

H-25

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ. ЛАБОРАТОРИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ  
ТЕХНИКИ И АВТОМАТИЗАЦИИ

на правах рукописи

НАНАСЯН АРАМ СЕРГЕЕВИЧ

СРЕДСТВА И МЕТОДЫ АВТОМАТИЗАЦИИ  
СИСТЕМ ПЕРЕРАБОТКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ  
НАУЧНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Специальность 05.13.06-автоматизиро-  
ванные системы переработки информации и  
управления.

Автореферат диссертации на соискание  
ученой степени доктора технических  
наук.

Дубна - 1978

Работа выполнена в Ереванском Физическом институте  
ГКАЭ СССР

Официальные оппоненты:

1. Доктор технических наук, профессор Л.А. Маталин-Слуцкий
2. Доктор физико-математических наук А.З. Писарев
3. Доктор технических наук И.В. Штрах

Ведущая организация - Институт Физики высоких  
энергий ГКАЭ СССР г. Серпухов

Защита диссертации состоится " " \_\_\_\_\_ 1978г.

в \_\_\_\_\_ часов на заседании Специализированного Совета  
Д 047.01.04 при ИВТА ОИЯИ, 141980, г. Дубна, Московской  
области

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ

Автореферат разослан " " \_\_\_\_\_ 1978г.

Ученый секретарь Спецсовета

кандидат физико-математических наук

(Т.П. Пузынина)

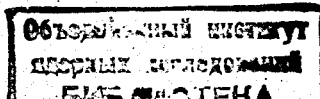
Современные экспериментальные исследования в области физики высоких энергий на ускорителях заряженных частиц характеризуются применением сложных физических экспериментальных установок, требующих привлечения вычислительных машин и много-машинных комплексов как для сбора и накопления экспериментальной информации, управления и контроля установкой, так и для последующего анализа этой информации.

Системы сбора и обработки экспериментальной физической информации являются уникальными комплексами, построенными с учетом специфики работы данного электрофизического и экспериментального физического оборудования.

Построение подобных систем, часто объединяющих ряд ЭВМ разных классов и поколений, представляет сложную научно-техническую проблему, которая в большинстве случаев, не может быть решена в рамках доступных средств вычислительной техники, выпускаемой промышленностью.

Оптимальное решение данной проблемы приводит к существенному повышению эффективности использования ускорителей и физической экспериментальной аппаратуры и, в конечном итоге, к повышению эффективности проведения ядерно-физических исследований. Развитие работ в этой области представляется важной и актуальной задачей.

Большой круг задач связан с решением другой проблемы - автоматизации обработки снимков трековых камер, используемых в экспериментах в физике высоких энергий. Следует отметить, что помимо решения частной задачи - автоматизации обработки фотометрической информации, развитие работ в данной области имеет большое значение для решения более общей проблемы



- автоматизации обработки информации, представленной в виде фотографий во всех областях научной и технической деятельности, где используются фотографические методы регистрации информации, а также для решения ряда прикладных задач в народном хозяйстве.

Системы обработки фотоматовой информации являются по существу быстродействующими прецизионными устройствами ввода графической информации в ЭВМ. Работы в этой области наиболее развиты в экспериментальной физике высоких энергий; использование и дальнейшее развитие методической базы и аппаратных средств съема и обработки графической информации в других областях науки и техники является актуальным и перспективным направлением.

Основную задачу, решаемую в диссертации, составляют вопросы автоматизации экспериментальных научных исследований на электронном кольцевом ускорителе Ереванского физического института Государственного комитета по использованию атомной энергии СССР и создание автоматизированных измерительных систем обработки графической информации, что в совокупности определило цель настоящей работы - создание крупного многоцелевого измерительно-вычислительного комплекса для переработки экспериментальной научной информации в Ереванском физическом институте.

В диссертацию вошли работы, выполненные автором и под его научным руководством в Ереванском физическом институте в 1970-1977 г.г. и работы автора в Европейской организации ядерных исследований (ЦЕРН, Женева) в 1969-1970 г.г.

Основные положения настоящей работы могут быть сформулированы следующим образом:

1. Предложены новые подходы в комплексировании малых ЭВМ на функциональном уровне и организации каналов связи с ЭВМ, а также оригинальная сервисная аппаратура для наладки и контроля блоков сложной дискретной и цифроаналоговой электроники и средств вычислительной техники.

На основе этих положений предложена и реализована оригинальная схема сети обработки экспериментальной физической информации с несколькими оконечными ЭВМ и центральной коммуникационной буферной системой ЭВМ.

