

Д-458

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

10 - 11361

ДИКУСАР
Николай Демьянович

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ СНИМКОВ
С МАГНИТНОГО ИСКРОВОГО СПЕКТРОМЕТРА ОИЯИ
В РЕЖИМЕ
АВТОМАТИЧЕСКОГО ОПОЗНАВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

**Специальность: 01.01.10 - математическое
обеспечение вычислительных машин и систем**

**Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук**

Работа выполнена в Лаборатории вычислительной техники
и автоматизации Объединенного института ядерных исследований

Научный руководитель:

доктор физико-математических наук
член-корреспондент АН СССР
профессор

Н.Н.ГОВОРУН

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук

А.Ф.ПИСАРЕВ

кандидат физико-математических наук

А.Н.ТОМИЛИН

Ведущее предприятие - Институт теоретической и
экспериментальной физики, Москва

Защита диссертации состоится " " 1978 г.

в часов на заседании Ученого совета Лаборатории вычислительной
техники и автоматизации ОИЯИ, г. Дубна, Московской обл.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Автореферат разослан " " 1978 г.

Ученый секретарь Совета

кандидат физико-математических наук

Т.П. Пузынина
Т.П.ПУЗЫНИНА

Актуальность проблемы: Автоматические и полуавтоматические системы обработки фильмовой информации являются важными элементами среди средств, используемых экспериментальной ядерной физикой в современных научных исследованиях.

Разработка и создание таких систем является актуальной проблемой для научных коллективов, занятых экспериментальными исследованиями в физике высоких энергий.

В связи с созданием новых ускорителей, постановкой новых экспериментов и появлением новых трековых детекторов возникает необходимость создания и новых систем, обеспечивающих обработку для конкретных, все усложняющихся установок.

Активно продолжают эксперименты с применением пузырьковых камер, и постоянно появляются все более сложные и более современные установки для регистрации трековой информации (камеры МИРАБЕЛЬ, ГАРГАМЕЛЬ, ВЕВС и др.).

В настоящее время ведущие лаборатории в экспериментах по физике высоких энергий, наряду с использованием пузырьковых камер, широко применяют и большие магнитные искровые спектрометры с оптическими способами регистрации ядерных взаимодействий. Получают распространение новые детекторы - стримерные камеры.

Таким образом, оптические трековые камеры продолжают оставаться широко распространенными трековыми детекторами в современной экспериментальной физике элементарных частиц.

При обработке больших потоков фильмовой информации, поступающих с таких сложных установок, максимальная автоматизация

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

процесса измерения и обработки изображений на стереоснимках является весьма актуальной задачей.

Цель работ: Основная задача заключалась в разработке и создании математического обеспечения для сканирующей системы по измерению стереоснимков с больших магнитных искровых спектрометров с программной реализацией автоматического опознавания изображений. Для этого необходимо было решить следующие проблемы, имеющие самостоятельный научный интерес:

- а) разработать принципы организации, структуры и управления различными блоками системы;
- б) разработать методику и алгоритмы для распознавания изображений;
- в) разработать алгоритмы и программы для осуществления контроля качества распознавания и точности измерений;
- г) реализовать режим самонастройки и обеспечить автоматический контроль качества измерений;
- д) провести исследование точностных характеристик системы с целью определения и учета динамических искажений фильма при измерениях на сканирующем автомате;
- е) разработать программные средства диалога и др.

Научная новизна: Создано математическое обеспечение сканирующей системы, реализующее автоматический режим измерения стереоснимков с пятиметрового магнитного искрового спектрометра ОИИИ с возможностью самонастройки на заданную партию снимков, проведением необходимого автоматического контроля, включая контроль точности измерений в процессе сканирования.

В основу математического обеспечения положены последние достижения системного программирования в области создания больших операционных систем, такие как гибкий аппарат генерирования конкретной конфигурации системы, модульный принцип, автоматиче-

ский выход на контроль, что обеспечивает гибкость системы, ее дальнейшее развитие, высокую надежность эксплуатации и др.

В отличие от традиционных методов, применяемых при обработке изображений на снимках с трековых камер, автором предложен новый алгоритм распознавания, в основу которого положен модифицированный метод линейных решающих функций. Созданная на основе этого алгоритма программа обеспечивает групповой поиск абстрактных образов. Она используется на всех этапах обработки изображения и может найти применение для решения задач распознавания в других областях научных исследований.

