

0-342

ОБЪЕДИНЁННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

И АВТОМАТИЗАЦИИ

ОВСОВ

Юрий Викторович

СКАНИРУЮЩИЕ ТЕЛЕВИЗИОННЫЕ УСТРОЙСТВА
ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ КАМЕРНЫХ
СНИМКОВ

Специальность 05.260 -
приборы экспериментальной физики

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

(Диссертация написана на русском языке)

Работа выполнена в Институте физики высоких энергий
Академии наук Казахской ССР.

Научные руководители:

академик АН КазССР, профессор
Ж.С. ТАКМБАЕВ
кандидат физико-математических наук
Э.Г. БОСС

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук
И.И. ЦУККЕРМАН
кандидат технических наук
Ю.А. КАРЖАВИН

Ведущее научно-исследовательское учреждение:
Радиотехнический институт АН СССР (г. Москва).

Автореферат разослан " _____ " _____ 1973 г.

Защита диссертации состоится " _____ " _____ 1973г.
на заседании Ученого Совета Лаборатории вычислительной
техники и автоматизации ОИЯИ в г. Дубне Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ СОВЕТА

Е.А. ЛОГИНОВА

О В С О В
Юрий Викторович

СКАНИРУЮЩИЕ ТЕЛЕВИЗИОННЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ
АВТОМАТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ КАМЕРНЫХ СНИМКОВ

Специальность 05 260 -
приборы экспериментальной физики

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

(Диссертация написана на русском языке)

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Анализ ядерных взаимодействий в пузырьковых камерах дал возможность получить в последние годы наибольшее число важнейших научных результатов в области физики высоких энергий. С целью изучения ядерных реакций при энергиях, достижимых на ускорителях заряженных частиц, в Институте ядерной физики АН КазССР по инициативе академика АН КазССР профессора Ж.С.Такибаева в 1963 г. создан Центр по обработке и анализу камерных снимков и начата разработка измерительно-вычислительного комплекса.

В диссертации изложены материалы, представляющие собой результат работ, выполненных автором в ИЯФ - ИФВЭ АН КазССР за период с 1963 по 1972 г. Целью проведенных исследований и разработок было создание комплекса просмотрово-измерительных устройств для автоматической обработки камерных снимков, обладающего достаточно высокой производительностью, так как постановка каждого эксперимента в настоящее время связана, как правило, с необходимостью обработки сотен тысяч стереоснимков, получаемых при фотографировании ядерных взаимодействий в пузырьковых камерах.

Работы автора по созданию полуавтоматических устройств для обмера камерных снимков завершились созданием в ИФВЭ АН КазССР просмотрово-измерительного комплекса, включающего в себя просмотровые проекторы и полуавтоматы ПУ-21, ПУ-23 /1/, ПУОС-1М /2,3/. Общая производительность комплекса с учетом 30% перемера событий доведена до 40

сяч четырехлучевых событий в год. Большая часть полуавтоматов эксплуатируется в институте в течение 5-7 лет.

На основе предложенного автором нового способа измерения перемещающихся объектов /4/ и проведенных им исследований созданы сканирующие телевизионные устройства, позволяющие вести работу либо в режиме автоматического измерения ионизационных потерь (телевизионный полуавтомат) /5,6,7/, либо в режиме автоматического измерения координат следов частиц и ионизационных потерь (сканирующая установка "Сауле") /8,9,10,11/. Два телевизионных полуавтомата эксплуатируются в течение 2-3 лет. В результате их внедрения в лабораториях института существенно сократился разрыв между скоростью измерения импульсов и ионизационных потерь частиц в пузырьковых камерах и в несколько раз повысилась эффективность идентификации событий в процессе кинематического анализа /12,13/. Отработаны и испытаны основные блоки сканирующей установки "Сауле". Лабораторный образец прибора подготовлен к стыковке с управляющей ЦВМ. Ожидаемая производительность "Сауле" - 15-20 четырехлучевых события в час.

Диссертация состоит из 5 глав.

I.

В первой главе рассмотрены методы и устройства, используемые для автоматизации процесса измерения ионизационных потерь /14/ и координат следов частиц на снимках с

пузырьковых камер /15/, проанализированы преимущества и недостатки этих устройств, приведены их основные технические характеристики, дана классификация /16/. Оценка влияния различных дестабилизирующих факторов позволила определить требования к точности измерения координат отдельных точек следа частицы на снимке. Величина 1-3 мкм практически является пределом требуемой точности.

В настоящее время физики-экспериментаторы располагают достаточно большим числом автоматических устройств различного класса для обработки камерных снимков, в том числе таковы высокопроизводительными системами, как ИРД, СИ, Полли. Современные измерительные устройства вырастают в целые системы, обязательной составной частью которых являются вычислительные машины, осуществляющие оперативную обработку поступающих данных, контроль качества измерения, управление процессом измерения, расчет реакций по геометрическим и кинематическим программам.

Появление мощных измерительных систем не сняло необходимости в полуавтоматических установках, так как для обработки значительного числа событий по разным причинам требуется участие человека. Значительное увеличение производительности полуавтоматических установок типа Франкенштейн, ПУОС достигается при максимальной автоматизации всех вспомогательных операций процесса измерения и объединения их в системы, работающие в режиме прямой связи с вычислительной машиной.

Повысить эффективность идентификации событий и расширить возможности камерной методики позволяет дополнительная информация об ионизационных потерях частиц. Анализ показал, что задача измерения ионизационных потерь может быть успешно решена с помощью телевизионных устройств. Телевизионные автоматы дают возможность с высокой точностью снять всю информацию о плотности следа частицы. Использование электронного луча трубки в качестве сканирующего элемента делает телевизионный способ более гибким по сравнению с механическими сканирующими устройствами, позволяя решить ряд логических задач по фильтрации помех, выделению полезной информации, управлению положением трека.

П.