2. Предложены новые методологические и технические решения в построении и развитии быстродействующих прецизионных систем съема и обработки графической координатной и полутоновой информации, использующих оптико-механические устройства растрового разложения. На основе данных предложений созданы оригинальные измерительные комплексы для обработки графической информации, представленной на прозрачных носителях.

Объем диссертации - 160 страниц. Работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованной литературы (124 работы). Диссертация содержит 40 рисунков, графиков, таблиц.

Вопрос построения многомашиных систем сбора и обработки физической информации.

В первой главе диссертации кратко рассмотрены предпосылки построения комплексов ЭВМ для сбора и обработки экспериментальной физической информации.

Объединение ЭВМ в многомашиные комплексы представляет определенные трудности. Как правило, проектировщику многомашиной системы в физическом центре приходится объединять уже существующие ЭВМ; в большинстве случаев разных типов и поколений, не совместимых как по техническим параметрам и аппаратным средствам, так и по математическому обеспечению.

Большинство ЭВМ второго поколения лишены как аппаратных, так и программных средств организации каналов связи с абонентами, не входящими в стандартную конфигурацию ЭВМ. В моделях третьего поколения также имеются определенные проблемы в подсоединении нестандартных потребителей.

Рассматриваются способы построения канала связи, не требующие вмешательства во внутреннюю организацию ЭВМ и существенно-го изменения ее математического обеспечения.

Предлагается метод организации канала, при котором используется стандартная процедура обращения по запросу ЭВМ контроллера внешнего устройства ЭВМ (например, контроллера магнитных дисков) к устройству (диску) с последующим перехватом циклов записи/чтения каналом связи, который в этот момент подключается к устройству. Организованный подобным образом канал позволяет производить буферный ввод/вывод информации с использованием в качестве буфера запоминающих устройств с прямым доступом, входящих в состав периферийного оборудования ЭВМ.

Предлагается решение, связанное с другой проблемой — активизацией канала (организацией обслуживания канала) в ЭВМ, снабженных аппаратом внутренних аварийных прерываний и, соответственно, операционной системой, включающей блоки обработки этих прерываний. В этом случае может быть создана искусственная "аварийная ситуация", по которой операционная система передает управление специальной программе активизации канала и приема данных от абонента, которая обращается к выделенному внешнему устройству ЭВМ, вместо которого подключен канал связи.

Данная программа может включать также и обработку этих данных.

В связи с возросшей сложностью техники физического эксперимента в ряде случаев для обслуживания экспериментальной установки ресурсы одной ЭВМ оказываются недостаточными. В таких случаях используются две или более малых ЭВМ, каждая из которых ориентирована на обслуживание отдельных блоков установки или выполнение специализированных функций (контроль оборудования, накопление и контроль данных, управление, организацию диалога с экспериментатором и т.п.).

В диссертации предлагается еще один способ функционального разделения обслуживания потребителя на межмашином уровне, при котором обслуживание каналов ввода информации (запросы, приоритеты) производится отдельной мини ЭВМ, прием данных при этом осуществляется другой ЭВМ.

Данные положения были использованы при проектировании и реализации многомашиного комплекса для сбора и обработки экспериментальной физической информации Ереванского физического института.

## Измерительно-вычислительный комплекс БЭИ.

Система ЭВМ и измерительных устройств предназначена для приема и обработки данных с экспериментальных установок, работающих на пучках электронно-кольцевого ускорителя БЭИ, для обработки информации со снимков трековых камер и для проведения общих вычислительных работ.

Технической базой системы обработки являются ЭВМ БЭСМ-6, М-222, ЕС-1020, РДР-9, РДР-8/е.

Обработка трековой информации производится на установке с растровым разложением НРД и проектором со сканированием в зоне сопровождения.

Все ЭВМ, измерительные приборы и другие потребители включены в сеть обработки, построенную по радиальному принципу (рис.1).

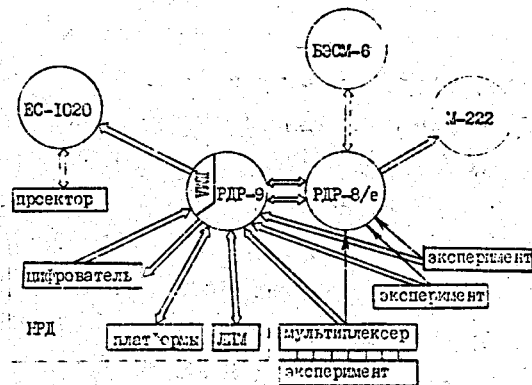


Рис.1

Центром сети являются ЭВМ РДР-9 - РДР-8/е, выполняющие следующие функции:

1. Прием информации от потребителей
2. Предварительную обработку принятой информации, выдачу

данных информативного характера обратно потребителю, если это необходимо.