Реализованная в рамках системы методика контроля качества измерений и соответствующие программы представляют самостоятельный интерес и могут быть использованы многими разработчиками аналогичных систем.

Разработанная автором схема управления и модульная организация системы наряду с программным аппаратом обмена информацией позволяют легко генерировать различные версии системы и могут составить основу для реализации других проблемно-ориентированных систем.

Реализация: Разработанные автором методика, алгоритмы и программы нашли свое воплощение в виде системы математического обеспечения, которая является фактически составной частью большого физического эксперимента и используется в качестве необходимого звена в обработке больших потоков экспериментальных данных с магнитного искрового спектрометра ОИИИ.

Практическая ценность: Все разработки, выполненные автором в рамках созданного математического обеспечения, хотя и нацелены

на решение конкретных задач физического эксперимента, однако могут быть сравнительно легко перестроены для применения к другим задачам, связанным с обработкой снимков в научных и технических исследованиях.

Объем работ: В диссертацию вошли основные разработки и результаты, полученные автором за последние 6-7 лет /1-8/. В течение этого времени были созданы методика, алгоритмы и программы, которые легли в основу математического обеспечения, обобщены результаты, полученные при эксплуатации системы. Диссертация состоит из введения, 6 глав, заключения и списка литературы. Общий объем созданного автором программного обеспечения практически равен размеру оперативной памяти ЭВМ CDC-1604A (32 К), из которой около 8 К занимают рабочие поля.

Содержание

В первой главе диссертации приводится краткий обзор сканирующих систем, применяемых для измерения и обработки фотографий с трековых детекторов. Отмечается, что несмотря на высокий уровень автоматизации, применение высокопроизводительных сканирующих устройств и мощных ЭВМ, большинство таких систем ориентированы на участие человека в измерительном процессе в той или иной форме (системы с полным и минимальным управлением на базе НРД, спирального измерителя и другие).

Это обусловлено как все усложняющимися экспериментами, сложностью самих изображений, так и трудностями создания соответствующих систем программного обеспечения. Поэтому создание систем, работающих в режиме полного автоматического измерения, является актуальной задачей. Редкими примерами таких систем являются система с нулевым управлением на базе НРД DAPR в Беркли и система BRUSH в Мюнхене, рассчитанные на обработку относительно простых снимков с пузырьковых камер.

Снимки с больших магнитных искровых спектрометров выгодно отличаются от снимков с пузырьковых камер более низкой фоновой загрузкой и меньшим числом помех. Однако этот класс снимков характеризуется довольно сложной структурой и формой следов, регистрируемых в магнитном поле на больших длинах и с применением многих оптических систем. Для измерения и обработки огромных количеств таких снимков требуется создание специального математического обеспечения.

Известные системы обработки для больших спектрометров^{9/}, например, ОМЕГА (ЦЕРН), МАГИК-6 (ИГЭФ) и др. являются примерами таких систем с различными уровнями автоматизации измерительного процесса (в спектрометре ОМЕГА применяется телевизионная система регистрации). Однако непосредственно использовать эти системы мы не могли по ряду объективных причин, вызванных различием требований эксперимента, особенностью технического обеспечения и другими факторами.

В конце главы приводится краткая характеристика созданного автором математического обеспечения и особенности его применения при измерении снимков с пятиметрового магнитного искрового спектрометра ОИИИ. Функционирование системы происходит на трех иерархических уровнях (рис.3), которые обеспечивают вызов и выполнение широкого класса конкретных функций: управление сканированием, "ввод" изображения в память ЭВМ, контроль и накопление данных, автоматическую настройку на заданную партию снимков, распознавание, контроль точности измерений в процессе сканирования, определение и учет динамических искажений на фотопленке, обмен с внешними устройствами и др. Для визуального контроля в системе используется также дисплей со световым карандашом.

Во второй главе приведены основные характеристики пятиметрового магнитного искрового спектрометра и параметры его системы регистрации событий. Рассмотрены формат стереоснимков и основные элементы изображения, подлежащие распознаванию и обработке. Дано краткое описание и состав технического обеспечения измерительной системы (сканирующий автомат, ЭВМ), на базе которого велись разработки и реализация системы математического обеспечения для измерительного процесса.

Рассмотрены вопросы выбора параметров сканирования снимков с МИС ОИЯИ на сканирующем автомате НРД.