Вторая глава посвящена исследованию и разработке телевизионного полуавтомата, предназначенного для автоматического измерения параметров, характеризующих ионизационные потери заряженных частиц ядерных взаимодействий в пузырьковых камерах /17/. Полуавтомат измеряет и регистрирует длину отдельного просвета на треке l_i , величина которого превышает минимальный размер l_0 , суммарную длину всех просветов $\sum l_i$, их число N и полную длину измеренного участка трека L . Измеряется весь исследуемый трек, за исключением участков, на которых он пересекается с другими треками или проходит на небольшом расстоянии от них (менее 60 мкм по пленке). Оператор наблю-

дает увеличенное в 30 раз изображение перемещающегося трека на оптическом обзорном экране. Центральную часть изображения, увеличенную в 200 раз, он видит на телевизионном экране видеоконтрольного устройства. Это позволяет оператору при необходимости активно включиться в процесс измерения. Суммарная длина исключенного из измерения участка трека зависит от загруженности снимка, его качества и, как правило, не превышает нескольких процентов от полной длины трека. В момент окончания прослеживания трека вся информация о $\sum l$, N и L нажатием кнопки "Конец трека" выводится на ленточный перфоратор ПД-20^{/3/}.

Средняя скорость измерения на телевизионном полуавтомате (30 + 50) см/час (по пленке), что в 10-20 раз выше по сравнению с измерением на микроскопе МБИ-9, снабженном автоматической приставкой для счета числа разрывов ^{/13/}. Точность измерений на полуавтомате (4-8)%, что позволяет однозначно идентифицировать частицы вплоть до импульса (2 + 2,5) Гэв/с ^{/12/}. Кроме увеличения точности и скорости измерения, телевизионный полуавтомат значительно улучшает условия работы оператора, что также влияет на общую производительность обработки снимков. За человеком сохранилась роль интеллектуального наблюдателя, который осуществляет лишь поиск требуемого события на кадре, выбор трека для измерения, исключение путем нажатия кнопки "Запрет" участков на треке, которые могут привести к искажению результатов измерения, установку исходных пара-

метров измерения (l_0 , скорость перемещения V , уровень дискриминации J). За измеряемым треком оператор наблюдает по обзорному экрану видеоконтрольного устройства. Измерения проводятся устройством автоматически, и на их результатах не сказываются индивидуальные особенности оператора, его утомляемость.

В рассматриваемой главе приведены результаты исследования влияния отдельных параметров телевизионной системы на точность измерения параметров микроструктуры трека. Показано, что наибольшее ограничение на точность накладывают геометрические и нелинейные искажения раstra, неравномерность сигнала по строке, наличие помех в зоне сканирования, инерционность видикона и нестабильность скорости перемещения трека. С целью исключения или значительного снижения влияния перечисленных факторов автором предложен новый телевизионный способ измерения параметров перемещающихся объектов ^{/4/}, отличительной особенностью которого является то, что распознавание границ перемещающихся пузырьков трека осуществляется телевизионной системой посредством одной читающей строки каждого полукадра, а отсчет расстояний между пузырьками ведется с помощью датчика линейных перемещений на дифракционных решетках, жестко связанного со снимком.

На точность и производительность телевизионного полуавтомата существенно влияет выбор оптимальной рабочей скорости перемещения снимка. Скорость выбирается с учетом

следующих требований: дискретность отсчета границ пузырьковой и инерционность видикона не должны заметно увеличивать погрешность измерения; вибрационная скорость должна обеспечивать для оператора удобство наблюдения за треком при перемещении его увеличенного изображения по обзорному экрану. Показано, что средняя квадратическая ошибка, связанная с дискретностью отсчета (рис.1), равна /13/

$$\delta = \sqrt{\frac{H^2 + L^2}{6}} \quad (1)$$

где $H = \frac{V}{F}$ - шаг сканирования; V - скорость перемещения трека; $F = 50$ гц - частота сканирования; L - цена отсчета расстояния. При $V = 0,25$ мм/сек ошибка равна $\delta = 2,3$ мкм. Для расчета плотности следа используется значение средней длины просвета \bar{L} . Стандартная ошибка среднего арифметического \bar{L} равна $\delta_{\bar{L}} = \frac{\delta}{\sqrt{N}}$. Практически ошибка, вносимая дискретностью отсчета расстояний, значительно меньше статистической ошибки при расчете плотности.

В телевизионном полуавтомате использована передающая трубка-видикон. Трубкам этого типа присуща определенная инерционность, т.е. свойство генерировать сигнал в течение некоторого времени после исчезновения объекта. Инерционные свойства могут быть оценены по величине остаточного сигнала через определенный интервал времени после изменения освещенности фотослой /17/:

$$\gamma = \frac{i_{сн} - i_{\infty}}{i_0 - i_{\infty}} \quad (2)$$

Величина γ является функцией многих переменных. На основании экспериментальных графиков $\gamma = \varphi(U_{сн}, I_n, E)$, где $U_{сн}$ - напряжение на сигнальной пластине; I_n - ток пучка; E - освещенность фотокатода, выбирается рабочий режим видикона, который обеспечивает минимальную инерционность.

Распределение плотности почернения по диаметру изображения пузырька подчинено нормальному закону. Инерционность видикона приводит к увеличению дисперсии распределения плотности пузырьков при перемещении трека, фазовому сдвигу сигналов от изображения пузырьков и постепенному уменьшению амплитуды этих сигналов. В работе дана количественная оценка влияния этих факторов на результаты измерения расстояния между пузырьками трека.

Оптимальным с точки зрения количества регистрируемых просветов и стабильности результатов измерения является уровень ограничения $J = 0,6 + 0,7$. При выбранном уровне дискриминации и заданной инерционности видикона важно обеспечить постоянство скорости перемещения снимка, так как нестабильность скорости увеличивает ошибку результата измерения. Так как жесткая связь между приводом и каретками отсутствует, то нестабильность скорости перемещения достигает $\pm (20-30)\%$, возможны проскальзывания кареток.

Чтобы обеспечить стабильность результатов измерения, разработана схема стабилизации скорости по интенсивности импульсов с датчика линейных перемещений, которая обеспечивает разброс скорости в пределах 2-3%.

В отличие от известных телевизионных проекторов в разработанных полуавтоматах размер зоны сканирования выбран максимально возможным с тем, чтобы обеспечить удобство работы для оператора при прослеживании трека на предельной скорости. Но чем больше размер зоны сканирования, тем большее число помех в виде пузырьков соседних треков и фона попадает в ее пределы (рис.2). Чтобы обеспечить достаточно высокую надежность результатов измерения, для фильтрации помех такого рода в телевизионном полуавтомате разработана схема стробирования заданного трека. Ширина стробимпульса в 2-3 раза больше длительности видеосигнала от изображения пузырька среднего диаметра. Стробимпульс автоматически сопровождает трек при любых его перемещениях вдоль читающей строки.

