

Ш-559

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

10 - 11952

ШИГАЕВ
Владлен Николаевич

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ НРД ОИЯИ
ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СОБЫТИЙ НА ФОТОСНИМКАХ
С ПУЗЫРЬКОВЫХ КАМЕР**

Специальность 01.01.10 - математическое обеспечение
вычислительных машин и систем

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Дубна 1978

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
профессор
доктор физико-математических наук
старший научный сотрудник

Е.А.ГРЕБЕНИКОВ,

И.М.ГРАМЕНИЦКИЙ.

Ведущее предприятие - Институт физики высоких энергий,
г. Серпухов.

Защита диссертации состоится " " 1978 года
в часов на заседании специализированного совета Д047.01.04
Лаборатории вычислительной техники и автоматизации ОИЯИ,
г. Дубна, Московской обл.

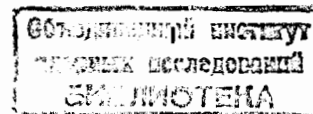
С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.
Автореферат разослан " " 1978 года.

Ученый секретарь специализированного совета
кандидат физико-математических наук

Т.П. Пузынина Т.П.ПУЗЫНИНА

Актуальность проблемы. В ведущих физических центрах значительная часть исследований на ускорителях выполняется с использованием камерной методики и, в частности, пузырьковых камер, которые прочно вошли в практику современного физического эксперимента. Количество фотографий, получаемых в течение года на пузырьковой камере, достигает величин порядка 10^6 , и их анализ немалозначим без широкого использования средств автоматизации и вычислительной техники. Автоматизированные измерительные системы становятся неотъемлемым компонентом в наборе средств, необходимых для проведения исследований с помощью пузырьковых камер, и от их характеристик зависит общая продолжительность проведения эксперимента от момента регистрации событий до получения физического результата. Характер обработки данных в подобных системах приобретает индустриальные черты.

Для автоматизации процесса измерения событий на фотоснимках с пузырьковых камер созданы различные сканирующие устройства: оптико-механический автомат типа НРД/12,13/, SMP, SWEEPNIK, спиральный измеритель, автоматы на электронно-лучевых трубках типа POLLY, PEPR, ERASME и другие. Современная измерительная система представляет собой совокупность оптико-механических устройств, электронной аппаратуры, средств вычислительной техники и специального математического обеспечения. Уровень автоматизации измерительного процесса, функциональные характеристики измерительной системы и достижимая эффективность обработки экспериментальных данных во многом определяются математическим обеспечением измерительной системы. Каждая из уже созданных систем во многом уникальна, и поэтому при создании подобных автоматизированных систем обработки filmовой информации в крупных физических центрах, располагающих собственным набором вычислительных средств, экспериментального и измерительного оборудования, возникает актуальная задача разработки математического обеспечения применительно к конкретным условиям и его реализации в сроки, определяемые программой научно-исследовательских работ.



В ОИЯИ с 1965 г. начались работы по созданию сканирующего измерительного автомата (СА) на базе оптико-механического устройства НРД, изготавливаемого фирмой Sogenique. Для управления автоматом в 1968 г. приобретается ЭВМ среднего класса СДС-1604А, разрабатывается система просмотрно-измерительных столов БПС-2 на линии с малой ЭВМ ТРА-1001. К 1970 году создается техническая основа измерительной системы НРД.

Цель работы. Основная цель состояла в разработке и создании математического обеспечения сканирующей системы для измерения событий, регистрируемых на стереофотоснимках с жидководородных пузырьковых камер. Математическое обеспечение должно удовлетворять требованиям универсальности, обеспечения высокой производительности системы, эффективности использования ресурсов ЭВМ и приборного времени, получения достоверной информации высокого качества. При достижении этой цели необходимо было решить ряд проблем, имеющих самостоятельное значение:

а) проанализировать динамику работы автомата на линии с ЭВМ и разработать эффективную схему программного управления процессами в системе при использовании средней ЭВМ класса СДС-1604А;

б) разработать алгоритмы и программы для исследования точностных характеристик автомата НРД;

в) разработать программы и методику исследований температурной неустойчивости параметров отсчетной системы сканирующего автомата;

