

ОБЗОР И АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОННО-ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ СЧИТЫВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ С ФОТОПЛЕНКИ

*М. А. Кузьмичев, А. М. Пряницкий,
А. А. Чистюхин, А. В. Шатохин*

Харьков

Широкое применение в науке и технике находят электронно-оптические системы считывания информации с фотопленки, позволяющие совместно с ЭВМ проводить моделирование различных методов передачи изображений, исследование алгоритмов распознавания, преобразование графической информации, просмотр снимков искровых камер в целях сортировки снимков при поиске треков. Основными показателями таких систем являются число и расположение элементов разложения, форма считывающей апертуры, число уровней квантования яркости элементов изображения, быстродействие и способ взаимодействия с ЭВМ.

Выбор числа элементов разложения фотоизображения определяется возможностями оперативного запоминающего устройства используемой ЭВМ, однако, если количество параметров дискретизации фотоснимка недостаточно для высококачественного представления изображения исследуемого объекта, такие изображения обрабатываются путем сканирования небольшим растром отдельных участков изображения по программе ЭВМ.

Устройства [1,2], предназначенные для моделирования методов передачи изображений, исследования алгоритмов распознавания [3] и обработки оптической информации [7] имеют лишь некоторые различия, поэтому принцип их работы опишем на примере универсального устройства для обработки оптической информации, разработанного в Институте кибернетики АН УССР [3]. Оно включает в себя сканирующее устройство на ЭЛТ с программным управлением разверткой и блок обработки видеосигнала. По команде, имеющейся в программе, из вычислительной машины поступают коды определяющие координаты светящегося пятна. Коды посредством преобразователя с диодными ключами преобразуются в напряжения, подаваемые на отклоняющие пластины трубки бегущего луча. Светящееся пятно на экране трубки проецируется объективом на пленку. Прошедший через выбранный участок пленки свет улавливается фотоумножителем, выходной сигнал которого преобразуется в четырех-разрядный двоичный код, который пересылается в арифметическое устройство ЭВМ «Киев». В устройстве предусмотрена автоматическая регулировка яркости трубки бегущего луча с помощью дополнительного объектива и фотоумножителя. Для визуального наблюдения за движением луча по экрану и высвечивания исследуемых изображений применяется специальная индикаторная ЭЛТ, которая работает параллельно с трубкой бегущего луча.

Для изучения различных способов сокращения объема телевизионного сигнала путем их моделирования на ЭВМ было разработано несколько устройств с электронной шаговой разверткой и использованием промежуточного носителя на магнитной ленте [2,8].

В последние годы значительное развитие получили прецизионные сканирующие системы на ЭЛТ для автоматической обработки снимков с искровых камер. Обзор этих систем дан в работе [4]. В ней же описывается разработанное в Объединенном институте ядерных исследований автоматическое устройство для анализа снимков с искровых камер, блок-схема которого приведена на рис.1. Устройство рассчитано на непосредственную работу с ЭВМ типа «Минск-22». Генератором светового пятна служит ЭЛТ с магнитным отклонением и разрешающей способностью 1000

строк. На кадре форматом 36×24 мм нанесены реперные линии, определяющие необходимое число промежутков сканирования.

Сигналы от реперных линий поступают на логический коммутатор, который управляет началом и концом работы генераторов отклоняющего тока по вертикали и горизонтали. Тактовый генератор вырабатывает импульсы, число которых в любой момент времени пропорционально положению пятна на строке. В случае обнаружения искры координата центра заносится в блок памяти. Память рассчитана на хранение 22 слов по 12 разрядов каждое. Информация в машину поступает после окончания сканирования строки. Считывание производится за время обратного хода

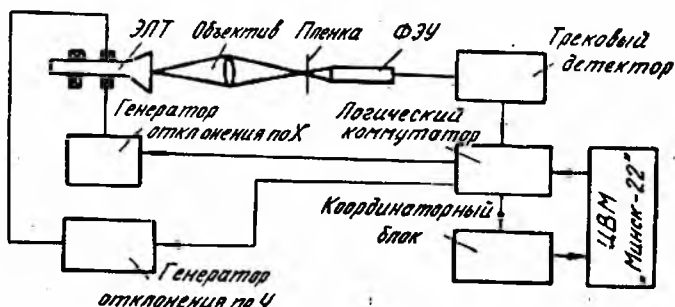


Рис. 1. Блок-схема автомата ОИЯИ.