Приводится общая схема организации процессов измерения и обработки стереоснимков, а также распределение и объем информационных потоков для различных этапов работы системы (рис.1).

В третьей главе диссертации обсуждаются методика и алгоритм, положенные в основу главного блока распознавания. Во введении к главе приведены краткие сведения и отдельные примеры из теории линейных классификаторов.

Для распознавания элементов изображения на снимках предложен алгоритм, построенный на основе метода разделяющих плоскостей или метода линейных решающих функций, широко используемого на практике для решения задач по распознаванию образов /10-13/.

В нашем случае изображение преобразуется в числовую форму методом развертки прямоугольным растром (типа телевизионного). Цифровой образ снимка в памяти ЭВМ представлен в виде упорядоченного массива координат (отсчетов):

$$D: \{ (X_j; Y_{1j}, \dots, Y_{nj}) / X_j \leq X_{j+1}; Y_{ij} < Y_{(i+1)j}; 0 \leq n_j \leq t_n \}, \quad (I)$$

где $j = 1, 2, \dots, NS$ - число строк раstra,
 n_j = число Y-координат на j-й строке,

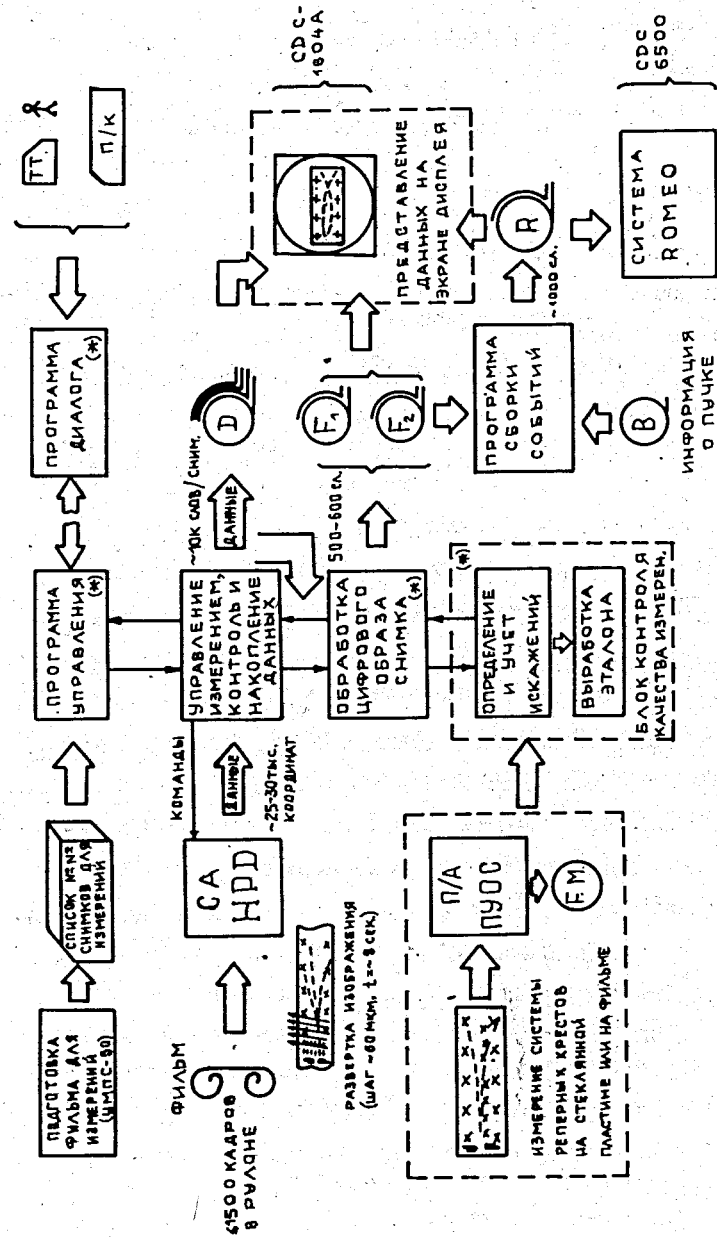


Рис.1 СХЕМА ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ СНИМКОВ С МИС НА НРД. [К] - этапы, которые выполняются также и на СДС-6500]

n - max число точек на строке

(NS ≈ 3000, n ≤ 95).

