсов в БРК, МГц	40	40
10.	Объем данных на 1 событие, Кбайт	25	72
11.	Расход магнитной ленты на одно событие (800 байт/дюйм), м	0,75	2,75
12.	Количество событий на одной бобине магнитной ленты	1000	330
13.	Мертвое время ТС, мс	130	195
14.	Быстродействие ТС, соб/с		
	а) ЕС-1040 (4-й канал)	2	1
	б) ЕС-1040 (1-й канал)	8	3
	в) СМ-4	8	5

Другие параметры указаны в таблице I.

3.6. Коррекция дисторсий и калибровочные операции

Искажения изображений стримерных треков возникают из-за применения светосильных объективов, возможной дисторсии системы зеркал, дисторсий в электронно-оптических преобразователях и отклоняющих системах трубок, нелинейности разверток и т.п. Для коррекции этих искажений необходимо иметь большое число точек, фиксированных в пространстве стримерной камеры. Реперная система РИСК, состоящая из калибровочной сетки, расположенной в верхней плоскости камеры, и реперных крестов (в нижней плоскости) ^{719/}, удовлетворяет этому требованию и может быть использована для калибровочных операций в бесфильмовой системе съёма данных.

Калибровочная сетка представляет собой ряд поперечных и продольных нитей* с люминисцентным покрытием, натянутых на верхнюю реперную раму; размер ячейки — $10 \times 10 \text{ см}^2$. Регистрация изображения калибровочной сетки ТВ-камерами осуществляется в паузе между импульсами ускорителя. Освещение сетки производится импульсной ультрафиолетовой лампой.

Съём координат сетки осуществляется в двух ортогональных направлениях (путём электронного переключения направления развертки) во время послесвечения нитей. Общий объём регистрируемых данных составляет (12 коорд. \times 2 байта \times 256 строк \times 4 камеры \times 2 напр.) \approx 50 Кбайт на одну проекцию. Эти данные передаются в ЭВМ и записываются на магнитную ленту так же, как и координаты треков.

Программа калибровки вычисляет точки пересечения нитей и отклонения в их положении в плоскости сетки. Фитирование производится методом наименьших квадратов с использованием полиномов 5-й степени от двух переменных ^{735/}. Результатом работы программы являются массивы коэффициентов полиномов (калибровочные константы), которые позволяют представить результаты измерений координат треков в системе координат сетки. Таким образом получают средне-квадратичные и систематические ошибки в измерении координат треков. Систематические ошибки компенсируются введением поправочных констант.

* Более подходящей для телевизионной системы съёма информации является калибровочная сетка с нитями, натянутыми под углом 45° к направлению сканирования.

Процесс регистрации изображения сетки и обработки калибровочных данных периодически повторяется. Период калибровки будет определен в процессе методических измерений; для аналогичной аппаратуры, описанной в работах /1,30/, калибровка проводится 1 раз/час.

При сохранении оптической системы РИСКА вместе с координатами треков каждая ТВ-камера будет регистрировать 12-14 реперных крестов, причём соседние по пучку ТВ-камеры будут иметь 4 общих креста. Эта информация будет использоваться для сшивания треков и геометрической реконструкции событий.

3.7. Математическое обеспечение телевизионной системы

Программы математического обеспечения телевизионной системы съёма информации выполняют следующие задачи:

- а) приём видеoinформации и других данных (в том числе калибровочных), поступающих от установки и запись на магнитную ленту;
- б) экспресс-обработка видеoinформации в режиме реального времени с целью контроля работы систем и предварительной оценки характеристик событий;
- в) визуальное представление событий для просмотра;
- г) обработка части поступающих данных с целью оценки хода эксперимента и подготовки к полной обработке;
- д) полная реконструкция событий и кинематическая идентификация, создание *DST* лент;
- е) паспортизация событий.