по строке. После окончания считывания машина выдает сигнал, разрешающий продолжать сканировать дальше или в случае необходимости провести повторное сканирование.

Особенностью системы является применение линейного фокуса. Для этого в устройстве предусматривается возможность формирования на экране трубки апертуры линейной формы с помощью дополнительной установки системы квадрупольных линз.

Высокие требования к точности определения координат треков на снимках с искровых камер и трудности создания быстродействующего цифро-аналогового преобразователя достаточно высокой точности на существующих транзисторах привели ученых к выводу о возможности отказа от цифровой развертки, управляемой от ЭВМ, и применения метода разделения светового потока от ЭЛТ с последующим отсчетом по реперным решеткам. Было разработано несколько систем [4,5,6,9,10,11,12], использующих данный метод. Одной из самых совершенных из них является экспресс-автомат для обработки снимков трековых камер, разработанный в физико-техническом институте АН УССР[5]. Блок-схема экспресс-автомата приведена на рис. 2.

В основу автомата положен принцип осмотра снимка прямоугольным телевизионным растром с фиксацией координат двумя измерительными решетками. Луч, развертываемый в растр, проходит сквозь светорасщепляющую систему призм с полупрозрачными диагоналями. Световой поток, расщепленный на три взаимно-перпендикулярных направления, попадает на обмеряемый снимок и одновременно на X и Y-решетки. Конструкция светорасщепляющей системы избрана такой, что оптическая длина пути постоянна по любому направлению, поэтому искажения, вносимые оптикой, являются идентичными по всем трем направлениям. Координаты луча в любой момент времени определяют путем подсчета числа пересеченных электронным лучом ЭЛТ рисок на решетках с помощью фотомножителей и двух счетчиков. Координаты трека выдаются задним

фронтом видеосигнала, возникающего при попадании луча на трек. Разрешение на выдачу координат поступает со схемы цифрового стробирования. Шаг решетки — 100 мк. Для повышения точности применена интерполирующая система, позволяющая отсчитывать координаты середины трека с точностью 5 мк.