Одним из свойств видеокана является неравномерность сигнала и фона по полю раstra, которая может достигать 35-40% /19/. Ошибка в определении плотности трека из-за неравномерности сигнала связана с тем, что на формирователь подаются сигналы, превосходящие по амплитуде определенный уровень дискриминации. Так как уровень дискриминации принят постоянным, то изменение амплитуды сигнала при смещении вдоль строки приводит к ошибке в определе-

нии расстояний между пузырьками следа. Чтобы исключить причину ошибки или существенно снизить ее влияние, трек в процессе измерения необходимо удерживать в центре строки.

Результаты исследований использованы при разработке структурной схемы телевизионного полуавтомата, его функциональных и принципиальных схем, учтены при конструировании отдельных опико-механических узлов. Схема телевизионного полуавтомата включает в себя устройства формирования счетных импульсов и их накопления, телевизионное устройство управления распределением счетных импульсов, устройства стабилизации скорости перемещения кареток и подкоррекции положения трека на строке, а также вывода и регистрации информации /7/. Разработанная схема позволяет использовать для создания прецизионных автоматических устройств измерения геометрических и ионизационных параметров следов частиц стандартные промышленные телевизионные установки. По сравнению с известными зарубежными телевизионными устройствами /20,21/ разработанные полуавтоматы имеют некоторые преимущества и обеспечивают более высокую точность измерения /12/.

III.

В третьей главе диссертации приведены результаты экспериментальных исследований телевизионного полуавтомата. Чтобы проверить выводы и приближенные теоретические оценки влияния различных факторов на точность измерения параметров микроструктуры трека и выбрать оптимальный ре-

жим работы устройства, в процессе опытной эксплуатации полуавтомата были сняты зависимости параметров $\sum \rho_i, N, \bar{\rho}$ и амплитуды сигнала от скорости V перемещения трека, зависимость ошибки измерения от смещения трека по строке и изменения уровня ограничения сигнала от изображения пучков по амплитуде. На основании обработки результатов эксперимента рассчитаны ошибки измерения параметров микроструктуры трека. Экспериментальные данные показали, что интересующие нас параметры постоянны до скорости 0,25-0,35 мм/сек. При дальнейшем увеличении скорости они изменяются, но в равной степени. Для расчета плотности используется величина средней длины просветов $\bar{\rho} = \frac{\sum \rho_i}{N}$, а так как характер изменения величин $\sum \rho_i$ и N от скорости одинаков, то естественно, что величина

$$\frac{\bar{\rho}}{\bar{\rho}'} = \frac{\sum \rho_i / N}{\sum \rho_i' / N'} = \frac{\sum \rho_i}{\sum \rho_i'} \cdot \frac{N'}{N} \quad (3)$$

зависит от V в меньшей степени. Действительно, отношение $\frac{\bar{\rho}}{\bar{\rho}'}$ остается постоянным практически до 0,4-0,45 мм/сек (по пленке). Таким образом, наибольшие изменения при увеличении скорости перемещения трека претерпевает число регистрируемых просветов N . При $V = 0,5$ мм/сек относительные величины амплитуды сигналов, суммарной длины просветов, средней длины просветов изменяются на 5-8%, относительная величина числа регистрируемых просветов - на 12-15%.

Стабильность результатов измерения зависит, в частности, от выбора уровня дискриминации \mathcal{J} сигнала. Показано, что наибольшая стабильность достигается при $\mathcal{J} = (0,6-0,7) U_{max}$. При этих условиях обеспечивается также регистрация максимального числа просветов на следе (рис. 3). Так как статистическая ошибка измерения плотности зависит от числа регистрируемых просветов, то критерием для определения оптимальной скорости перемещения было выбрано условие регистрации максимального числа просветов. Исходя из этого, рабочая скорость принята равной 0,25 мм/сек (по пленке).

Чтобы оценить погрешность из-за смещения трека вдоль строки, в одиноких условиях измерены параметры $\sum \rho_i, \bar{\rho}, N$ для одного и того же трека в центральной части и по краям раstra. Установлено, что относительная ошибка средней длины просвета трека увеличивается в 2-2,5 раза, если трек в процессе измерения смещается по строке. Система автоматической подкоррекции трека, удерживающая его в центре строки с точностью $\pm 10\%$, позволяет практически исключить эту ошибку.

При выбранном режиме работы телевизионного полуавтомата проведены серии измерений с целью определения точности и воспроизводимости результатов. Ошибка измерения отдельного просвета не зависит от его длины и лежит в пределах единицы отсчета расстояния, т.е. в пределах $\pm 2,5$ мкм. Средняя квадратическая ошибка измерения сред-

ней длины просветов примерно 0,5 мкм, относительная ошибка при этом около 1%, что существенно меньше статистической ошибки измерения плотности и тем более меньше полной ошибки измерения относительной плотности (ρ/ρ_0), которая лежит в пределах 4-8% [13]. Таким образом, ошибкой, вносимой прибором, при расчете плотности можно пренебречь.

Измерения средней длины просветов в течение длительного времени показали, что результаты лежат в пределах одной статистической ошибки. Обмер реальных событий на снимках с двухметровой водородной пузырьковой камеры ЦЕРН^а из $p\bar{p}$ -взаимодействий при первичном импульсе 19,1 Гэв/с и из $\bar{p}p$ -взаимодействий при первичном импульсе 11,16 Гэв/с показал, что телевизионный полуавтомат позволяет однозначно идентифицировать положительные и отрицательные частицы ядерных реакций вплоть до импульса 2 Гэв/с при длине измеряемого следа 2 см (по пленке) и до 2,4 Гэв/с при длине следа 10 см. Таким образом, телевизионный полуавтомат по точности измерения ионизационных потерь не уступает известным зарубежным автоматическим установкам. Средняя скорость измерения на полуавтомате составляет 30-50 см/час, что в 10-20 раз выше, чем на микроскопах МБИ-9 с автоматической приставкой, используемых в институте до внедрения телевизионных установок.