Обработка изображения при этом сводится к анализу числового множества данных {D}, при котором происходит распознавание объектов и определяются их основные параметры. Для распознавания объекта (служебной информации, реперных крестов, искр, треков и т.д.) необходимо выделить из заданного множества отсчетов те и только те, которые "принадлежат" искомому объекту. Выделенные при этом группы точек используются для определения основных параметров найденного объекта.

След траектории может быть описан в терминах различных геометрических структур. Геометрическая структура более высокого уровня в свою очередь, описывается в терминах структур предыдущих уровней. В основе процедуры распознавания конечного образа заложен принцип формирования элементов каждого структурного уровня с последующим объединением этих элементов в образы более высокого уровня. Алгоритм формирования элементов высшего уровня из элементов низшего является одним и тем же для всех уровней. В качестве основного критерия включения i-го элемента из последовательности $\{\beta_m\} = \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_{N_2}$ в j-й элемент последовательности искомых элементов $\{\alpha_n\} = \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_{N_1}$ выберем решающее правило (2):

$$D(i, j) = (\bar{W}, \bar{\Phi}) \geq T \rightarrow \beta_i \begin{cases} \in \alpha_j \\ \notin \alpha_j \end{cases}, \quad (2)$$

где T - порог, а $(\bar{W}, \bar{\Phi}) = \sum_{k=1}^N W_k \varphi_k(i, j)$ - линейная гиперплоскость в пространстве признаков $\bar{\Phi}$, которые описывают взаимное расположение пар (β_i, α_j) , $\sum_{k=1}^N W_k = 1$; $0 \leq \varphi_k(i, j) \leq 1$.

В качестве основного выражения для формирования вектора $\bar{\Phi}$ выбраны функции $\varphi_k(i, j)$, вида:

$$\varphi_k(i, j) = 1 - |P_k(i) - P_k(j)| / (|P_k(i)| + |P_k(j)|), \quad (3)$$

где P_k - количественные параметры элемента.

Весовой вектор \bar{W} в нашем случае подбирается экспериментально, либо программно, с учетом динамики развития элемента α_j .

Для слежения за развитием элементов из $\{\alpha_n\}$ в алгоритм распознавания введены величины P_j и F_j (поощрение и штраф). Решение о завершении поиска α_j , его развитии или исключении принимается на основе определения истинности логических выражений в соответствии с правилом (4):

При $(D(i, j) > T) \& (F_j < F_{max}) = 1 \rightarrow \alpha_j$ развивается.

При $\{(P_j > P_{max}) \vee ((P_j > P_{min}) \& (F_j > F_{max}))\} = 1 \rightarrow \alpha_j$ опознан. (4)

При $(D(i, j) < T) \& (P_j < P_{min}) \& (F_j > F_{max}) = 1 \rightarrow \alpha_j$ - помеха.

В выражениях (4) учитываются заданные размеры объекта (P_{min}, P_{max}) , допустимые потери информации на нем (F_{min}, F_{max}) , присутствие фона (T). Это позволяет сравнительно легко настраивать алгоритм на заданный класс искомых объектов. Алгоритм распознавания реализован в виде программы SOLVER на ФОРТРАНе. Приводится логическая схема программы SOLVER и некоторые особенности ее применения для обработки снимков с МИС.

В четвертой главе рассмотрены алгоритмы фазы первичной обработки и особенности их программной реализации. В отличие от систем, ориентированных на использование управляющей информации, алгоритмы по обработке данных на снимках МИС рассчитаны на работу в автоматическом режиме. Для этого управляющая информация вырабатывается в процессе анализа данных на основе задания грубых параметров, описывающих формат снимка с последующим уточнением этих параметров.

Рассмотрены алгоритмы и программы для поиска и обработки служебной информации на снимках, приведены их рабочие характеристики. Например, алгоритм обнаружения, распознавания и декодировки служебной информации учитывает значительный разброс в точности установки кадра в рамке измерительного стола (до (10–15) мм вдоль X и (1,5–2) мм вдоль Y).

В третьем параграфе настоящей главы излагается алгоритм группового поиска разнотипных реперных крестов. Главной особенностью этого алгоритма является его способность находить различные по форме и размерам кресты в одном цикле просмотра информации. Процедура поиска реперных крестов основана на программе SOLVER.

Автоматический режим функционирования системы во многом обеспечивается процедурой самонастройки на границы искровых промежутков, реализованной в подпрограмме GETSPR. Все алгоритмы показали достаточно высокую надежность в работе, обеспечивают необходимую точность восстановления координат объектов и устойчивы к различного рода помехам на снимке. В конце главы рассматривается программная организация обработки реперных крестов на снимках с МИС ОИЯИ, процедура контроля качества измерения, а также ведется обсуждение полученных результатов.