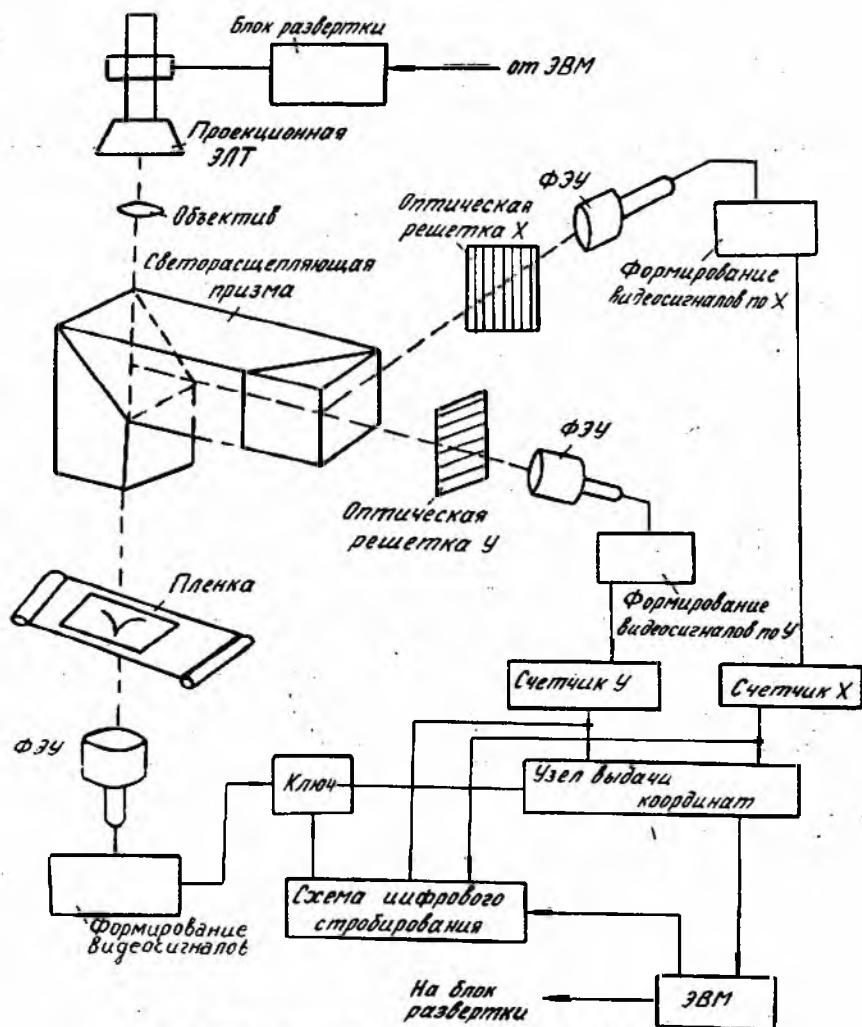


Рис. 2. Блок-схема экспресс-автомата ФТИ АН УССР.

Относительно простая система для автоматического сканирования треков частиц на пленке искровой камеры была разработана в Мичиганском университете (США) [12]. Система использует свет от управляемого пятна на ЭЛТ для нахождения центра искры. Аппаратура содержит ЭЛТ, управляемую небольшой ЭВМ, а также устройство подачи пленки и оптику. Вычислительная машина управляет положением пятна на ЭЛТ, получает информацию о том, является ли точка темной на исследуемой пленке, управляет продвижением пленки к следующему кадру и записывает данные на магнитную ленту.

ЭЛТ имеет растр из 1024×1024 точек, которые могут высвечиваться в любом порядке с помощью ЭВМ. Световой поток от пятна, координаты

которого задаются по программе от ЭВМ, посредством светорасщепительных призм проецируется на фотопленку. Фоторегистрирующее устройство из двух ФЭУ анализирует каждую точку фотоснимка на наличие затемнения и формирует код, соответствующий сканируемому изображению. С помощью дополнительных зеркал имеется возможность наблюдать исследуемое изображение на экране видеоконтрольного устройства.

В работе [14] кратко описывается разработанное фирмой Information International (США) высокоскоростное устройство считывания с фотопленки, снабженное программным управлением и предназначенное для обработки результатов экспериментов, записанных на фотопленке. Считывание информации с фотопленки и преобразование ее в цифровую форму

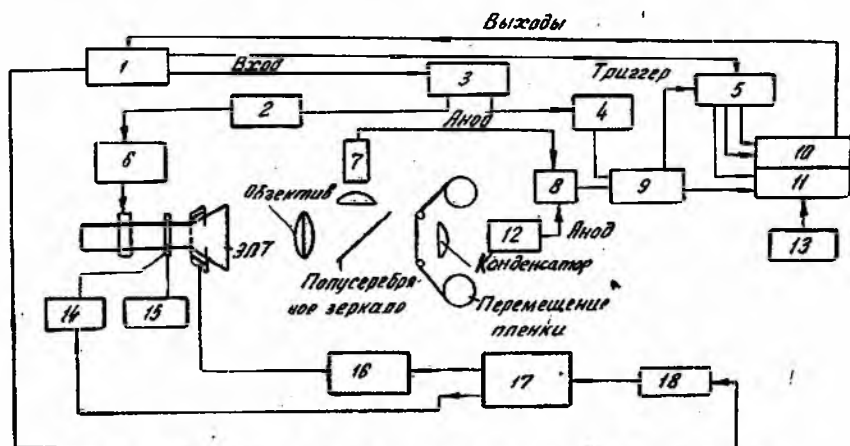


Рис. 3. Блок-схема прецизионного сканирующего устройства;