Основное требование, предъявляемое к программе приёма данных от установки, заключается в необходимости минимизировать задержку начала приёма информации относительно момента получения сигнала о готовности события к передаче и проводить приём с эффективной скоростью возможно более близкой к максимальной для выбранного канала. Это реализуется приданием подзадаче приёма наибольшего приоритета и приёмом всей информации о событии одной канальной командой без обращения к центральному процессору.

Во время экспресс обработки в рамках он-лайн программы будет проводиться статистический анализ видеосигналов, выявляющий нали-

чие информации от всех передающих трубок, сопоставимость (по количеству точек) данных от трубок в стереопарах, наличие видеoinформации в областях реперных крестов, а также там, где появление треков маловероятно (контроль шумов и засветки) и т.д. Включение в экспресс-обработку упрощенных программ фильтрации, коррекции дисторсий и сшивания треков позволит анализировать характер событий. Для детального контроля могут использоваться средства визуального представления картины события.

Реконструкция события (пункт "Д") делится на несколько этапов: фильтрация видеоданных, выделение реперов и треков; коррекция дисторсий и сшивание треков; геометрическая реконструкция; кинематическая идентификация.

При разработке программы фильтрации можно в значительной мере использовать опыт работы на НРД с учетом реального уровня шумов в нашем случае.

Геометрическая реконструкция и кинематическая идентификация производятся с помощью разработанного и развиваемого комплекса программ в системе "ГИДРА", специфика бесфильмового съема на этой части обработки почти не отражается.

В пункте "Г" под обработкой подразумевается использование необходимых элементов реконструкции событий и дальнейшая обработка вплоть до получения некоторых физических результатов. Этот этап обработки проводится в рамках он-лайн программ.

Вопросы математического обеспечения системы массовой обработки информации при бесфильмовом съеме, а также организации просмотра и обработки информации в данном проекте не рассматриваются.

3.8 Размещение аппаратуры

Как указано выше, ТВ-камеры и часть электронных блоков будут установлены на оптической ферме РИСКА в местах, где в настоящее время расположены четыре фоторегистратора /19/. В этом случае две соседние (по пучку) ТВ-камеры размещаются в одном общем электромагнитном экране, конструкция которого во многом совпадает с конструкцией экранов, разработанных для телевизионной системы контроля стримерной камеры /17/. Все необходимое питание, импульсы синхронизации и управления, а также видеосигнал передаются по кабелям длиной около 40 м, заключенным в двойной экран-чулок.

Блоки управления сканированием, обработки видеосигналов, регистрации координат и др. будут размещены в экспериментальном домике в стойке КАМАК. В этой же стойке находится аппаратура передачи данных в ЭВМ и блоки питания ТВ-камер, ЭОПов и всех электронных схем телевизионной системы.

3.9. Возможности развития

Технические характеристики предлагаемой для РИСК системы бесфильмового съема информации не являются предельно достижимыми. Развитие системы может идти в направлении увеличения производительности системы (скорости регистрации) и разрешающей способности (в режиме измерения ионизации).

На установках с большими стримерными камерами достижима производительность 10 сов/с. Например, на камере *SLAC /25/* аппаратура срабатывала 10 раз/с. В проекте развития установки СКМ-200 */26/* предусматривается такая же частота работы системы высокого вольтного питания стримерной камеры. Можно предполагать, что указанное быстродействие будет достигнуто и на установке РИСК.

Уменьшение мертвого времени телевизионной системы может быть достигнуто, во-первых, за счет параллельной работы всех ТВ-камер (что обсуждалось в предыдущих разделах данного проекта) и, во-вторых, за счет увеличения скорости сканирования. Последнее касается уменьшения времени сканирования строки. Например, если выбрать длительность строки равной 128 мкс (с учетом обратного хода луча) что не является проблемой, то мертвое время ТВ-камеры при 256 строках составит около 100 мс. При этом достигается производительность 10 сов/с. Дальнейшее повышение скорости развертки сопряжено с техническими трудностями (необходимо увеличить полосу пропускания видеоусилителя и БОВ до 5-6 МГц, а также частоту отсчетных импульсов в БРК до 100 МГц и более) да и не имеет смысла, так как основное ограничение в этом случае заключается в невозможности дальнейшего уменьшения времени стирания остаточного изображения (65 мс).