г) реализовать режим автоматической настройки программ с учетом специфических особенностей обрабатываемого экспериментального материала и динамически меняющихся характеристик самого измерительного автомата;

д) разработать экономичные алгоритмы и программы обработки принимаемых от СА данных (декодирования данных СА, опознавания элементов изображения пузырьковой камеры и нумератора кадра, выделения трековой информации по цифровой маске событий с последующей фильтрацией);

е) обеспечить оперативный контроль качества измерений фотоснимков с пузырьковых камер с формированием статистических данных, необходимых для операторского надзора за функционированием системы;

ж) разработать программный аппарат генерирования новых версий математического обеспечения;

з) разработать программные средства для комплексной отладки математического обеспечения системы;

и) разработать программные средства для обработки исключительных ситуаций в системе, обнаружения ошибок в данных, хронометража процессов в системе, обеспечения диалогового режима и др.

Научная новизна. Создано математическое обеспечение сканирующей измерительной системы ОИЯИ для массовой обработки фотоснимков с жидководородных пузырьковых камер.

Для достижения перечисленных выше целей при создании математического обеспечения были разработаны и реализованы в его составе оригинальные алгоритмы, которые обеспечили измерительной системе ОИЯИ ряд важных преимуществ перед другими аналогичными системами. К ним относится разработанный автором алгоритм оценки точности выделения координаты середины трекового сигнала в отсчетном канале сканирующего автомата, позволяющий при сканировании стандартного калибровочного кадра контролировать работу цифровых и аналоговых цепей отсчетного канала СА и выявлять наличие систематических ошибок в отчетах координат. В программе, обслуживающей фазу измерений фотоснимков, впервые в практике применения автоматов типа НРД реализован алгоритм, позволяющий динамически уточнять параметры отсчетной системы самого измерительного автомата в процессе рабочего сеанса измерений. Этот алгоритм в математическом обеспечении НРД ОИЯИ служит также основой для оперативного контроля стабильности нуля отсчетной системы СА на протяжении сеанса рабочих измерений, что трудно обеспечить иными средствами контроля.

Предложена и реализована на ЭВМ СДС-1604А схема динамической перестройки временной диаграммы измерительного процесса, обеспечивающая при относительно скромных вычислительных ресурсах управляющей ЭВМ сохранение высокой производительности системы в широком диапазоне загрузки фотоснимков событиями.

Разработана методика, алгоритмы и программы для исследования стабильности параметров отсчетной системы (калибровочных констант) автоматов типа НРД. Впервые проведены детальные исследования температурной изменчивости калибровочных констант при включении "холодного" автомата, а также исследована возможность проведения прецизионных измерений фотоснимков до наступления установившегося режима.

Реализация. Автоматизированная система НРД ОИЯИ для измерения фотоснимков с пузырьковых камер явилась первой в СССР системой подобного рода, введенной в режим регулярной эксплуатации. Математическое обеспечение, рассматриваемое в диссертации, широко используется на протяжении последних 6 лет как составная часть системы обработки данных крупных физических экспериментов, проводимых с помощью однометровой жидководородной пузырьковой камеры ОИЯИ и двухметровой камеры "Людмила" на синхрофазотроне ОИЯИ и протонном синхротроне ИФВЭ.

Практическая ценность. Созданное математическое обеспечение системы НРД ОИЯИ может быть использовано не только для обработки фотоснимков в физических экспериментах, проводимых с помощью пузырьковых камер, но и как инструмент решения других научно-технических задач, связанных с прецизионными измерениями, при условии выполнения определенных минимальных требований к формату фотоснимков.

Для широкого круга разработчиков математического обеспечения других измерительных систем на базе сканирующих автоматов могут оказаться интересными и полезными рассмотренные в диссертации методика исследований характеристик сканирующего автомата НРД, те алгоритмы и программы, которые обеспечивают высокую производительность системы, точность измерений и эффективное использование приборного времени.