В пятой главе диссертации после краткого анализа проблем, возникающих в связи с деформацией фотопленки (как носителя изображения) на различных стадиях ее обработки, обсуждается методика для определения и учета факторов искажения фильма при его измерении на сканирующем автомате.

Предложена процедура математической компенсации деформации пленки в фильмовом канале сканирующего автомата. Приводится анализ измерений, выполненных на сканирующем автомате в различных режимах измерения, а также сопоставляются результаты измерений

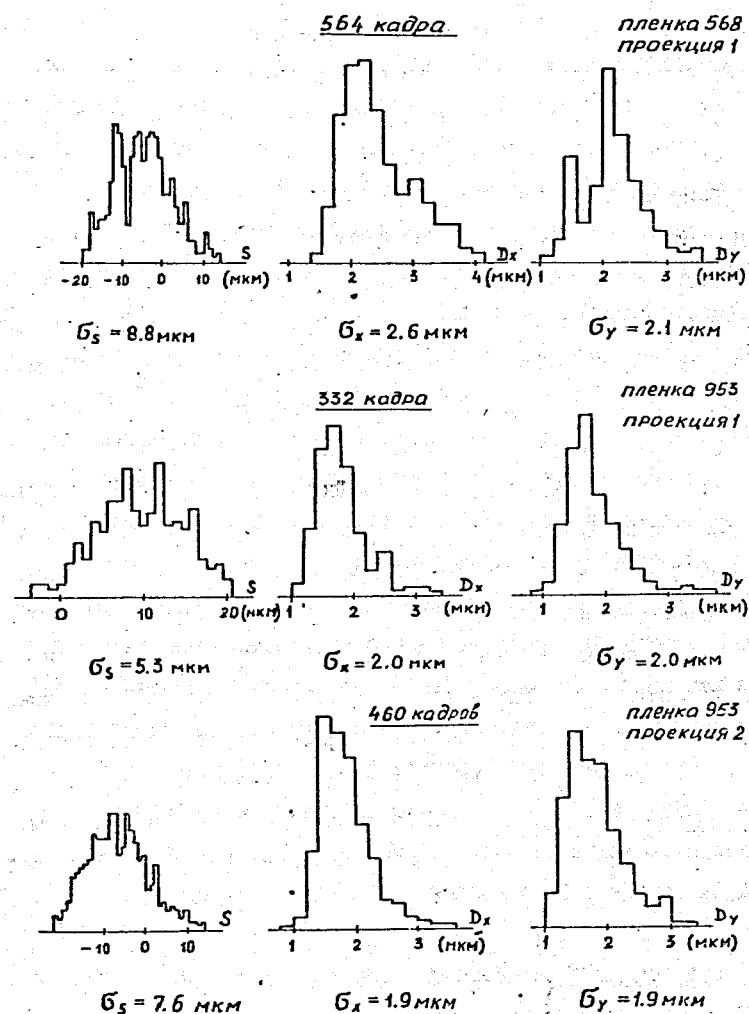


Рис.2. Распределения измерений по величинам S_j , Dx_j , Dy_j .

при автоматическом и полуавтоматическом способах обмера фотоснимков.

Проведенное исследование показало, что искажение фотоплёнок с МИС ОИЯИ в процессе фотографирования и измерений носит достаточно простой характер и может быть легко учтено с помощью программ. После математической компенсации искажений наложение друг на друга более тысячи измерений различных кадров одной фотоплёнки даёт разброс реперов $\sigma_x \approx \sigma_y \leq 3$ мкм равномерно по всему полю кадра (рис.2, распределения для Dx_j и Dy_j).

Приведено совместное распределение параметра искажения S (стрелы прогиба), вычисленное по измерениям с ИРД и ПУОСов.

Комплекс программ, положенных в основу проведенного исследования, был использован также при изучении влияния магнитного поля на положение реперных крестов в объёме спектрометра, для выработки оптических констант спектрометра и др.

Шестая глава посвящена вопросам организационной структуры математического обеспечения. Рассмотрен принцип программированного управления процессами измерения и фильтрации, позволяющий экспериментатору активно контролировать работу системы на различных уровнях. Взаимодействие оператора и системы обеспечивается программным аппаратом диалога с применением специального языка.