Увеличение разрешающей способности (числа строк) ТВ-камер крайне важно для успешного измерения ионизации. Удовлетворительные результаты в разделении частиц по плотности ионизации были

получены при сканировании треков на НРД с шагом в 3-4 раза меньше диаметра стримера ^{/27/}. Для используемой трубки число строк разложения равно 1000 является предельным (это соответствует шагу сканирования ~ 1 мм в плоскости стримерной камеры). В разделе 2.4 проекта указано, что разработчики трубки могут обеспечить такое разрешение (путём установки специального прожектора). Применение усовершенствованных схем обработки видеосигнала ^{/9/} позволяет работать с небольшой (20-25%) модуляцией видеосигнала и предельным разрешением.

Однако при достижении указанных параметров как по скорости сканирования, так и по разрешению, особенно остро встает вопрос о быстродействии и объеме памяти ЭВМ. Так, требуемая скорость ввода данных в ЭВМ при параллельной работе ТВ-камер составляет в этом случае 2 Мбайт/с при прежнем объеме памяти на событие (25 Кбайт) без измерения ионизации и соответственно - 3 Мбайт/с и 142 Кбайт/соб. в режиме измерения ионизации.

Принимая во внимание, что наша оценка требуемого быстродействия канала ЭВМ по максимальному числу треков на произвольно взятой строке несколько завышена (хотя и учитывает отклонение от среднего числа треков за счет фоновых следов), можно считать, что ЭВМ СМ-4 по скорости ввода удовлетворяет нашим требованиям (во всяком случае разница в скоростях может быть устранена путем использования небольшой промежуточной памяти разравнивающего типа, т.к. количество регистрируемых координат на строке статистически распределено во времени).

Таким образом, остается одна проблема - объем буферной памяти ЭВМ. Если быстродействие РИСКА (5 событий за импульс ускорителя) в обозримом будущем не будет увеличено, то в бесфильмовой системе без измерения ионизации можно по-прежнему накапливать данные без предварительной обработки (125 Кбайт/имп.; бобина магнитной ленты заполняется за 30 мин). В режиме измерения ионизации (при числе строк 1024) требуемый объем буферной памяти увеличивается до 700 Кбайт/имп., что превышает возможности ЭВМ как ЕС-1040 в СНЭО, так и СМ-4.

В этом случае и особенно в случае повышения быстродействия РИСКА необходимо предварительно обрабатывать (сжимать) данные до накопления их в памяти ЭВМ, т.к. прямое накопление данных, например, с использованием цифровой видеомагнитной записи ^{/28/} в наших

условиях невозможно из-за отсутствия в странах-участницах ОИЯИ подходящих видеомагнитофонов.

В процессе исследований по бесфильмовому съему данных разработаны два алгоритма сжатия информации (фильтрация и выделение элементов треков при помощи прямоугольной матрицы из двоичных элементов ^{/23/} и использование метода вычислений в остаточных классах ^{/29/}), успешно проведено их опробывание на программных моделях и предложена аппаратная реализация.

Особое внимание уделялось различным вариантам алгоритма сжатия информации в процессе прослеживания треков. С целью проведения методических исследований разработан макет специального процессора (СП) для приема и сжатия информации, поступающей с телевизионных камер бесфильмовой системы.