Объем работы. В диссертацию вошли основные результаты той части исследований и разработок, выполненных автором на протяжении последних 10 лет, которые составляют ядро математического обеспечения системы НРД ОИЯИ и касаются проблемы управления измерительным процессом, методики программного контроля параметров СА, обработки данных СА, методики и программных средств комплексной отладки математического обеспечения /I-II/. Развитие математического обеспечения и практическая проверка алгоритмов проводилась в течение 1972-1976 гг в ходе эксплуатации измерительной системы.

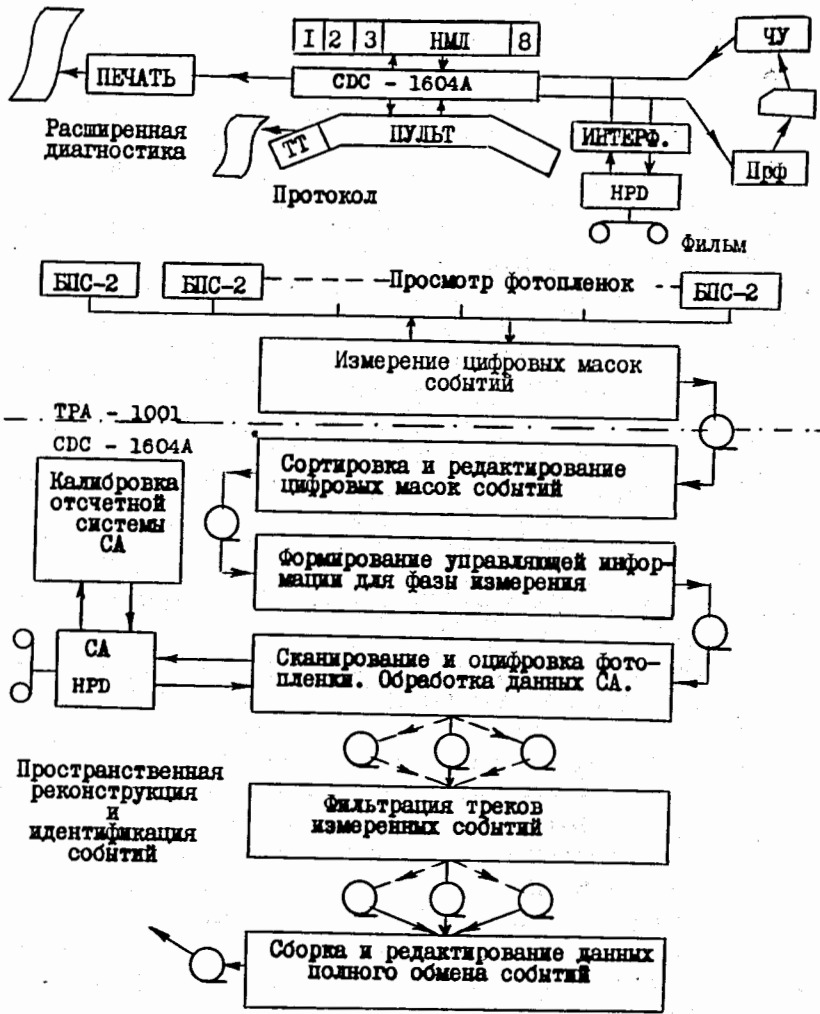
Содержание. Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения и списка литературы.

В первой главе дается краткий обзор сканирующих измерительных систем, базирующихся на использовании автоматов типа НРД, и

их классификация по трем параметрам: уровню автоматизации функций просмотра, способу первичной обработки данных сканирования и архитектуре измерительно-вычислительного комплекса. Приводится техническая конфигурация измерительной системы ОИЯИ, структура математического обеспечения, излагаются задачи, решаемые программным обеспечением отдельных логических фаз в технологической цепи обработки данных (фаза просмотра фотоснимков и подготовки цифровых масок событий, формирования магнитной ленты с управляющей информацией, калибровки СА, измерения фотоснимков на СА, фильтрации треков событий, сборки и редактирования данных полного обмера событий-см. рисунок). Из-за отсутствия каких-либо специализированных аппаратурных средств селектирования данных СА или их преобразования, а также ввиду относительно низкой мощности процессора СДС-1604А в основу алгоритма функционирования системы положен принцип полного управления (наведения по трекам), при котором автоматизированная система выполняет прецизионные измерения фотоснимков и фильтрацию получаемых данных с использованием грубых целеуказаний оператора по каждому треку событий, отобранных на стадии предварительного просмотра фотопленок. Целеуказания в форме цифровых масок вырабатываются на просмотрно-измерительных столах БПС-2 с ценой отсчета 40-60 мкм и накапливаются на магнитной ленте /14/ которая используется для формирования управляющей информации /8, 15/ после предварительной сортировки цифровых масок /16/.