3. Накопление данных на диске и (или) магнитных лентах.

4. Буферную передачу данных в оконечные ЭВМ в необходимом формате.

РДР-9 и РДР-8/е объединены функционально в систему.

РДР-8/е в этой системе обслуживает запросы потребителей и производит буферный вывод в оконечные ЭВМ. В РДР-9 производится прием данных, их предварительная обработка и накопление. Передача функций по обслуживанию каналов РДР-9 в РДР-8/е приводит к экономии вычислительных ресурсов процессора РДР-9, возможности более гибкой организации обслуживания потребителей.

Система РДР-9 - РДР-8/е позволяет одновременное обслуживание экспериментальных и измерительных установок и буферный вывод информации в оконечные ЭВМ в реальном масштабе времени.

2. Окончательная обработка производится в ЭВМ М-222, ЕС-1020 и БЭСМ-6 в режимах монопольного использования (М-222, ЕС-1020) и приоритетной обработки поступающего массива в мультипрограммном режиме (БЭСМ-6).

Использование нескольких независимых оконечных ЭВМ продиктовано желательностью организации параллельной обработки в реальном времени находящихся в обслуживании экспериментов, возможностью резервирования оконечных ЭВМ, эффективного использования вычислительных ресурсов имеющегося парка ЭВМ, в частности, в части разгрузки базовой ЭВМ - БЭСМ-6 от обработки тех экспериментальных данных, которые могут быть выполнены на машинах меньшей производительности в приемлемое время.

Комплекс ЭВМ РДР-9 - РДР-8/е используется как система кол-

лтивного пользования. При проектировании подобных систем, выборе оптимального варианта ее построения, исследование характеристик действующей системы представляет значительный интерес в определении возможностей системы и ее развития.

Наиболее удобным методом анализа при этом является статистическое моделирование.

Исследование некоторых характеристик системы (реакция системы на запросы от потребителей в зависимости от входных потоков информации, взаимного влияния потребителей, вероятности возможных потерь экспериментальных данных при информативных перегрузках в системе и т.п.), проведенных на модели Монте-Карло показало, что в условиях повышенных вдвое загрузок при одновременной работе двух экспериментальных установок, НРД и буферном выводе данных в оконечные ЭВМ общее количество заявок в очереди на обслуживание менее 1% с ожиданием  $< 10$  мкс. Это позволяет сделать вывод с высокой пропускной способности системы в целом, допускающей дальнейшее развитие в подключении к системе новых абонентов.

Аппаратура контроля и наладки функциональных блоков дискретной и цифроаналоговой электроники и средств вычислительной техники.

Во второй главе обсуждается необходимость разработки цифровых испытательных приборов для наладки и контроля сложной цифровой и цифро-аналоговой электроники и средств вычислительной техники и сформулирован ряд основных требований, которым должны удовлетворять приборы подобного назначения. К этим требованиям относятся:

- Возможность формирования и циклической регенерации заданных параллельных кодов.

- формирование простейших переменных кодов
- прием циклических параллельных и переменных кодов и их контроль
- сравнение параллельных и последовательных кодов и их контроль с заданной точностью
- преобразование последовательного кода в параллельный и наоборот
- возможность оперирования с входными/выходными параллельными или последовательными кодами с формированием сопровождающих управляющих сигналов, позволяющих организацию диалога по принципу "запрос-ответ".

Разработан ряд приборов, удовлетворяющих приведенным выше требованиям.

В диссертации приводятся функциональные описания двух подобных приборов.

Автоматизированные системы обработки графической информации.

Вторая часть диссертации (три главы) охватывает круг исследований и разработок в области автоматизированных систем обработки снимков трековых камер, применяемых в экспериментальной физике высоких энергий и возможностью использования этих систем в обработке нефизической графической информации.

В этих работах автор преследовал следующие цели:

I. Разработку разных по возможностям, взаимно дополняющих друг друга высокоточных автоматизированных систем обработки камерных снимков, использующих оптико-механические сканирующие устройства, для решения важной практической задачи - организации обработки камерной информации с экспериментальных установок Ереванского физического института.

2. Исследования и практическую проверку принятых концепций в построении измерительных комплексов, которые могли бы служить базой при конструировании многоцелевых систем обработки графической информации.

3. Исследование новых методик и аппаратных средств, предоставляющих возможность использования систем обработки информации с трековых камер в других областях научных исследований, использующих фотографические методы регистрации.

4. Разработку принципов и рекомендаций к конструированию многоцелевых систем обработки графической информации на базе оптико-механических сканирующих устройств растрового разложения.

#### Измерительная система НРД

В третьей главе рассматриваются принципы построения измерительных систем на базе оптико-механической системы растрового разложения НРД.