IV.

В четвертой главе приводится описание макета сканирующего автомата "Сауле" и анализируется влияние на точность измерения ряда факторов, связанных с изготовлением и юстировкой оптико-механических узлов, несинхронностью отработки угла поворота и ошибкой считывания угла. Сканирующий автомат (рис.4) состоит из устройства считывания и кодирования пленочной информации, включающего блоки отсчета координат оптического центра системы (14,15), отсчета координат центра пузырьков в зоне сканирования (4,5,6,9), отсчета углового положения диссектора (1,2), а также устройства отработки команд управляющей вычислительной машины (УВМ), включающего блоки автоматического управления приводами кареток (16,19), стрелки и диссектора (7), системы поиска заданного кадра (12,13). В установке "Сауле" предусмотрена также возможность ручного управления перемещением кареток (17), поворотом стрелки (8) и лентопротяжным механизмом (18). Перечисленные устройства позволяют осуществить автоматическое считывание пленочной информации и преобразования ее в цифровой код, передаваемый по командам в УВМ. С другой стороны, они обеспечивают возможность перемещения зоны сканирования в любую точку плоскости снимка, координаты которой задает вычислительная машина, изменение направления сканирования на любой заданный машиной угол в пределах $\pm 90^\circ$. Это дает возмож-

ность организовать с помощью УВМ автоматический обмер реперных крестов, выход в район вершины взаимодействия, проследивание треков, возврат в вершину, переход к следующей проекции, поиск заданного кадра. Работа сканирующего автомата "Сауле" предусматривает непосредственную связь с вычислительной машиной в составе измерительно-вычислительного комплекса, включающего кроме сканирующих автоматов и управляющей вычислительной машины, просмотрово-измерительные проекторы и машину БЭСМ-6. Часть информации, необходимой для организации управления процессом измерения, хранится в виде констант в памяти УВМ (например, координаты реперных крестов на различных проекциях), часть извлекается из библиотеки событий, сформированной по результатам предварительных грубых измерений на проекторах. Таким образом, сканирующий автомат позволяет организовать замкнутую систему автоматической обработки камерных снимков, в которой управляющая машина максимально автоматизирует все основные операции процесса подготовки и проведения измерений.

Одним из основных в установке "Сауле" является устройство считывания пленочной информации. Расчеты, приведенные в диссертации, показали, что в качестве светочувствительного элемента сканирующего устройства может быть использован диссектор типа ЛД-604 /22/. Одним из существенных при использовании диссектора является вопрос о необходимой освещенности E его фотокатода. Минимальная

освещенность определяется величиной отношения сигнал/шум (ψ), при котором с достаточной надежностью обеспечивается выделение и измерение параметров сигнала от объекта. Определяющими в телевизионной системе являются шумы диссектора. Отношение сигнал/шум равно /23/

$$\psi = \sqrt{\frac{\varepsilon S E}{2 e i \Delta f (1+B)}} \quad (4)$$

где ε - интегральная чувствительность фотокатода; S - площадь проекции вырезающего отверстия диафрагмы на плоскости фотокатода; e - заряд электрона; i - первичный ток фотокатода; Δf - полоса частот канала; $(1+B) = 2,5$ - коэффициент увеличения шума в умножителе.

Автоматическую телевизионную систему характеризует точность измерения положения сигналов от изображения объекта. Регистрирующая схема телевизионного датчика представляет собой пороговое устройство, реагирующее на мгновенное значение сигнала. Флуктуации приводят к ошибкам при фиксации момента начала и окончания сигнала. В работе /24/ показано, что из-за наличия шумов при $\psi = 3$ вероятность превышения сигналом некоторого порогового значения равна 0,13%. Расчетная величина необходимой освещенности на фотокатод диссектора при условии получения $\psi = 10$ равна примерно 4 лк. Проекционная система установки "Сауле" обеспечивает освещенность фотокатода не менее 10 лк. Таким образом расчеты позволяют заключить, что

сканирующее устройство обеспечивает достаточно высокую степень надежности выделения полезных сигналов и фиксации их границ. Применение диссектора, а не видикона, обычно используемого в телевизионных полуавтоматах, дает возможность существенно увеличить быстродействие системы и повысить ее надежность.

Координаты любого объекта, попавшего в пределы зоны сканирования, формируются двумя системами отсчета (рис. 5): системой отсчета положения оптического центра X_c, Y_c и системой отсчета положения объекта внутри зоны сканирования $\Delta x = \ell \cos \alpha, \Delta y = \ell \sin \alpha$, где $\ell = n\delta = (n_1 + n_2 - n_0)\delta$, α - угол поворота стрелки относительно вертикали. Поворот против часовой стрелки принят положительным ($+\alpha$), по часовой стрелке - отрицательным ($-\alpha$). Отсчет расстояний внутри зоны сканирования ведется путем подсчета числа импульсов генератора наполнения f от заднего фронта импульса оптической метки на фотокатоде диссектора до центра видеосигнала пузырька. В качестве оптической метки в установке использован контур стрелки, специально введенной в оптический канал. При попадании сканирующей линии на изображение пузырька формируется сигнал считывания, при появлении которого информация со счетчиков X_c, Y_c, n и α переписывается в соответствующие регистры. По запросу вычислительной машины эти данные передаются в ее память. В соответствии с программой машина рассчитывает положение центра измеряемого пузырька в принятой системе

координат:

$$\begin{aligned} X &= X_c + \Delta x = X_c + \ell \cos(-\alpha) \\ Y &= Y_c + \Delta y = Y_c + \ell \sin(-\alpha) \end{aligned} \quad (5)$$

Вычислительная машина ведет предварительную обработку данных и их контроль. Одним из результатов обработки является аппроксимация траектории частицы параболой второго порядка и "предсказание" точек в плоскости снимка, где должны находиться пузырьки прослеживаемого трека и куда должна быть смещена зона сканирования. Данные о величине и направлении вектора на предсказываемую точку, а также данные об угловом положении диссектора в этой точке, машина рассчитывает в виде приращений $\Delta X, \Delta Y$ и абсолютной величины угла α и передает их в соответствующем коде для отработки на устройства сканирующего автомата.