Проведению рабочего сеанса измерений фотоснимков на сканирующем автомате НРД предшествует калибровка отсчетной системы автомата с помощью калибрующей программы, которая определяет текущие значения параметров (калибровочных констант), контролирует функциональные и точностные характеристики сканирующего автомата.

Программное обеспечение каждой фазы обработки фотоснимков использует полностью оперативную память ЭВМ. Вследствие отсутствия аппаратных схем защиты памяти в ЭВМ СДС-1604А и внешних устройств прямого доступа выполнение каждой фазы обработки данных на СДС-1604А было организовано в однопрограммном режиме. Для сопряжения фаз обработки используются магнитные ленты. В рамках существующей конфигурации системы повышение производительности и эффективности использования ресурсов достигалось за счет оптимизации работы системы на протяжении всей технологической цепи обработки данных.



Фазы технологической цепи обработки данных с пучковых камер и конфигурация оборудования, используемого при измерении фото-снимков на сканирующем автомате НРД ОИЯИ.

Вторая глава посвящена программному обеспечению фазы калибровки отсчетной системы автомата НРД. Задачу калибрующей программы неправомерно сводить только к формальному нахождению значений калибровочных констант, связывающих три системы координат, в которых представляются данные оцифровки фотоснимка. Важным условием достижения высокой точности результатов, получаемых при обработке фотоснимков, является: 1) непрерывный функциональный контроль работы СА при калибровке и в процессе рабочих измерений, который гарантировал бы, что реальный процесс оцифровки фотоснимка протекает в соответствии с используемой математической моделью отсчетной системы автомата, и 2) получение оценки систематической ошибки при формировании координаты середины трекового сигнала в отсчетном канале СА, малые значения которой свидетельствуют, в частности, о независимости координат от толщины сканируемых треков. Помимо традиционных формальных тестов данных СА и тестов на близость отсчетной системы СА к ее математической модели, в калибрующей программе ОИЯИ предусмотрена возможность программной коррекции самих данных СА, которая компенсирует отклонение СА от идеальной модели измерительного прибора. Для наборов данных, получаемых при разных модах сканирования в ходе выполнения калибровочного цикла (поперечном и продольном сканировании фотоснимка), введена проверка на совместность посредством анализа величин, остающихся инвариантными при точной работе СА. Тест инвариантов позволяет, в частности, обнаруживать уход нуля отсчетной системы в пассивные периоды выполнения цикла (в моменты торможений и ускорений измерительной платформы автомата НРД).

Даже небольшая относительная погрешность в работе схем выделения середины трекового сигнала может приводить к абсолютной систематической ошибке, во много раз превосходящей статистический разброс измеренных точек. В то же время точная настройка схемы только инженерными средствами является весьма деликатной операцией, точность выполнения которой количественно оценить трудно, тем более оперативно. Во второй главе рассматривается алгоритм, реализованный в составе калибрующей программы, который позволяет оперативно при сканировании стандартного калибровочного кадра с косыми крестами получать оценку точности выделения координаты середины трекового сигнала. Алгоритм основан на статистическом анализе отсчетов СА (для каждого креста) с 3 линий растра, пересекающих ядро креста (область слияния плеч). Оценивается расхождение

двух прямых линий регрессии среднего Y на X слева и справа от центра креста.