На основе подобного сканирующего устройства построена измерительная система НРД Ереванского физического института. Система включает в себя оптико-механическое сканирующее устройство НРД MARK -2A (Соженик, Англия), соответствующие, аналоговые, цифровые и исполнительные электронные блоки и управляющую ЭВМ РДР-9 (DEC, США).

При разработке системы НРД рассматривалось с одной стороны как набор датчиков, связанных с ЭВМ и выдающих в машину информацию состояния по запросу от ЭВМ, а в критических ситуациях по своей инициативе. С другой стороны для ЭВМ НРД представляется рядом исполнительных механизмов, выполняющих элементарные операции. Этот принцип, естественно, выдерживался в разумных пре-

делах. Например, реализация управления состоянием петель в вакуумных карманах лентопротяжного механизма выполнена не с помощью управляющих программ в ЭВМ, а автономной системой авторегулирования; используются электронные счетчики в системах отсчета координат.

Остальные системы (вывод платформ столика в зоны сканирования, счетчик кадров (марок Бреннера), управление узлами лентопротяжного механизма, рамки, платформы столика, цифрователь) управляются непосредственно ЭВМ. Функции ряда электронных блоков выполняются программно (схемы сравнения, счетчики, задержки, формирование последовательности управляющих сигналов и т.п.).

Наличие ЭВМ в системе управления НРД позволяет легко менять алгоритмы управления установкой в зависимости от конкретной задачи. Данные от сканирования снимка подвергаются в ЭВМ качественному анализу. Если информация не удовлетворяет заданным критериям, производится измерение с соответственно измененными параметрами сканирования, задаваемыми ЭВМ. Реализовано оптимальное управление по двум параметрам - шагу сканирования и уровню цифрования.

НРД связана с управляющей ЭВМ пятью каналами программно-управляемых передач, выполняющими следующие функции:

- прием в ЭВМ статуса лентопротяжного механизма (ЛПМ)
- выдачу из ЭВМ управляющих команд в ЛПМ
- прием в ЭВМ статуса измерительного столика
- выдачу из ЭВМ управляющих команд на измерительный столик
- выдачу из ЭВМ управляющих команд на цифрователь и управление масками

Выдача информации из НРД производится по каналу прямого



доступа в память РДР-9.

В данной главе рассмотрены основные функциональные узлы установки, приводятся функции управляющих программы, калибровка и исследование погрешностей установки.

Принципиальным отличием НРД ЕФИ от известных подобных приборов является возможность проводить наряду с координатными измерениями микроденситометрическую обработку снимков.

Измерительный проектор с зональным сканированием.

Система НРД является высокопроизводительным измерительным комплексом, удобным для массовой обработки фоновой информации.

Однако, в ряде случаев, обработка фильмов с применением НРД не является оптимальной.

Например, отсутствие на фильме марок Бреннера или общепринятого паспорта кадра ("дата бокса") приводит к необходимости введения дополнительных аппаратных и программных средств, обеспечивающих фиксацию снимка в кадровом окне лентопротяжного механизма и его идентификацию. Данную работу целесообразно выполнять, когда измеряемая серия фотографий достаточно большая и совершенно не оправдывает себя при обработке малых серий фотографий (калибровочных снимков и т.п.). Еще более существенным является качество снимков.

Для построения гибкой системы обработки камерных снимков, рассчитанной на широкий спектр разных по качеству и стандарту фотографий, наряду с НРД целесообразно применение прибора с точными характеристиками, соответствующими характеристикам НРД, более простого по конструкции и в эксплуатации, с меньшей производительностью, но с возможностью быстрой приспособляемости к разным по стандартам, качеству и загрузке фильмам.

Наиболее подходящей, в этом смысле, является автоматизированная система обработки с использованием оператора, работающего под контролем ЭЕМ.

Предлагаемый измерительный сканирующий проектор, который рассматривается в четвертой главе, являясь по существу "мини НРД", использует в процессе измерений оператора, позволяя как автоматическое определение координат точек трека, так и ручное центрирование, если это необходимо. Проектор использует принцип ручного сопровождения оператором измеряемого трека в некоторой зоне с автоматическим определением его координат внутри этой зоны. Точные значения координат треков, попавших в зону, определяются сканированием этой зоны оптико-механической сканирующей системой, реализующей развертку области снимка в плоскости его увеличенного изображения.

Одним из распространенных методов маркировки треков, подлежащих измерениям на растровых сканирующих системах, является метод цифровой маски, при котором при предварительном просмотре определяются зоны, в которых находятся интересующие треки (событие). При последующем сканировании снимка выбираются только те точки треков, которые лежат в пределах заданных предварительным просмотром зон.