Чтобы снизить влияние на результаты измерения помех в виде пузырьков соседних треков и фона, в установке "Сауле" так же, как и в телевизионном полуавтомате, сигналы от изображения пузырьков заданного трека "подсвечиваются" стробимпульсом, который автоматически следит за выбранным треком при любых его перемещениях вдоль линии сканирования. Считываются координаты центров только тех пузырьков, сигналы которых попадают в пределы стробимпульса. При попадании в пределы стробимпульса более одного пузырька, считывание информации запрещается, положение

стробимпульса на строке запоминается и остается неизменным до тех пор, пока вновь в стробимпульсе не появится один сигнал. В этом случае запрет на считывание информации снимается. Введение стробимпульса позволило исключить значительную часть помех, расширив при этом зону сканирования до предельной величины.

Точная обработка координат, задаваемых УВМ, затруднена из-за массивности кареток автомата и отсутствия жесткой связи между каретками и ведущими двигателями. Разработано устройство /24/, позволяющее автоматически контролировать процесс обработки координат по фактическому перемещению самих кареток. Чтобы уменьшить погрешность, введен контроль обработки заданных приращений по перемещению кареток на каждые 5 мкм с коррекцией возникающих при перемещении ошибок в положении кареток. Контроль обработки ведется по импульсам с датчиков линейных перемещений $D_x D_y$. Заданные приращения делятся на малые доли (кванты), меньшие принятой единицы отсчета δ . Затем полученные кванты $\varepsilon_x = \frac{\Delta X}{n}$ и $\varepsilon_y = \frac{\Delta Y}{n}$ складываются до тех пор, пока по какому-либо из каналов их сумма не превысит δ . В этом случае сложение прерывается, включается электродвигатель привода соответствующей каретки и начинается ее перемещение. Двигатель выключается первым же импульсом с датчика. Появление импульса свидетельствует о том, что каретка переместилась на $\delta = 5$ мкм. Суммирование квантов во-

зобновляется. Циклы повторяются, пока кванты не просуммируются n раз, т.е. не будут обработаны заданные приращения $\varepsilon_x = \frac{\Delta X}{n}$, $\varepsilon_y = \frac{\Delta Y}{n}$. Таким образом, система автоматического управления приводом всегда охвачена обратной связью по положению кареток, поскольку последующее движение кареток разрешается только после обработки предыдущего приращения. Чтобы исключить влияние инерционности системы на точность обработки заданных координат, в системе предусмотрен контроль выбега кареток с последующей его обработкой.

Анализ и количественная оценка влияния на общую погрешность сканирующего автомата различных факторов, связанных с неточностью изготовления оптико-механических узлов, недостаточно точной юстировкой оптического канала, несинхронностью поворота сканирующей линии и изображения стрелки, отсутствием ортогональности между осью трека и направлением сканирования показали, что величина вносимых ими ошибок лежит в допустимых пределах. Измерение по увеличенному в 30 раз изображению снимка позволяет значительно снизить требования к точности изготовления и юстировки оптико-механических узлов. Показано, что введение в оптический канал проекционной системы метки в виде стрелки, вращающейся синхронно с узлом диссектора, позволяет исключить влияние на точность измерения нестабильности начала сканирующей строки и некоторых погрешностей изготовления и юстировки оптико-механических узлов.

У.

Результаты экспериментальных исследований основных узлов сканирующего автомата представлены в пятой главе работы. Цель исследований - выбор оптимального с точки зрения отношения сигнал/шум режима работы автомата и уточнение его технических характеристик. Снятые при различных освещенностях E кривые зависимости $I_c = \varphi_1(R_H)$ и $\psi = \varphi_2(R_H)$, а также зависимость $\psi = \varphi_3(\Delta f)$ позволили выбрать режим работы диссектора и параметры частотного фильтра, обеспечивающие максимальное отношение сигнал/шум.

При установленном режиме работы устройства измерены координаты центра объекта, попадающего в пределы зоны сканирования. Обработка экспериментальных данных позволила рассчитать с заданной степенью надежности P доверительный интервал для средней квадратической ошибки σ воспроизводимости результатов измерений. Для расчета использовалось неравенство /18/

$$S(1-q) < \sigma < S(1+q), \quad (6)$$

где $q(P, k)$ - табулированные коэффициенты, $k = N - 1$ - число степеней свободы, N - число независимых измерений, S^2 - эмпирическая дисперсия. Показано, что средняя квадратическая ошибка σ с доверительной вероятностью $P = 0,95$ лежит в пределах 2-3 мкм.

На рисунке 6 приведены гистограммы распределения ре-

зультатов измерения положения центра пузырька трека при его перемещении вдоль читающей строки. В каждой точке проводилось по 100 измерений. Средняя квадратическая ошибка измерений не превышает ± 4 мкм.

С помощью имитатора проверено устройство обработки координат. Отклонение от оси прослеживаемых прямых линий не превышает 100 мкм. Линии в плоскости снимка выбирались с различным наклоном к координатным осям.

Основные результаты диссертации состоят в следующем:

1. Разработано новое телевизионное устройство измерения параметров перемещающихся объектов /4/, в котором задачу распознавания границ объектов решает телевизионная система, а расстояние между этими границами измеряется путем подсчета импульсов с датчика линейных перемещений, жестко связанного с объектом. Принцип устройства положен в основу созданных сканирующих телевизионных установок.

2. Созданы телевизионные полуавтоматы для измерения параметров, определяющих ионизационные потери частиц в пузырьковой камере. Два телевизионных полуавтомата, отличающихся в основном способом вывода и регистрации информации, успешно эксплуатируются в ИФВЭ АН КазССР. Скорость измерения составляет в среднем 30-50 см/час, что в 10-20 раз быстрее, чем на применявшихся в институте до внедрения телевизионных полуавтоматов микроскопах МБИ-9 с автоматической приставкой.

3. Разработан макет сканирующей установки "Сауле".

Установка осуществляет преобразование फिल्मовой информации в цифровые коды, передаваемые в управляющую вычислительную машину и обеспечивает отработку команд УВМ по перемещению зоны сканирования в любую точку плоскости снимка и изменению направления сканирования на любой угол в пределах $\pm 90^\circ$. Это позволяет использовать установку "Сауле" в качестве базового прибора измерительно-вычислительного комплекса. Основная часть измерений на установке проводится в автоматическом режиме под контролем УВМ. Ожидаемая производительность каждой установки, входящей в комплекс, 15-20 четырехлучевых событий в час.