Информация из блока регистрации координат ТС поступает в буферное запоминающее устройство (БЗУ) спецпроцессора, состоящее из двух блоков по 256 32-разрядных слов (13 разрядов - координата X, 10 - координата Y и 7 - ширина трека). ЗУ1 и ЗУ2 поочередно заполняются координатами стримеров. После заполнения очередного ЗУ блок управления СП начинает считывание координат, обработку в соответствии с выбранным алгоритмом и вывод в сжатом виде в ЭВМ. Естественно, что время считывания и обработки информации с ЗУ должно быть меньше времени его заполнения. Вся аппаратура СП ^{выполнена} на элементах Шоттки-ТТЛ в стандарте КАМАК. Выбор конкретного варианта алгоритма осуществляется переключателем на передней панели специального модуля, входящего в состав СП.

В макете СП предусмотрена возможность аппаратной реализации нескольких алгоритмов сжатия информации:

- сжатие в процессе прослеживания отдельных треков в пределах слайса. Выходной информацией СП для каждого трека являются координаты начала трека в пределах слайса (X_n, Y_n), угол наклона трека (α или β или $\pm \Delta X, \Delta Y$), а также параметры, необходимые для последующего офф-лайн вычисления ионизации - суммарная длина просветов ($\sum L$), число просветов (n_L), средняя ширина стримеров трека в пределах слайса (\bar{w}) и некоторые признаки;

- сжатие в процессе прослеживания отдельных стримеров. В этом случае из СП выдаются $X_n, Y_n, \pm \Delta X, \Delta Y$ и \bar{N} для каждого стримера (сгустка стримеров);

- сжатие в процессе прослеживания треков в пределах емкости ЗУ. Этот вариант алгоритма отличается от прослеживания трека в пределах слайса только тем, что максимально возможная "длина прослеживания" не ограничена длиной слайса, а определяется емкостью ЗУ и количеством треков в обрабатываемом фрагменте события. Отличается также формат выдаваемой (сжатой) информации. Следует отметить, что нельзя произвольно увеличивать емкость ЗУ, т.к. в этом случае для учета искажений и кривизны треков в СП необходимо ввести блок для вычисления поправок на изменения угла наклона треков и выдавать кроме координат начала и конца трека еще и ряд промежуточных точек. Таким образом, эффективность этого варианта алгоритма существенно зависит от сложности картины события и его топологии. Данный режим предусмотрен, в основном, для отработки методики измерения ионизации при сканировании одиночных прямолинейных треков, а также для определения оптимальной длины слайса.

В процессоре заложена возможность учета как всех без исключения просветов, так и просветов, имеющих длину $l_i > l_0$, где l_0 - некоторая минимальная длина. Величина l_0 , ширина коридора прослеживания, а также длина слайса задаются с пульта управления СП. Имеется также возможность обходить некоторые арифметические операции в алгоритме и изменять формат выходной информации. Все блоки спецпроцессора являются программно-управляемыми.

Конечной целью методических исследований является выбор алгоритма и отработка в реальных условиях аппаратуры спецпроцессора для он-лайн сжатия информации без потери точности восстановления геометрической картины события и точности измерения ионизации. Предварительные оценки, сделанные на основе

испытания программных моделей и учитывающие реально достигнутые на макете СП характеристики (в первую очередь быстродействие), показывают, что можно построить специальный процессор, работающий со скоростью сканирования в телевизионной системе и позволяющий в 5÷10 раз уменьшить объем информации до записи ее на магнитную ленту ЭВМ. При таком коэффициенте сжатия становится реальным накопление данных даже при увеличении быстродействия РИСКА до 10 соб./с.

Тем не менее представляется весьма актуальным вопрос о приобретении накопителей на магнитной ленте с плотностью записи 6250 байт/дюйм, что позволит почти в 8 раз уменьшить расход магнитной ленты на эксперимент (при той же стоимости магнитной ленты) и соответственно увеличить интервал замены бобин на НМЛ. Впрочем, эта проблема не является специфичной только для РИСКА, речь идет об обеспечении всех электронных экспериментов, ведущихся в СНЭО.