1 — ЭВМ PDP-1; 2 — преобразователь код — аналог; 3 — регистр команд управления; 4 — аналого-цифровой преобразователь; 5 — стробгенератор; 6 — генератор развертки; 7 — анод ФЭУ; 8 — усилитель; 9 — избирательная логика; 10 — буферное устройство; 11 — пересчетное устройство; 12 — ФЭУ; 13 — задающий генератор; 14 — динамическая фокусировка; 15 — статическая фокусировка; 16 — усилитель отклоняющего тока; 17 — преобразователь код — аналог; 18 — буферное устройство.

осуществляется электронно-оптическим сканирующим устройством на электронно-лучевой трубке бегущего луча с высокой разрешающей способностью. Разностные токи двух дифференциально включенных фотоумножителей рабочего и опорного каналов, нормируются по 64 уровням в блоке обработки видеосигнала, выдающем данные о плотности пленки. Устройство обладает разрешающей способностью, позволяющей отличить две единицы информации, записанные на пленке, на расстоянии 0,001 мм. Скорость считывания — 5000 единиц информации в секунду. С помощью этого устройства можно измерять плотность в кадрах кинопленки шириной 70, 35 и 16 мм.

Одним из современных прецизионных устройств, предназначенных для считывания и ввода в вычислительную машину треков частиц, зарегистрированных на фотопленке, является электронно-оптическое устройство [15], блок-схема которого представлена на рис. 3. В устройстве используется ЭЛТ, растр которой проецируется на 70-мм считываемую пленку без изменения масштаба. Вычислительная машина снабжена цифровым адресом по X и Y, посредством которого луч диаметром 25 мкм может с высокой точностью устанавливаться в любую из 1024 × 1024 фиксированных позиций и совершать вокруг этой позиции сканирующее колебательное движение. Она также снабжена регистром управления, точно устанавливающим длину и направление развертки.

Система отличается схемным решением стабилизации чувствительности ФЭУ путем дифференциального включения выходов фотоумножителей ФЭУ_{оп} и ФЭУ_{изм}. Такое включение обеспечивает суммирование тока последнего динода ФЭУ_{оп} с анодным током ФЭУ_{изм}. Напряжение питания фотоумножителей выбрано таким, что анодный ток ФЭУ несколько больше тока последнего динода, поэтому полярность выходного суммарного сигнала отрицательна при отсутствии затемнения на пленке в исследуемой точке и положительна, когда ФЭУ воспринимает поток, проходящий через затемненную исследуемую точку пленки.