Режим функционирования системы определяется простым заданием списка экстракодов ("программы") в специальной памяти (таблица Т1, рис.3).

Управление функциональными блоками и установление взаимных связей между ними выполняется основным блоком обработки экстракода (CHIEF).

Каждому экстракоду поставлен в соответствие программный модуль или блок, которые управляют связями на более низком уровне,

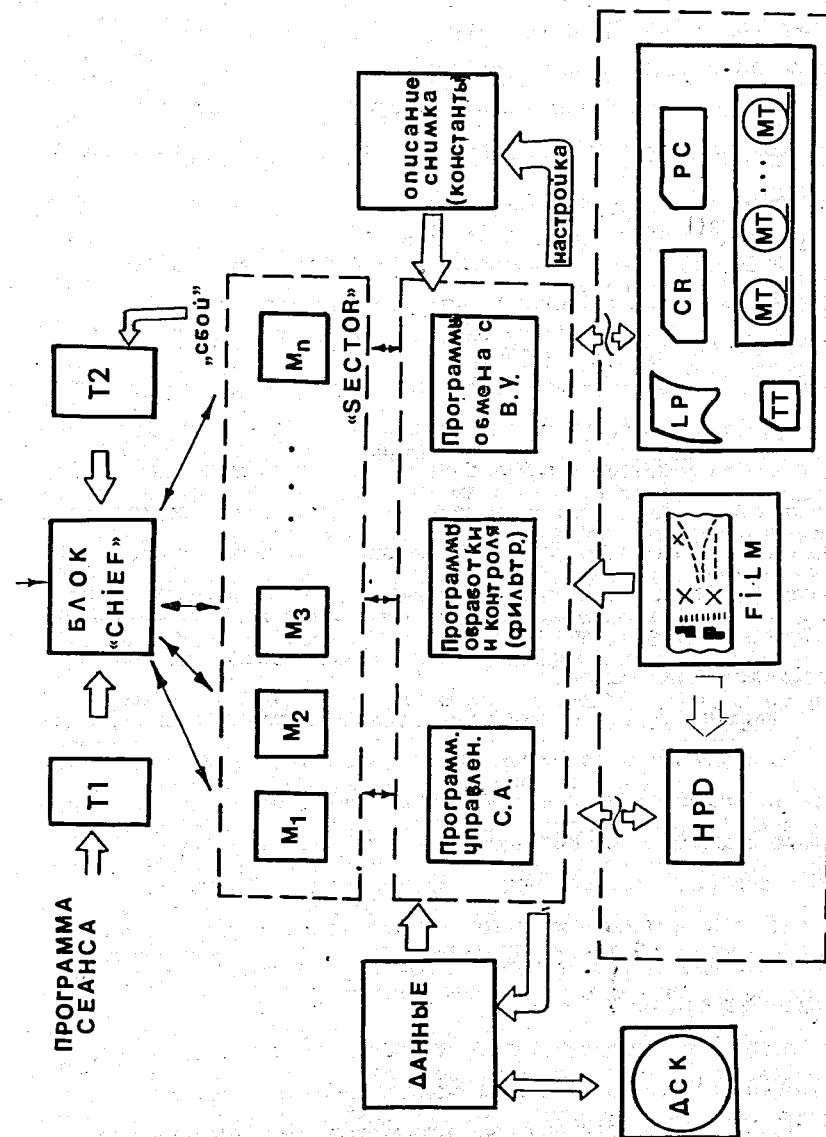


Рис.3. Организация управления в системе.

а также обеспечивают нормальную работу системы в случае появления нестандартных ситуаций, посредством генерации подходящего набора экстракодов в дополнительной памяти (таблица Т2, рис.3).

Ввод списка экстракодов в ТИ осуществляется непосредственно с клавиатуры пультового телетайпа, либо с перфокарты в следующем виде:

$$ЕС(i) = c_1 | c_2 | c_3 | \dots | c_n | END .$$

Например, режим сканирования с периодическим контролем точности измерения задается в виде такой программы:

$$ЕС(I)=I/I7/I6/2/30/5/8/I/26/27/35/23/20/28/23/20/END .$$

Возможно также задание этих кодов в виде буквенных обозначений. Структура системы программ не привязана к конкретному эксперименту, является открытой и может быть сравнительно легко настроена на различные режимы работы, а также на другой класс снимков посредством специального аппарата описания структуры снимка и заданием таблицы экстракодов. Математическое обеспечение имеет модульную структуру, что позволяет легко развивать систему путем добавления новых блоков.