Наконец, учитывая модульный принцип построения телевизионной системы и возможность гибкого изменения ее конфигурации, а также то обстоятельство, что при создании ТС для РИСКА мы по многим параметрам сталкиваемся с экстремальными условиями (размер стримерной камеры, требуемые разрешения и световая чувствительность, объем регистрируемой информации и др.), можно утверждать, что для других известных в настоящее время стримерных камер бесфильмовые системы могут быть созданы за счет упрощения описанной выше системы.

Можно заметить, что ТВ-камера и регистрирующая аппаратура на линии с ЭВМ являются по существу телевизионным сканирующим автоматом (электронный аналог НРД). Области применения телевизионной аппаратуры в таком аспекте весьма обширны (ввод в ЭВМ чертежей, графиков и других материалов, записанных на фотопленку). Разработанная в ЛВГА система выборочного сканирования изображений практически снимает проблему объема регистрируемой информации /31/. Следует отметить растущую популярность телевизионных систем в смежных областях науки и техники (особенно в медикобиологических исследованиях) вследствие простоты,

высоких эксплуатационных характеристик, дешевизны и доступности таких систем /32/.

IV. План создания бесфильмовой системы съема информации со стримерной камеры установки РИСК

Основные работы по реализации данного проекта, касающиеся его первой очереди – запуска бесфильмовой системы в режиме измерения геометрических параметров событий, – предполагается завершить в 1980 году с тем, чтобы в 1981 году произвести комплексную наладку, методические измерения точностных и других характеристик ТС в сравнении с фильмовой методикой регистрации событий и запустить телевизионную систему на спектрометре РИСК.

Вторая очередь проекта – запуск ТС в режиме измерения ионизации – планируется на 1983 год.

В данной главе описана имеющаяся техническая база и изложен план основных работ.

4.1. Техническая база проекта

Работы по созданию бесфильмовой системы съема информации будут проводиться на базе телевизионной системы контроля (ТСК) стримерной камеры спектрометра РИСК, которая введена в эксплуатацию в 1979 году. Указанная система, разработанная совместно с ИФВЭ АН ГДР, предназначена для отображения на экранах телевизионных мониторов рабочего объема стримерной камеры с целью предоставления экспериментатору возможности выбора условий экспозиции и получения сведений о режиме работы камеры (газовая и высоковольтная системы) и о топологии событий. Эта информация необходима для наладки режима работы стримерной камеры, а также для настройки эксперимента и периодического контроля.

ТСК включает в себя четыре ТВ-камеры с передающими трубками Халникон в сочленении через волоконную оптику с ЭОПами, два устро-

ства запоминания телевизионных изображений на трубках Литокон, ТВ-мониторы, устройство управления и синхронизации, коммутаторы видеосигналов, пульт управления и другие блоки. Все ТВ-камеры работают в телевизионном стандарте с использованием только одного полукадра (312 строк). Запуск ТСК осуществляется от триггера установки РИСК в момент срабатывания стримерной камеры. Оптическое изображение объема стримерной камеры преобразуется в ТВ-камерах в последовательность видеосигналов, которые модулируют электронный луч в запоминающих трубках Литокон, формируя таким образом на мишени Литокона электростатическое изображение картины события в стримерной камере. Изображение с двух ТВ-камер записывается на две половинки мишени Литокона. В режиме считывания информации с Литокона на монитор образуется полный телевизионный кадр (625 строк). Полная картина события (4,6 м) изображается на экранах двух рядом расположенных мониторов. Время воспроизведения очередного события на экране определяется самим оператором и может составлять от десятков мс до 15 мин без ухудшения качества изображения.

Создание ТСК является важным этапом как в работах по запуску и эксплуатации спектрометра РИСК (непосредственный визуальный контроль неэффективен),

так и с точки зрения разработки бесфильмовой системы съема информации, поскольку в процессе создания ТСК были решены многие инженерные проблемы, существенно важные для разработки бесфильмовой системы (выбор и исследование характеристик ТВ-трубок, разработка блока аналоговой обработки видеосигнала, защитных экранов, устройств запоминания ТВ-изображений и др.).