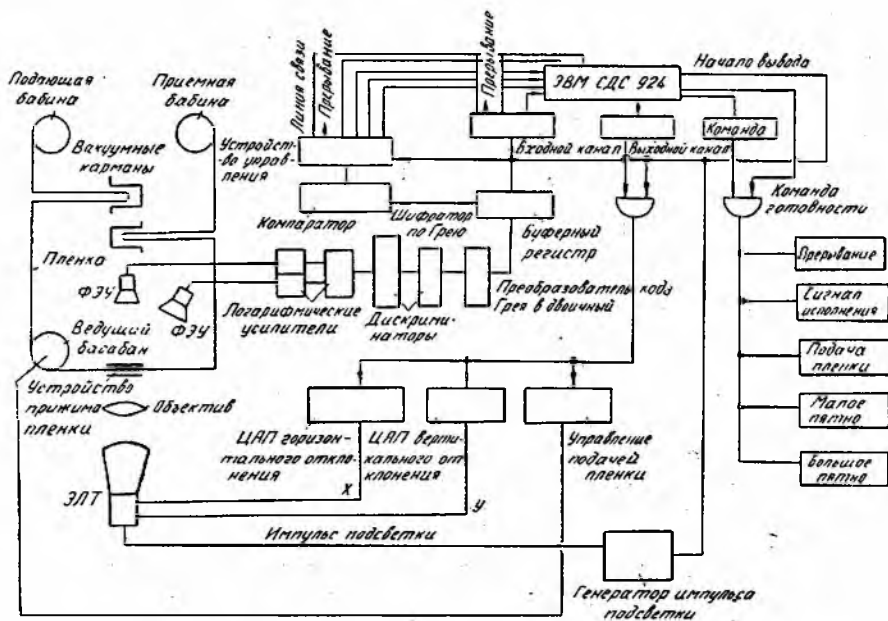


Рис. 4. Схема узла сканирования, механизма подачи пленки и логическая схема переходного устройства.

По данным авторов [15], при таком включении ФЭУ изменение яркости пятна по полю раstra, а также нестабильность питающих напряжений мало сказываются на величине выходного сигнала. Использование прецизионных фокусирующих и отклоняющих катушек позволило определить координаты трека с точностью 3 мк.

В ряде работ [13, 16, 17, 18, 19] рассмотрены системы, предназначенные для автоматизации процесса нахождения и измерения треков частиц при обработке фотоснимков искровых и пузырьковых камер. Одним из самых современных устройств данного типа является устройство [19] для сканирования снимков с 35-мм пленки, в котором в качестве источника сканирующего луча используется управляемая ЭВМ электронно-лучевая трубка. Режим поиска и область сканирования в этом устройстве выбираются вычислительной машиной. Блок-схема автоматического сканирующего устройства и связи его с ЭВМ показаны на рис.4. Устройство представляет собой 13-разрядный цифро-аналоговый преобразователь и состоит из прецизионных резисторов и коммутатора полярности. 12 ключей совместно с соответствующими резисторами нагрузки обеспечивают 4096 шагов отклонения луча в любую сторону от центра экрана. Нулевому отклонению соответствует положение луча в центре экрана

ЭЛТ, так что возможных адресов в вертикальном и горизонтальном направлениях 8192.

Для определения интенсивности света в устройстве используются два фотоумножителя. Один из них регистрирует свет, прошедший через сканируемую пленку, другой — свет непосредственно от экрана ЭЛТ. Сигнал второго используется для компенсации изменений интенсивности пятна на экране ЭЛТ. Видеосигналы измерительного и опорного ФЭУ подаются на отдельные логарифмические усилители, выходные сигналы которых вычитаются обычным дифференциальным усилителем. Квантование информации об интенсивности света производится системой включенных параллельно амплитудных дискриминаторов, квантованная информация об интенсивности света преобразуется в код Грея, а затем в пятиразрядный двоичный код для ввода в ЭВМ. Вопросы классификации устройств преобразования фотоизображений в коды для последующего ввода в ЭВМ рассмотрены в работе [1]. Важнейшими признаками, по которым производится классификация, являются:

1. Назначение устройства:

а) моделирование методов обработки изображений (универсальные устройства);

б) однотипная обработка большого количества изображений (специализированные устройства).

2. Способ связи с ЭВМ:

а) непосредственная запись данных в оперативное запоминающее устройство ЭВМ;

б) промежуточная запись фотоизображений на стандартных носителях информации с последующим вводом в ОЗУ.

3. Способ осуществления развертки изображений:

а) электромеханическая развертка;

б) электронная развертка.

Исходя из приведенного выше анализа устройств преобразования фотоизображений в коды для последующего ввода в ЭВМ предлагается классификация электронно-оптических сканирующих устройств по следующим важнейшим признакам:

1. Тип генератора светового пятна.

2. Способ управления световым пятном.

3. Количество уровней квантования яркости — 2 или более.

4. Вид выдаваемой информации — код яркости или код координат.