В Заключении сформулированы основные результаты диссертации:

Основным результатом диссертации является разработка и создание математического обеспечения для сканирующей системы по измерению снимков с больших магнитных искровых спектрометров для работы в режиме автоматического опознавания изображений, а также ввод этой системы в производственную эксплуатацию для массового измерения стереоснимков с пятиметрового магнитного искрового спектрометра ОИЯИ.

В процессе создания математического обеспечения автором был решен ряд проблем, имеющих самостоятельное научное значение:

1. На основе модифицированного метода линейных решающих функций разработан распознающий алгоритм и создана программа для

синтеза объектов по результатам измерений их структурных элементов. Написанная на ФОРТРАНе программа SOLVER имеет общее назначение и нашла успешное применение при распознавании элементов изображения на снимках с магнитных искровых спектрометров на различных уровнях обработки изображения.

2. Разработан и реализован программный аппарат, позволяющий легко генерировать конкретный вид системы и режим ее работы посредством задания последовательности экстракодов в специальной таблице инструкций. Это облегчает работу пользователя при эксплуатации системы, делает ее легко настраиваемой на меняющиеся условия, а для разработчика представляет удобный аппарат для отладки системы.

3. Предложен компенсирующий алгоритм и созданы программы для определения и учета деформации фильма-носителя изображения. На основе созданных программ проведено экспериментальное исследование точности измерения сканирующим автоматом НРД реперных крестов на снимках с МИС ОИЯИ. Результаты исследования определили границы и характер искажений, а программы были положены в основу процедуры контроля за качеством измерений в процессе сканирования.

4. Разработаны алгоритмы и созданы программы для математической обработки данных, в частности, программы сглаживания экспериментальных данных, программы определения коэффициентов линейных и квадратичных преобразований на плоскости и другие.

Апробация: Основные результаты диссертации содержатся в работах /1-8/, были доложены на международных и всесоюзных совещаниях и семинарах в Дубне, Ереване /1,3,7,8/ на семинарах ЛВТА /2,4,5,6/ и опубликованы в виде статей и сообщений ОИЯИ.

Программное обеспечение подготовлено, отлажено и успешно эксплуатируется с 1976 года при измерении снимков с пятиметрового магнитного искрового спектрометра ОИЯИ.

Литература

1. Говорун Н.Н., Дикусар Н.Д. В книге: Сборник докладов Международного симпозиума по вопросам автоматизации обработки данных с пузырьковых и искровых камер. ОИЯИ, ДПО-6142, Дубна, 1972.
2. Дикусар Н.Д. ОИЯИ, IO-6626, Дубна, 1972.
3. Говорун Н.Н., Дикусар Н.Д. Труды Всесоюзного семинара по обработке физической информации, Ереван, ЕРФИ, 1976.
4. Говорун Н.Н., Дикусар Н.Д. ОИЯИ, IO-IO33I, Дубна, 1976.
5. Бадалян С.Г., Говорун Н.Н., Дикусар Н.Д. и др. ОИЯИ, IO-IO338, Дубна, 1976.
6. Дикусар Н.Д., Мороз В.И. ОИЯИ, PIO-70798, Дубна, 1977.
7. Говорун Н.Н., Дикусар Н.Д. Труды Международного совещания по программированию и математическим методам решения физических задач. Д IO,II-II264, Дубна, 1978.
8. Дикусар Н.Д., Мороз В.И. Труды II-го Всесоюзного семинара по обработке физической информации, Ереван, ЕРФИ, 1977.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

9. Michelini A., "Spectrometers for High Energy Physics". Proceedings of the 1973 Int. Conf. on Instrumentation for H.E.P., Frascati, May, 1973.
10. Себастьян Г.С. Процессы принятия решений при распознавании образов. Киев, Техника, 1965.
11. Хайлтимен В.Н. Линейные решающие функции и их применение для распознавания образов. ТИРИ, ИЛ, М., т.50, № 6, 1962.
12. Clarc R. and Miller W. Methods in Computational Physics, V5, 1966, AP, N-York, London, p.p. 47-98.
13. Keinosuke Fukunaga, Introduction to Statistical Pattern Recognition, AP, N-York, London, 1972.

Рукопись поступила в издательский отдел
2 марта 1978 года.