Часть других блоков, необходимых для бесфильмовой системы, таких как блоки регистрации координат и управления сканированием, были разработаны для телевизионной установки на линии с ЭВМ М-6000, на которой проводились стендовые испытания ТВ-трубок. Указанные блоки выполнены в стандарте ГАМАК и могут быть использованы в бесфильмовой системе после некоторых доработок, учитывающих специфику работы аппаратуры на РИСКе (изменяются времена развертки, количество ТВ-камер и др.).

Указанные разработки являются серьезной базой для проведения работ по бесфильмовому съему информации с РИСКа.

4.2. План основных работ

Телевизионные камеры системы контроля расположены на оптической ферме РИСКА между четырьмя фоторегистраторами и образуют третью проекцию картины событий в стримерной камере. Именно это обстоятельство позволяет непосредственно после запуска ТСК приступить к изготовлению и монтажу прототипа бесфильмовой системы (для одной проекции) и отработке в реальных условиях основных её узлов путём простого добавления аппаратуры для регистрации координат треков и передачи их в ЭВМ при параллельной работе системы контроля по её прямому назначению.

Таким образом, синхронно с регистрацией на фотоплёнку двух проекций события на магнитную ленту ЭВМ будет записываться третья проекция от ТВ-камер. Разумеется, это будет сравнительно грубая цифровая картина события, поскольку в ТВ-камерах ТСК используются промышленные электронные блоки формирования и развёртки луча, не обеспечивающие необходимой точности, линейности и стабильности. Однако наличие указанного прототипа бесфильмовой системы, во-первых, даёт реальный материал и фронт работ программистам, создающим математическое обеспечение ТС; во-вторых, позволяет по мере разработки прецизионных аналоговых и других блоков вводить их в действующую систему и проверять в реальных условиях; в-третьих, записанная на магнитную ленту информация может быть использована для просмотра и отбора событий для дальнейшей обработки фильмового материала на сканирующих автоматах ^{ж)}; в-четвёртых, обработка данных с ТВ-камер по всей цепочке программ вплоть до геометрической

ж) Хотя в данном проекте телевизионная система просмотра не рассматривается, можно тем не менее отметить ряд её преимуществ по сравнению с обычным просмотрным оборудованием: возможность увидеть на дисплее событие целиком (такая же информация находится на 4 кадрах двух плёнок); на дисплей выводятся предварительно скорректированные на искажения ЭОПов и "сшиные" события (т.е. более реальная картина, чем на просмотрном столе); одновременно с изображением события на дисплей могут быть выведены данные от внешних детекторов, что также важно для анализа события; существенно повышается скорость просмотра; для некоторых задач "просмотр" может быть полностью автоматизирован (при наличии соответствующего программного обеспечения).

реконструкции и кинематической идентификации событий для каждой пары проекций дает возможность на всех этапах создания бесфильмовой системы получать объективные данные о ее точности и других параметрах в сравнении с фильмовой регистрацией и обработкой.

После разработки и изготовления всех необходимых узлов и их испытания на прототипе ТС фоторегистраторы на РИСКе будут заменены ТВ-камерами и будет произведен запуск бесфильмовой системы в режиме измерения геометрических характеристик событий. Параллельно с этими работами будут проводиться методические исследования по измерению ионизации (опять-таки в сравнении с фильмовой информацией; после запуска первой очереди ТС один или два фоторегистратора могут быть установлены на месте ТВ-камер) и в случае положительного результата в систему будут внесены необходимые изменения для работы в этом режиме.

Все указанные инженерные и методические работы, а также работы по программному обеспечению бесфильмовой системы будут выполняться на ЭВМ ЕС-1040. С 1981 года после приобретения малой ЭВМ СМ-4 для накопления данных и управления телевизионной системой будет использоваться эта машина. Но в любом случае будет сохранен выход на ЕС-1040 для обработки эталонных событий по всей цепочке программ и, таким образом, для контроля эксперимента.