4. В процессе создания сканирующих телевизионных устройств проведены следующие исследования и разработки:

а. Разработана схема выделения видеосигнала от изображения пузырьков заданного трека стробимпульсом, автоматически следящим за выбранным треком при любых его перемещениях вдоль читающей строки в пределах зоны сканирования. Схема обеспечивает фильтрацию помех в виде пузырьков соседних треков и фона, попадающих в пределы зоны сканирования.

б. Произведен выбор оптимальной скорости перемещения трека и уровня дискриминации сигнала. Найденные значения рабочей скорости и уровня дискриминации обеспечивают получение минимальной ошибки измерения параметров микрострук-

туры следа и максимальную устойчивость результатов измерения.

в. Теоретически рассчитана и экспериментально подтверждена возможность использования диссектора в качестве сканирующего элемента автомата. Применение диссектора, а не обычно используемого в телевизионных автоматах видикона, позволяет существенно увеличить быстродействие системы и ее надежность.

г. Предложено и технически реализовано устройство отработки приращений координат, задаваемых вычислительной машиной. Несмотря на то, что каретки массивны и не имеют жесткой связи с двигателем привода, устройство обеспечивает точное прослеживание заданных кривых с отклонением от их оси не более, чем на $\pm 0,1$ мм.

д. Проведен анализ и дана количественная оценка влияния на общую погрешность сканирующего автомата некоторых факторов, связанных с оптико-механической системой установки.

е. Чтобы исключить влияние на точность измерения нестабильности начала сканирующей строки, а также некоторых погрешностей изготовления и потирки оптико-механических узлов, в оптический канал проектора введена стрелка, вращающаяся синхронно с узлом диссектора. Изображение стрелки на фотокатоде диссектора является оптической меткой, относительно которой ведется отсчет расстояний в пределах зоны сканирования.

5. Разработаны структурные схемы телевизионных полуавтоматов и сканирующей установки "Сауле", логические и принципиальные схемы их основных электронных блоков, а также конструкция отдельных оптико-механических узлов.

6. Экспериментально исследованы параметры созданных сканирующих телевизионных устройств с целью выбора оптимального режима работы и уточнения технических характеристик. Точность измерения, обеспечиваемая телевизионными полуавтоматами, позволяет идентифицировать частицы вплоть до импульса 2 Гэв/с при длине следа $l = 2$ см (по пленке) и до 2,5 Гэв/с при $l = 10$ см. Средняя квадратическая ошибка определения положения объекта в зоне сканирования на установке "Сауле" лежит в пределах 3-4 мкм. Отклонение от оси прослеживаемых треков не превышает ± 100 мкм (по пленке).

7. Разработкам сканирующих телевизионных устройств предшествовал ряд работ автора по созданию полуавтоматических устройств с ручным центрированием, предназначенных для обмера камерных снимков. В результате завершения этих работ в ИФВЭ АН КазССР создан и эксплуатируется просмотрово-измерительный комплекс, включающий в себя 7 просмотровых столов и 8 полуавтоматов типа ПУ-21, ПУ-23 и ПУОС-1М. Общая производительность комплекса при двухсменной работе составляет примерно 40 тысяч событий в год. Большая часть устройств комплекса эксплуатируется в институте в течение 5-7 лет.

Основные материалы, представленные в диссертации, доложены автором на VI Всесоюзной конференции по ядерной радиоэлектронике, II Международном симпозиуме по ядерной радиоэлектронике, на Международном симпозиуме по вопросам автоматизации обработки данных с пузырьковых и искровых камер, на Республиканской и городской конференциях по автоматизации производственных процессов и опубликованы в работах /1,3-16, 24-27/.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Анзоп В.П., Овсов Ю.В., Ташимов М.А. Материалы II симпозиума по ядерной электронике. Препринт ОИЯИ № 2205. Дубна, 1964, стр. 27-35.
2. Смирнове Е.П., Поздняков А.А. Полуавтоматическая установка для измерения координат "ПУОС". В сб.: "Материалы научно-техн. совещания". Л., 1968.
3. Овсов Ю.В., Магонов Г.М., Руденченко Э.В. Вывод данных ПУОС на 80-колонные перфокарты. ВИНТИ, 2325-70, деп. от 26.11.70.
4. Овсов Ю.В., Авт. св. СССР 274374, кл. 42в, 12/03. "Бюллетень открытий, изобретений, промышленных и товарных знаков". 1970, № 21.
5. Боос Э.Г., Зайцев К.Г., Мухордова Т.И., Овсов Ю.В., Руденченко Э.В., Санько Л.А. Труды международного симпозиума по вопросам автоматизации обработки данных с пузырьковых и искровых камер. Дубна, 1971. Препринт ОИЯИ, Д10-6142. Дубна, 1972, стр. 355-359.
6. Овсов Э.В. - ПТЭ, 1969, № 4, стр. 77-79.

7. Овсов Ю.В., Магонов Г.М., Евсеев А.К., Руденченко В.В. — ПТЭ, 1970, № 5, стр. 85-88.
8. Овсов Ю.В. Труды УП Всесоюзной конференции по ядерной радиоэлектронике. Сб. аннотаций докладов. М., 1967.
9. Овсов Ю.В., Носков Ю.Г. — ПТЭ, 1972, № 2, стр. 37-40.
10. Овсов Ю.В., Носков Ю.Г., Халикова Г.М. — ПТЭ, 1972, № 4, стр. 58-60.
11. Овсов Ю.В., Носков Ю.Г., Магонов Г.М., Руденченко В.В., Халикова Г.М., Кушудун А.И., Семанова В.Н. Труды Международного симпозиума по вопросам автоматизации обработки данных с пузырьковых и ионных камер. Дубна, 1971. Препринт ОИЯИ, ДЮ-6142. Дубна, 1972, стр. 281-294.
12. Боос Э.Г., Санько Л.А., Овсов Ю.В. Сб. "Физика высоких энергий и космических лучей". Алма-Ата, "Наука", 1971, стр. 181-212.
13. Такибаев Ж.О., Боос Э.Г., Санько Л.А., Овсов Ю.В., Волкова О.И., Магонов Г.М. — ПТЭ, 1970, № 4, стр. 69-72.
14. Овсов Ю.В. Препринт ИЯФ АН КазССР, № П-101. Алма-Ата, 1970.
15. Овсов Ю.В. Препринт ИЯФ АН КазССР, № П-102. Алма-Ата, 1970.
16. Овсов Ю.В. Классификация устройств обработки снимков с пузырьковых камер, № 2913-71, деп. 1971, ВИНТИ.
17. Абакумов В.Г., Петренко А.И. Устройства на видеоконе для ввода графиков в ЭВМ. М., Энергия, 1967.
18. Рущинский Л.В. Элементы теории вероятности. М., "Наука", 1970.