В сканирующем проекторе операции определения зоны и само сканирование совмещены. Проследивая трек, оператор, в конечном итоге, задает зону, в которой лежит интересующее событие; одновременно с этим производится сканирование в пределах этой зоны.

С этой точки зрения данная система измерений аналогична системам растрового разложения, использующим цифровую маску непосредственно в процессе сканирования.

В данной главе рассмотрены принципы построения системы отсчета координат, оптико-механического сканирующего устройства, приведено функциональное описание блок-схемы проектора, предложена методика калибровки отсчетных систем, исследованы погрешности измерений.

Методы отсчета положения сканирующей апертуры.

Положение сканирующей апертуры в оптико-механических устройствах зонного сканирования может отсчитываться либо по специальной опорной решетке, сканируемой синхронно с изображением, либо путем интерполяции, либо комбинацией этих двух способов.

Если апертура перемещается вдоль строки со строго постоянной скоростью, то для определения ее положения достаточна линейная интерполяция с помощью генератора с АПЧ; последняя необходима для слежения за замедленными изменениями скорости сканирования. Реализация такой развертки возможна с помощью диска, сканирующие щели которого выполнены в виде эвольвент окружности.

Диск с радиальными щелями дает нелинейную развертку

$$x = R \operatorname{tg} \varphi, \quad v = R \omega \operatorname{sec}^2 \omega t$$

где  $R$  — расстояние от центра диска до маски.

Погрешность линейной интерполяции:

а) без опорной решетки

$$\Delta x = \frac{L}{2 \operatorname{arctg}(\frac{1}{2} R)} \omega t - R \operatorname{tg} \omega t$$

б) в пределах шага опорной решетки

$$\Delta x_m = \frac{(\frac{1}{2})^2}{(\frac{1}{2})^2 + R^2} \cdot l_0,$$

где  $L$  — длина маски

$l_0$  — шаг решетки

Погрешность интерполяции с автоподстройкой частоты по опорной решетке

$$|\Delta x_m| = \frac{L l_0}{R^2 + (\frac{1}{2})^2}$$

в  $\frac{1}{4} l_0$  раз меньше, чем для случая б), что дает выигрыш в габаритах диска.

Дальнейшее уменьшение погрешности интерполяции может быть достигнуто принудительной девиацией частоты интерполяционного генератора. Например, приближение

$$v \approx R \omega \operatorname{ch} d t$$

дает при шаге интерполяции  $X_0$  функцию частоты

$$f = \frac{R \omega}{X_0} \operatorname{ch} d t,$$

которая может быть осуществлена средствами электроники путем интегрирования аналогового значения текущего состояния счетчика интерполяции (счетчика положения апертуры).

Пятая глава посвящена вопросам обработки полутоновой графической информации с помощью оптико-механических сканирующих устройств.

Рассматриваются принципы и технические средства, применяемые в настоящее время для автоматизированной обработки полутонных снимков. Выделено направление, связанное с прецизионными микроденситометрическими измерениями. Отмечается, что ограниченная скорость сканирования, присущая электромеханическим сканирующим системам известных микроденситометров, сдерживает возможность обработки больших массивов информации (что является характерной особенностью микроденситометрических методов).

измерений) в разумные сроки.

Предлагается использование в микроденситометрических измерениях прецизионных оптико-механических растровых сканирующих систем, работающих под управлением ЭВМ.

Для реализации точечного микросканирования предлагается новая методика, реализованная на оптико-механической сканирующей системе НРД.

Сущность методики заключается в следующем:

1. Сканирование производится маской (ширина и позиция маски задается ЭВМ), последовательно перемещаемой по сканируемой (лучом) строке в заданных пределах, при этом функции электронных масок не ограничиваются только стробированием луча по строке (т.е. генерацией команды на цифровое видеосигнала через заданные расстояния по строке сканирования). Маски используются также для формирования линейного размера измерительной апертуры.

2. В границах маски фотометрируется интегральный сигнал от сканирования лучом.

3. Столик перемещается в новую позицию для измерений по следующей строке разложения и т.д.

Таким образом, производится дискретное фотометрирование в заданной площади с сеткой, определяемой в одном направлении шагом перемещения маски по строке, в другом — величиной перемещения активной платформы измерительного столика от строки к строке, т.е. плотностью сканирующих линий.

Для изучения возможностей использования НРД, работающего в режиме микроденситометрических измерений с применением приведенной выше методики, разработана программа исследований (сов-

местно с Бюраканской астрофизической обсерваторией), охватывающая круг задач, решаемых методами микроденситометрии (измерения точечных и протяженных объектов, обнаружение переменных звезд и компактных галактик и др.).