5. Схема связи с вычислительной машиной — непосредственная или через промежуточный носитель.

Основные данные о специальных сканирующих устройствах, разработанных для автоматизации операции ввода фотоизображений в ЭВМ, приведены в таблице.

ВЫВОДЫ

Разработанные электронно-оптические системы считывания информации с фотопленки по виду выдаваемой информации можно разделить на два класса:

1) устройства для определения плотности пленки;

2) системы для измерения координат исследуемого объекта.

Качество этих устройств характеризуется количеством элементов разложения и уровней квантования, а также быстродействием. Количество элементов изображения определяется характером поставленной задачи. Для задач моделирования различных методов передачи изображений и при исследовании алгоритмов распознавания образов стандарт разложения 256×256 оказывается достаточным.

Наименование системы	Тип генератора светового пятна	Способ управления световым пятном	Число уровней квантования	Вид выдаваемой информации	Способ запоминания информации	Литература
Система ИППИ АН СССР	Опτικο-механический	Аналогичный телевизионному растру	128	Код яркости	Перфокарта	[1]
То же	ЭЛТ с магнитным отклонением 256×256	Программное управление от ЭВМ	128	То же	ОЗУ ЭВМ	[2]
Система ИК АН УССР	ЭЛТ с электростатическим отклонением 256×256	То же	16	»	То же	[3]
Система ОИЯИ	ЭЛТ с магнитным отклонением 1024×1024	Программное управление магн. растром от ЭВМ	2	Код координат	»	[4]
Система ФТИ АН УССР	ЭЛТ с магнитным отклонением	Аналогичный телевизионному растру	2	То же	»	[5]
Система ОИЯИ	То же	То же	2	»	Магнитная лента	[6]
Система АА НИИ	ЭЛТ с электростатическим отклонением 256×256	Программное управление от ЭВМ	64	Код яркости	ОЗУ ЭВМ	[7]
Система Массачусетского технологического института (США)	ЭЛТ с магнитным отклонением 1024×1024	То же	256	То же	Магнитная лента	[8]
Прецизионное устройство считывания изображений с фотопленки	То же	»	256	»	ОЗУ ЭВМ	[15]
Система Programmable Film Reader	»	»	64	»	То же	[14]
Система Cyclops	ЭЛТ с односторонней разверткой	Аналогичный телевизионному растру	2	Код координат	Магнитная лента	[13]

Наименование системы	Тип генератора светового пятна	Способ управления световым пятном	Число уровней квантования	Вид выдаваемой информации	Способ запоминания информации	Литература
Система для автоматического сканирования снимков искровой камеры	ЭЛТ с магнитным отклонением 1024×1024	Программное управление от ЭВМ	2	Код координат	Магнитная лента	[12]
Сканирующее устройство для анализа фотоизображений искровой камеры	ЭЛТ с магнитным отклонением	То же	2	То же	ОЗУ ЭВМ	[17]
Система DESY	То же	Аналоговый телевизионному растру	2	»	Магнитная лента	[11]
Система Luciole	»	То же	2	»	ОЗУ ЭВМ	[4]
Система Hummingbird	»	»	16	Код яркости	То же	[16]
Система Маккорника	ЭЛТ с магнитным отклонением 4096×4096	Программное управление малым растром (32×32) от ЭВМ	2	Код координат	»	[4]
Система Spass	То же	То же	2	То же	»	[4]
Система Chole	»	»	2	»	»	[4]
Система Polly	»	»	2	»	»	[18]
Автоматическое устройство с ЭЛТ для сканирования снимков	ЭЛТ с магнитным отклонением 8192×8192	»	32	Код яркости	»	[19]

В устройствах, предназначенных для обработки снимков искровых и пузырьковых камер, изображения необходимо разбивать на гораздо большее число элементов разложения, которое определяется возможностями ЭВМ (емкостью запоминающих устройств). Выбор необходимого количества уровней квантования зависит от требования сохранения контрастных деталей, типа используемой фотопленки и допустимого уровня искажений.