У. Заключение

Приведенные в данном проекте материалы показывают актуальность, практическую возможность и экономическую целесообразность создания бесфильмовой системы съема информации со стримерной камеры установки РИСК и других аналогичных камер.

В результате реализации предложений настоящего проекта в 1981 году будет создана и запущена первая очередь бесфильмовой системы для измерения геометрических параметров событий в стримерной камере установки РИСК, а после проведения методических исследований в 1982-1983 годах будет создана вторая очередь бесфильмовой системы регистрации и обработки информации с измерением ионизации.

Технической базой для реализации проекта является телевизионная система контроля стримерной камеры установки РИСК, созданная в результате проведения исследований по бесфильмовому съему информации в 1975-1978 гг., поэтому реализация настоящего проекта возможна в

короткие сроки и с минимальными материальными затратами.

Учитывая модульный принцип построения системы и возможность гибкого изменения ее конфигурации, а также то обстоятельство, что многие параметры бесфильмовой системы для РИСКА являются экстремальными (размер стримерной камеры, требуемая точность и разрешающая способность, объем регистрируемой информации и др.), можно утверждать, что для других известных в настоящее время стримерных камер бесфильмовые системы могут быть созданы за счет упрощения описанной в проекте системы.

Авторы искренне признательны Ю.Бечеру, Я.Бэму, Н.Д.Дикусару, В.Г.Иванову, А.Майеру, Ю.П.Мерекову, В.И.Морозу, В.М.Новикову, Г.А.Ососкову, Д.Позе, Р.Позе, Л.Г.Ткачеву, Н.Н.Хованскому и Б.А.Хоменко за полезные обсуждения и поддержку данной работы.

Л И Т Е Р А Т У Р А

- I. J. Garvey et al., in Proc. Conf. on Instrumentation for high energy physics, Frascati (1973).
2. Горохов В.П. и др. ПТЭ, № 6, 1973, стр.67-70.
3. J. Badier et al. Nucl. Instr. and Meth. 127 (1975) pp. 487-494
4. D. J. Martin et al. Nucl. Instr. and Meth. 140 (1977) pp.583-585
5. A. Huber and A. Ladage. Tests of TV cameras on strimer chambers, DESY, Hamdurg (см. работу^{3/}).
6. F. Cesaroni et al. Preliminary results about the use of a TV system applied to a streamer chamber. University of Rome, Internal report p. 456, 1973.
7. F. Villa and L. C. Wand, SLAC-PUB-1890, March 1977 (E).
8. H. Brettel. Image sensors for very low light level. In Proc. Conference on scanning systems, Padova, 1976.
9. J. Fent. A video-readout system. In Proc. Conference on scanning systems, Padova, 1976.
10. Дворников Б.Д. и др. "Электронная промышленность", 1974, вып. 3(27), стр.21.
11. Мостовский А.А. и др. "Электронная промышленность", 1975, вып.12, стр.46.
12. Бечер Ю, Ваттенбах К., Гришкевич Я.В., Завьялов В.Ф., Карлов А.А., Петер Г., Приходько В.И., Тутышкин Ю.В., Шюлер Й. О возможности создания телевизионной системы контроля стримерной камеры установки РИСК, ОИЯИ, Р13-10219, Дубна, 1976.
13. Алексеева Н.П., Бечер Ю., Завьялов В.Ф., Карлов А.А., Ляйсте Р., Никульников А.В., Перелыгин С.Г., Приходько В.И., Тутышкин Ю.В., Шюлер Й., Щелев С.А.
Телевизионная установка на линии с ЭВМ для проведения исследований по бесфильмовому съему данных со стримерных камер. Материалы семинара по обработке физической информации. Агверан, сентябрь 1975, стр. 420-425. Изд. Ереванского физического института, 1976.