В диссертации приводятся методика обработки и результаты методической работы по определению звездных величин известных отдаленных звезд Северного полярного ряда.

За параметр, характеризующий звездную величину ( $m$ ) принималось значение

$$K = \int_n V \cdot H \cdot S^2,$$

где  $V$  — приведенная интегральная плотность изображения звезды на астропластинке (объем "колокола", см. рис.2)  
 $H$  — приведенная к фону максимальная величина почернения изображения (высота колокола)  
 $S$  — площадь изображения звезды на уровне фона (площадь основания колокола).

Звездная величина может быть определена по значению  $K$

$$m = a + bK + cK^2$$

где  $a, b, c$  — коэффициенты характеристической кривой, вычисленной по известным звездам.

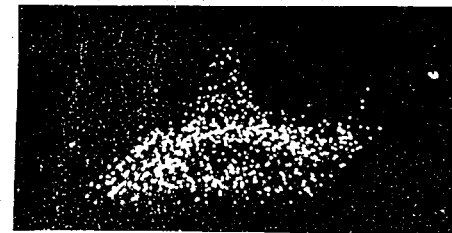


Рис.2 Распределение коэффициента пропускания  $\tau$  одной из звезд Северного полярного ряда на уровне фона. Шаг сканирования — 8x8 мкм.

При принятом шаге микросканирования (8мкм), на астроплатинке уверенно идентифицируются объекты, диаметром вплоть до 50 мкм.

Среднеквадратичная погрешность измерений в пересчете на звездные величины составила  $0,^m 12 + 0,^m 14$  в диапазоне измерений  $6,^m 3$  при погрешности воспроизводимости  $= 0,^m 0052$ .

Соответствующая погрешность при контрольных измерениях с помощью ирисового фотометра  $- 0,^m 16$ .

Приводятся также результаты исследования возможности применения НРД для анализа снимков биологических объектов, в частности, в цитохимическом анализе клеток.

Исследовался характер распределения клеточных веществ (ДНК, РНК, белковые соединения) в пределах клетки, их количественные соотношения (рис.3).



Рис.3. Пространственное распределение ДНК в клетке.

Шаг сканирования  $- 32 \times 32$  мкм.

Данные параметры характеризуются величиной и изменением оптической плотности этих веществ на фотоснимке.

Полученные результаты по количественному соотношению клеточных веществ хорошо согласуются с контрольными измерениями

на двухлучевом регистрирующем микрофотометре. При этом, скорость обработки с применением НРД выше более, чем на два порядка.

В приведенных выше работах проводились относительные фотометрические измерения с привязкой к уровню фона.

Погрешности и воспроизводимость фотометрических измерений на НРД.

Основные источники погрешностей при фотометрических измерениях на НРД являются генератор формирования сканирующего луча, видеоканал, А-К преобразователь.

Исследованы характеристики яркости светового пятна вдоль сканирующей линии. Предложена и реализована цифровая коррекция неравномерности яркости сканирующей линии в процессе накопления фотометрической информации в ЭВМ.

Исследованы также погрешности, обусловленные системой формирования сканирующего луча. Анализ погрешностей, вносимых приведенными факторами методом разложения в ряд Фурье аппроксимированной строки сканирования, показал, что суммарная погрешность (с учетом шумов оптического тракта и видеотракта) составляет около 2%.

Исследована нестабильность воспроизводимости результатов в случае прямых фотометрических измерений на НРД за счет таких дестабилизирующих факторов, как нестабильность освещения, питания ФЭУ, дрейфа А-К преобразователя и т.д.

Нестабильность воспроизводимости, измеренная в

течение длительного времени без принятия дополнительных мер по стабилизации источников, вносящих погрешность (изменение яркости пятна на заданном участке) составляет 10% (изменение постоянной составляющей — "уровня белого").

Среднеквадратичное изменение яркости в пределах 32 строк сканирования (~ 200 мсек) — около 0,5%. Для коррекции погрешностей при прямых фотометрических измерениях за счет приведенных факторов предлагается метод, при котором одновременно со сканированием измеряемой области по краю кадрового окна в зоне, перекрываемой сканирующей линией, сканируется специальный эталон плотности, и в ЭВМ производится построчная коррекция значений коэффициента пропускания ( $\tau$ ) или плотности ( $D$ ).

Факторы, определяющие скорость фотометрирования на установках с оптико-механическими растровыми сканирующими системами.

Выделены такие факторы, как скорость сканирования, время преобразования амплитуда-код, скорость передачи канала данных в ЭВМ, объем памяти ЭВМ.