Важными показателями электронно-оптических устройств преобразования фотоизображений в коды являются быстродействие и способ взаимодействия с ЭВМ. Быстродействие сканирующих устройств, непосредственно связанных с ЭВМ, определяется временем выборки информации для оперативного запоминающего устройства используемой ЭВМ, а для устройств, работающих с промежуточным носителем, — временем записи и считывания данных с накопителя на магнитной ленте ЭВМ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. П. Ярославский. Устройства ввода — вывода изображений для цифровых вычислительных машин. Изд-во «Энергия», 1968.
2. Л. П. Ярославский. Применение ЭЦВМ для обработки полутоновых изображений. «Методы и устройства преобразования графической информации». Изд-во «Наукова думка», Киев, 1968.
3. В. И. Рыбак. Универсальное устройство для обработки оптической информации с помощью вычислительных машин. Сб. «Читающие автоматы». Изд-во «Наукова думка», Киев, 1965.
4. Г. Г. Бекслер. Современные системы для автоматической обработки пленок с искровых камер. Материалы II симпозиума по ядерной радиоэлектронике, препринт, № 2205. Изд-во ОИЯИ, 1965.
5. П. М. Зейдлиц и др. Экспресс-автомат для обработки снимков трековых камер. Материалы II симпозиума по ядерной радиоэлектронике, препринт, № 2205. Изд-во ОИЯИ, 1965.
6. В. Ф. Борисовский и др. Сканирующий автомат на электронно-лучевой трубке. Препринт, № 3631. Изд-во ОИЯИ, 1967.
7. Ю. Р. Новиков. Ввод информации с фотопленки в ЭЦВМ «Урал-2» для последующей обработки. Труды ААНИИ, т. 279. Гидрометеониздат, 1966.
8. T. S. Huang, O. I. Tretjak. Research in picture processing. «Optical and Electro — optical Information Processing». MJT, 1965.
9. M. Arm, D. Brown and oth. The Nevis spark chamber automatic measuring machine. Meeting of Programming for HPD of the Collge de Franse, Paris, 1963.
10. M. Dennoch, H. Rundloe, T. Marill. «PIP» — Photo Interpretive Program for the analysis of spark chamber data. Comm of the ACM, v. 6, 1963.
11. U. Becker, K. Danl Mann, K. Hohne, J. Weber. Automatic Processing of spark chamber pictures at DESY. Proceedings of the International Conference on Programming for FSD. Munich, 1967.
12. A. Saulys, D. Meyer, R. Allen. A programmed spot automatic scanning system for spark chambers. «Nuclear instruments and methods», 1966, № 1.
13. J. F. Mac Ewan, P. H. Sharp. Cyclops: a flying spot digitiser for spark chamber film analyses. Proceedings of the International Conference on Programming for FSD, Munich, 1967.
14. Новое высокоскоростное устройство считывания с пленки. «Новости зарубежной военной радиоэлектроники», 1964, № 24.
15. C. A. Bordner, A. E. Brenner, P. Bruyne. A computer controlled precision film scanner. «The radio and Electronic Engineers», 1967, № 3.
16. J. Van der Lans. Hummingbird, automatic film digitisers at the Stanford Linear Accelerator Center. Proceedings of the International Conference on Programming for FSD, Munich, 1967.
17. P. Scharff-Hansen, T. Willits, J. Lacotte, C. Victor. A computer — controlled flying spot digitisers for spark chamber photographs. «Nuclear instruments and methods», 1967, № 1.
18. D. Hodges. The Polly system for bubble chamber film measuring. Proceedings of the International Conference on Programming for FSD, Munich, 1967.
19. Каридес, Коттингем, Фельтман, Гроссман, Лейпунер, Маринуци, Швендер. Автоматическое устройство с ЭЛТ для сканирования снимков. «Приборы для научных исследований», 1967, № 10.