19. Кондратьев А.Г., Лукин М.И. — Техника промышленного телевидения. Лениздат, 1970.
20. Condon P.E., Herz A.J. IEEE Transaction, Nucl. Sci., 1965, NS-12, no. 4, 155.
21. Yekutily G., Yaffe K., Wolf S. Nucl. Instr. and Methods, 1969, vol. 67, 305.
22. Даличенко Н.К., Китечко Т.Н. "Электронная техника", 1968, серия 4, "Электроннолучевые и фотоэлектрические приборы", вып. 4, 143.
23. Михалков К.В. Основы телевизионной автоматики. Л., "Энергия", 1967.
24. Овсов Ю.В., Шумилов В.И., Колчин И.В., Кудый А.П., Бинокуров Л.В. Труды Казахского Политехнического института, сб. 31. Алма-Ата, 1970.
25. Бабушкин А. А., Овсов Ю.В., Ташимов М.А. Сб. "Автоматизация производственных процессов". Алма-Ата, "Наука", 1968, стр. 149-153.
26. Кушудун А.И., Овсов Ю.В. Устройство автоматической обработки снимков ядерных взаимодействий в пузырьковых камерах. Заявка в Комитет по делам открытий и изобретений при СМ СССР, № 16078773/26-25, приоритет от 28 января 1972.
27. Овсов Ю.В. В сб.: "Автоматизация производственных процессов". Алма-Ата, "Наука", 1970, стр. 140-141.

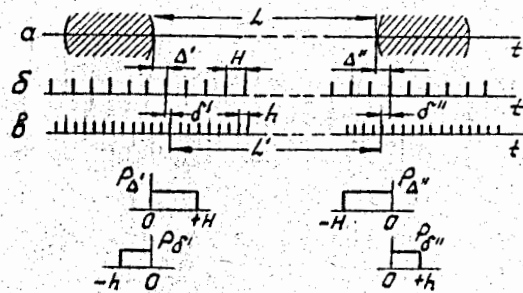


Рис.1. Измерение параметров трека:
 а - изображение пузырьков трека; б - импульсы, возникающие при пересечении изображения пузырька считавшей строкой; в - импульсы датчика перемещений.

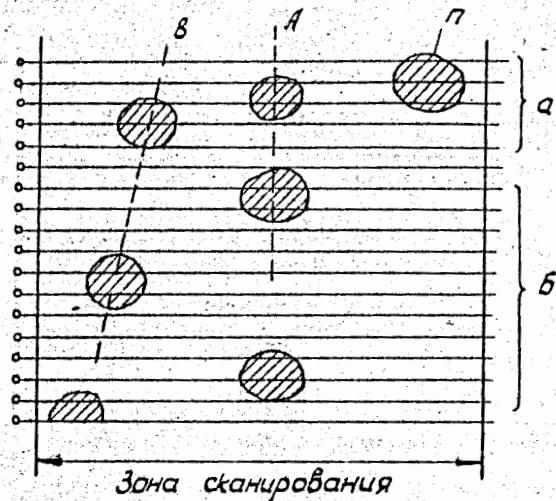


Рис.2. Влияние помех на результаты измерения.

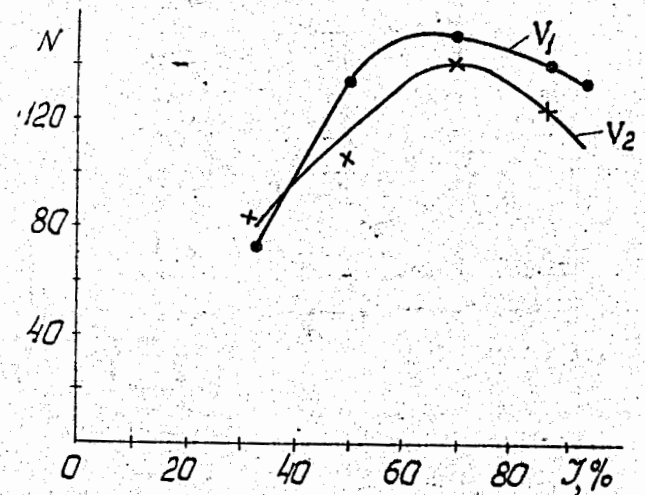


Рис.3. Зависимость числа регистрируемых просветов от уровня дискриминации сигнала при $l_0 = 12,5$ мкм, $V_1 = 0,25$ мм/сек; $V_2 = 0,35$ мм/сек.