Показано, что определяющим является не максимально возможная скорость съема информации сканирующим устройством, а возможности ЭВМ по быстрому приему и накоплению больших массивов поступающей информации. При использовании современных мини ЭВМ с памятью в 16 к слов предельной является скорость сканирования порядка 5 мкм/мкс, при этом возможна максимальная скорость съема информации в 200-500 тыс. отсчетов/сек.

Измерительные системы на базе оптико-механических сканаторов с разверткой снимка в поле его увеличенного изображения и управляющей ЭВМ.

В диссертации рассматривались две измерительные системы, основанные на разных принципах оптико-механического сканирования — НРД, реализующая сканирование в плоскости снимка световой апертурой (являющейся при фотометрировании измерительной) и измерительный проектор, построенный на принципе сканирования в поле увеличенного изображения снимка разверткой участка снимка сканирующей апертурой. С точки зрения фотометрических измерений способ развертки увеличенного изображения снимка имеет ряд преимуществ, таких как минимальное количество оптических шумов и искажений, легкость коррекции этих искажений, возможность работы с переменной апертурой (изменением масштаба увеличения проекции), конструктивная простота и др.

Имея ввиду приведенные выше соображения, сформулированы основные принципы построения прибора для прецизионных координатных и фотометрических измерений однотоновых и полутонных фотографических изображений, представленных на прозрачных носителях.

1. Принцип действия — растровое разложение изображения с разверткой по строке с помощью оптико-механического сканирующего устройства, а по кадру — перемещением фотоснимка.

2. Развертка осуществляется в поле увеличенного изображения измеряемого объекта.

3. Подвод изображения в зону сканирования и последующая развертка изображения по кадру относительно сканирующей строки

реализуется микроскопным измерительным столиком (на котором закреплена измеряемая фотография), снабженным электромеханическим приводом и отсчетными системами на дифракционных решетках.

4. Предусматривается возможность изменения размеров сканирующей апертуры и, соответственно, длины зоны сканирования, изменением масштаба проекции на сканирующем устройстве.

5. Предусматривается возможность оптического вывода изображения на экран оператора для маркировки областей, подлежащих микрофотометрированию (или координатным измерениям) с последующей передачей этой информации в ЭВМ для использования ее в процессе управления развертками.

6. Все операции по управлению развертками, выбору сканирующей апертуры и шага фотометрирования, передачей и накоплением данных, а также корректировка, нормализация и качественный анализ полученной информации осуществляется отдельной мини ЭВМ, являющейся функциональным звеном установки.

В диссертации обсуждаются возможные технические характеристики подобной установки и требования к управляющей ЭВМ.

В заключении приведены основные результаты работы.

I. Предложены новые подходы в комплексировании малых ЭВМ на функциональном уровне и организации каналов связи с ЭВМ.

На основе этих предложений создана оригинальная многоаппаратная система сбора и обработки экспериментальной информации в Ереванском физическом институте.

Система ЭВМ ЕФИ наработала более 6 тысяч часов совместно с экспериментальными установками, работающими на пучках элек-

тронного синхротрона ЕФИ.

Результаты физических работ, выполненных с помощью системы, доложены на XIII Международной конференции по физике высоких энергий в г. Тбилиси в 1976 г.

Система ЭВМ ЕФИ внедрена в промышленную эксплуатацию в составе АСУ ЕФИ в 1977 году.

2. Предложена и реализована в ЕФИ и в ИФЭИ-э серия новых цифровых испытательных приборов для контроля и наладки сложной дискретной и цифроаналоговой электроники и средств вычислительной техники, что позволило существенно повысить эффективность разработки аппаратуры.

3. Предложена новая методика, позволяющая использовать измерительные приборы с оптико-механическими сканирующими системами растрового разложения, предназначенные для обработки снимков с тресковых камер, также и для обработки полутоновой графической информации; предложены новые технические решения в построении систем обработки камерной информации. На основе данных предложений созданы две системы обработки камерной информации:

а) измерительная система для обработки снимков тресковых камер на базе оптико-механического сканирующего устройства НРД и управляющей ЭВМ, отличающаяся от аналогичных отечественных и зарубежных систем возможностями обработки полутоновой графической информации, что открывает новые пути в использовании приборов подобного класса как в физике высоких энергий, так и в других областях науки и техники, использующих фотографические методы регистрации информации.

Система НРД внедрена в промышленную эксплуатацию в сос-

таве АСУ ЕФИ в 1977 г.

Физические результаты, полученные на основе обработки камерных снимков на НРД, доложены на XV Международной конференции по физике космических лучей в г.Пловдив в 1977г.

б) измерительный проектор с зональным сканированием, дополняющий возможности НРД и образующий совместно с НРД эффективную систему обработки камерной информации.

4. Предложена методика и показана возможность обработки астрофизической информации на НРД; показана возможность использования НРД для обработки биологической информации.