14. W.O.Wallick et al. University of Washington, Preprint VTL-PUB-37 (May 1977).
15. Ваттенбах К., Приходько В.И., Тон Т.
Сканирующее устройство на приборе с зарядовой связью для ввода в ЭВМ полутонных изображений. Тезисы доклада на II Всесоюзном Совещании по автоматизации научных исследований в ядерной физике. Алма-Ата, II-III октября 1978 "Наука", Каз.ССР
16. Вильдгрубе Г.С. и др. Техника кино и телевидения, 1977, № 10, стр.42.
17. Бечер Ю., Ваттенбах К., Гришкевич Я.В., Завьялов В.Ф., Карлов А.А., Петер Г, Приходько В.И., Тутышкин Ю.В., Шюлер Й.
Телевизионная система контроля стримерной камеры установки РИСК. Материалы II Всесоюзного семинара по обработке физической информации. Ереван, сент. 1977. Из-во Ер. физ. ин-та, 1978.
18. Долгошеин Б.А. и др. Труды международной конференции по физике высоких энергий, Дубна, 1964.
19. Андреев Е.М., Бом Г., Бэр Ю., Либмен Г., Суворов В.М., Хардер У., Шюлер Й.
Оптическая система установки РИСК (проект). ОИЯИ, I3-8550, Дубна, 1975.
20. Брацлавец П.Ф. и др. Космическое телевидение. "Связь", М. 1973.
21. F.Cesaroni et al. Improvement of the resolving power of a TV system, University of Rome, Internal report n. 475, 1973.
22. Горбунов Н.В., Морозов Б.А.
Блок связи нестандартного оборудования с каналами ЕС ЭВМ. ОИЯИ, II-II334, Дубна, 1978.
23. Кадыков Г.М. Машинный эксперимент с моделью схемы опознавания элементов трека. ОИЯИ, BI-IC-II575, Дубна, 1978.
24. Гласнек К.-П., Кадыков Г.М.
Об одном алгоритме выделения стримеров и просветов у стримерных треков в задаче идентификации частиц по плотности ионизации. ОИЯИ, IO-IO923, Дубна, 1977.
25. D.C.Fries et al. Nucl. Instr. and Meth. 107 (1973) pp.141-155.
26. Глаголева Н.С. и др. Депонированная публикация. ОИЯИ, BI-I3-II289, Дубна, 1978.
27. V.Eckardt et al. Nucl. Instr. and Meth. 143 (1977), n.2.
28. S.Cittolin and B.C.Taylor, in Proc. IERE Conf. on Video and Data Recording, Birmingham, 1976, pp. 99-110.

29. Ососков Г.А., Перельгин С.П., Приходько В.И., Тон Т., Челнокова В.В. Об одном алгоритме сжатия информации при бесфильмовом съеме данных со стримерных камер. Труды Совещания по программированию и математическим методам решения физических задач. Дубна, 20-23 сентября 1977 г.
30. Беляков Э.С. и др. ПТЭ, № 5, 1972.
31. Бечер Ю., Завьялов В.Ф., Приходько В.И.
Блок управления сканированием и отсчетный канал телевизионной установки на линии с ЭВМ, ОИЯИ, IO-II397, Дубна, 1978.
32. G.Zanella and M.Vascon, Applied Optics, Dec. 1977.
33. Кадыков Г.М., Ляйсте Р., Ососков Г.А.
Имитационное моделирование треков в стримерной камере для выбора метода оценки плотности следов. ОИЯИ, Д-IO-7007, Дубна, 1974.
34. G.Bohm et al. Proc. of the first International Conference on Streamer Chamber technology, ANL, September, 1972, pp. 117-120.
35. Байла И., Ососков Г.А. Проблемы и алгоритмы калибровки устройств для измерения снимков с трековых камер. ОИЯИ, P10-II834, Дубна, 1978.

Handwritten signatures and notes:
 Завьялов
 Перельгин
 Приходько
 Тон
 Челнокова
 Беляков
 Бечер
 Кадыков
 Ляйсте
 Ососков
 Байла
 31.01.80г