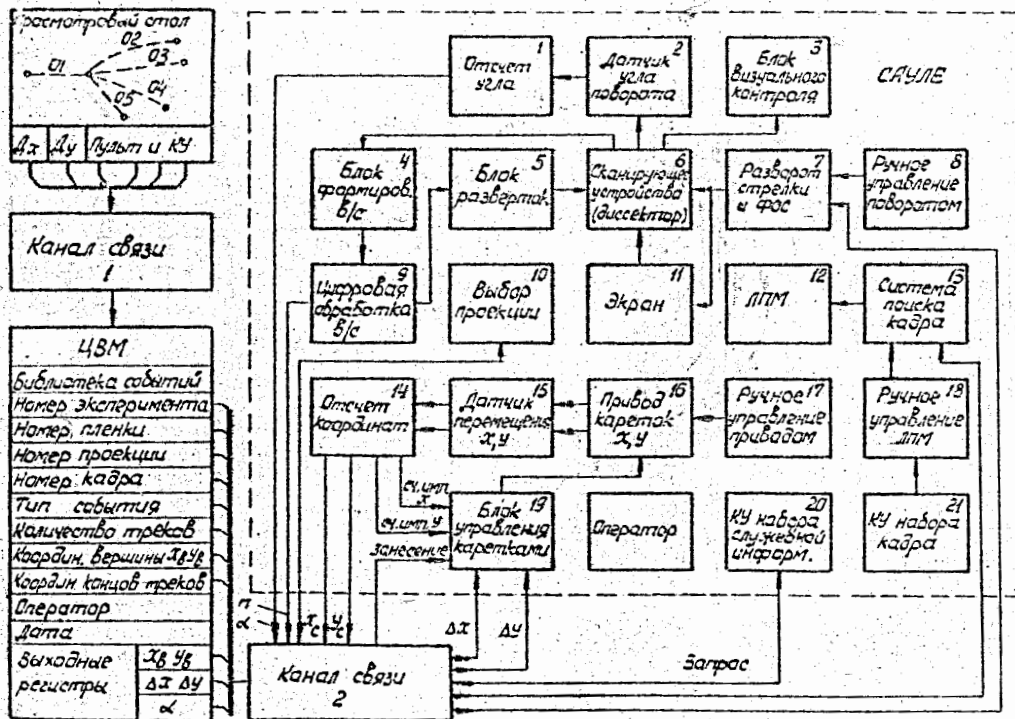


Рис.4. Структурная схема СА "Сауле".

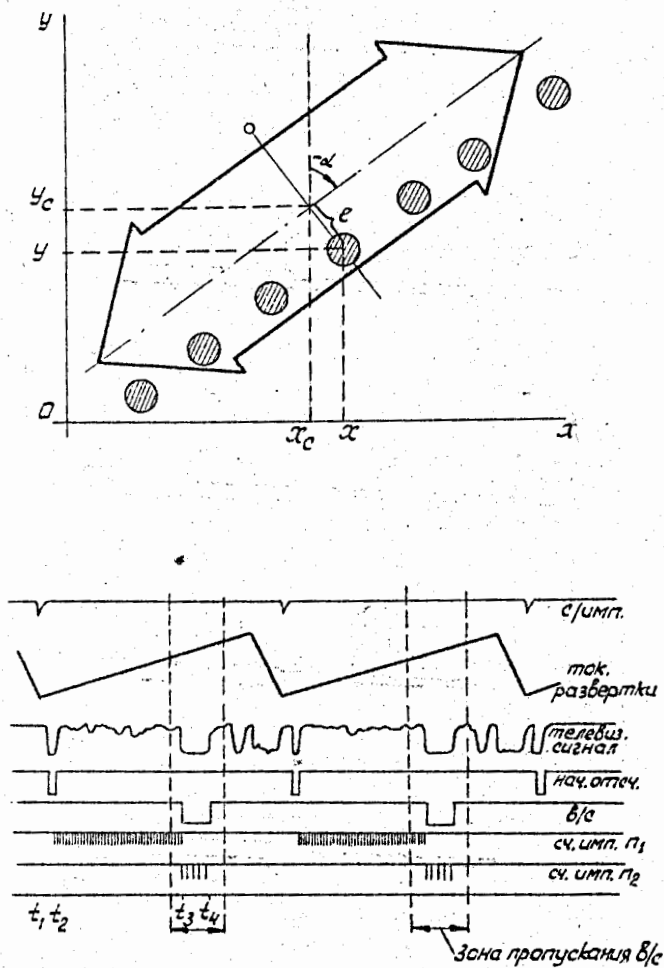


Рис. 5. Принцип формирования координат и временная осциллограмма распределения импульсов в зоне сканирования.

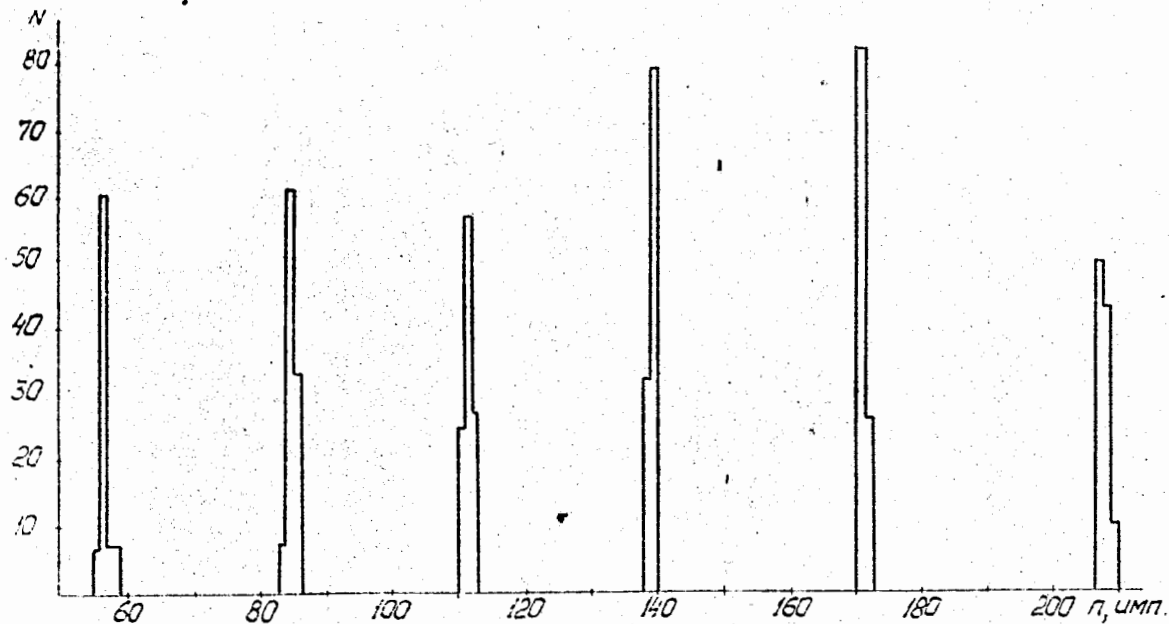


Рис.6. Результат измерения изображения пызьрка при его перемещении вдоль читающей строки.