Применение НРД для прецизионной обработки полутонных снимков позволяет существенно (в 100-200 раз) ускорить процесс измерений.

5. Рассмотрены факторы, определяющие погрешности фотометрических измерений на устройствах типа НРД и скорость фотометрирования; предложены методы цифровой коррекции искажений, что позволяет получать точность фотометрических измерений на установках класса НРД на уровне современных специализированных фотометрических приборов, работающих в режиме прямых фотометрических измерений.

6. Для оптико-механических устройств, работающих в поле увеличенного изображения снимка, предложены способы расчета основных параметров, позволяющие оптимизировать выбор технических характеристик сканирующего устройства в зависимости от допустимых погрешностей измерений, а также методы отсчета положения сканирующей апертуры в подобных устройствах.

7. Показана целесообразность применения оптико-механических

ких устройств с разверткой снимка в поле его увеличенного изображения в качестве основы быстродействующих систем прецизионной обработки графической информации. Предложен проект подобной системы и приведены ее технические характеристики.

Общим результатом диссертации является создание в Ереванском физическом институте ГКАЭ СССР измерительно-вычислительного центра по обработке экспериментальной научной информации, создана база для обработки научной графической информации как в ядерной физике для ЕФИ, так и для ряда местных научно-исследовательских организаций, использующих в своих исследованиях фотографические методы регистрации информации. Экономический эффект от внедрения в ЕФИ автоматизированных систем сбора и переработки экспериментальной физической информации составляет свыше 300 тысяч рублей в год.

Основные материалы, включенные в диссертацию, доложены на Всесоюзном семинаре по обработке физической информации в 1975 г., I Всесоюзном совещании по автоматизации научных исследований в ядерной физике в 1976 г., X Всесоюзной школе по автоматизации научных исследований в 1976г. и опубликованы в следующих работах:

Г.А.С.Нанасян- Измерительно-вычислительный комплекс Ереванского физического института. Сб. материалов Всесоюзного семинара по обработке физической информации, Ереван, 1976, стр.25-32.

А.С.Нанасян- Система обработки экспериментальной физической информации. Тезисы докладов I Всесоюзного совещания по автоматизации научных исследований в ядерной физике, Киев, 1976, стр.68.

2.A.Nanassian- A buffer memory tester for HPD OMEGA.  
CERN, DD/INT/OP/70/4, 1970

3. А.С. Нанасян, А.Т. Дадян - Устройство сбора и передачи данных физического эксперимента к ЭВМ. ПТЭ №3, 1974, стр. 88.
4. И.Е. Васиняк, А.Т. Дадян, А.С. Нанасян, С.А. Торосян, В.М. Туровцев - Канал буферной передачи данных в ЭВМ ЕС-1020. Тезисы докладов I Всесоюз. совещ. по автоматизации научн. исследований в ядерной физике, Киев, 1976г., стр. 69.
5. И.Е. Васиняк, Ю.П. Можаров, А.С. Нанасян - Обработка полутоновой графической информации с помощью оптико-механических сканирующих устройств. Сб. материалов X Всесоюз. школы по автоматизации научных исследований. Ленинград, 1977г., 317-321.
6. И.Е. Васиняк, А.С. Нанасян - Преобразователь форматов с контролем по четности на кольцевом сдвиг. регистре. ПТЭ №4, 1977, стр. 105.
7. А.Т. Dadian, A.S. Nanassian, A.M. Zverev - Small data acquisition and processing system. Nuclear inst. and methods, 129(1975), 193.
8. И.Е. Васиняк, А.Т. Дадян, А.М. Зверев, Г.А. Мелик-Мартirosян, А.С. Нанасян - ЭВМ РДР-9 в управлении лентопротяжным механизмом НРД и в качестве программной электроники измерительного стола для обработки снимков трековых камер. ПТЭ №4, 1974, стр. 212.
9. И.Е. Васиняк, А.М. Зверев, Г.А. Мелик-Мартirosян, А.С. Нанасян - Система обработки снимков трековых камер на базе НРД. Сб. материалов Всесоюз. семинара по обработке физ. информ. Ереван, 1976, 235-244.
10. И.Е. Васиняк, Г.А. Мелик-Мартirosян, А.С. Нанасян - Сканирующий проектор для обработки снимков трековых камер. Сб. материалов Всесоюз. семинара по обработке физической информации. Ереван, 1976, 378-381.
11. И.Е. Васиняк, Г.А. Мелик-Мартirosян, Ю.П. Можаров, А.С. Нанасян - О возможности применения НРД в обработке астрофизической информации. Сб. материалов Всесоюзного семинара по обработке физической информации. Ереван, 1976, 251-254.

*Сканы*