Последний раздел второй главы посвящен проблеме программно-го учета температурного дрейфа параметров отсчетной системы сканирующего автомата НРД. Заметим, что этот вопрос был слабо освещен в литературе, поскольку обычно практикуемая в зарубежных центрах организация массовых измерений предусматривает непрерывную круглосуточную работу сканирующего автомата с использованием технических мер, направленных на выдерживание постоянства условий эксплуатации СА. Детальное исследование динамики изменений калибровочных констант во времени и влияния на их величину различных внутренних и внешних факторов было проведено в ОИИИ в 1975 г. В диссертации излагается методика исследований, алгоритмы программ, приводятся результаты анализа данных, полученных в ходе этих исследований, формулируются выводы и рекомендации для разработчиков математического обеспечения и группы инженерного обслуживания автомата НРД. Показывается, что при проведении массовых измерений фотоснимков в режиме одно- и двухсменной работы автомата необходимым условием эффективного использования приборного времени и достижения высокой точности сшивания данных поперечного и продольного сканирования является динамическое уточнение параметров отсчетной системы СА в процессе рабочих измерений, поскольку градиент систематической ошибки сшивания достигает значений 15–20 мкм/час. Показано, что динамическое уточнение двух наиболее подвижных калибровочных констант (всего их 6) на порядок снижает ошибки, обусловленные температурным дрейфом отсчетной системы СА.

В третьей главе дается постановка задач, решаемых программным обеспечением фазы измерений фотоснимков на СА, анализируются источники информации, основные процессы в системе и формулируются требования к программному обеспечению. Описывается организация процессов формирования новых версий программы и ее настройки, процесса измерения фотоснимков и анализа данных СА на примере функционирования системы в резервном режиме (по схеме последовательного во времени выполнения процессов измерения и обработки данных). Описывается схема программного управления работой СА на линии с ЭВМ СДС-1604А, потоками информации в системе, приводится ряд апробированных в ходе многолетней эксплуатации алгоритмов

опознавания элементов изображения и обработки данных, применяемые критерии оценки качества измерений. Анализируется проблема обработки реальных фотоснимков, для которых, как правило, характерны отступления от стандартных спецификаций на формат фотоснимков и качество изображения. Излагается алгоритмы динамической коррекции параметров отсчетной системы СА в процессе рабочего сеанса измерений фотоснимков. Динамическая коррекция параметров реализована в математическом обеспечении ОИИИ впервые в практике применения сканирующих автоматов типа НРД.

Последний раздел третьей главы посвящен вопросам динамического планирования и оптимизации измерительного процесса. Под оптимизацией измерительного процесса подразумевается сокращение реального времени, затрачиваемого в среднем на измерение и анализ данных с одного кадра фотопленки, достигаемое за счет повышения эффективности использования приборного времени и ресурсов ЭВМ. Реальное время, затрачиваемое на цикл измерения и обработки данных с одного кадра, зависит от того, в какой мере могут быть использованы программой те несколько секунд работы процессора ЭВМ, в течение которых автомат сканирует кадр. Главными препятствиями для полной утилизации этого интервала времени являются: неравномерность поступления данных СА, высокие пиковые значения интенсивности потока данных на отдельных участках кадра, различная средняя по кадру интенсивность потока для разных кадров одного и того же рулона фотопленки, различная загрузка треками и разная сложность измеряемых событий, заметные вариации в необходимом объеме логических и арифметических операций как при анализе разных участков в границах одного кадра, так и при обработке разных кадров в пределах рулона. В нашем случае относительно низкая мощность процессора СДС-1604А не обеспечивает возможность обработки данных СА в реальное время сканирования для широкого круга задач. Особенностью математического обеспечения ОИИИ является то, что повышение скорости измерения рулона фотопленки и рост эффективности использования процессорного времени достигнуты за счет запрограммированной возможности функционирования системы в двух режимах – основном и резервном, отличающихся построением временной диаграммы процессов и требованиями к быстродействию процессора ЭВМ. В основном режиме процессы сканирования кадра и обработки данных развиваются параллельно, в резервном – последовательно с промежуточным формированием временного файла данных СА. При изме-

рени в основном режиме скорость измерения одного кадра ограничивается только быстродействием механики автомата НРД. Более длинный цикл обмера кадра, выполняемый в резервном режиме, используется для измерения сложных фотоснимков, где число измеряемых треков в одном скане может достигать 20. Динамическое переключение режима в процессе измерения рулона фото пленки осуществляется специальным блоком планирования и оптимизации цикла в программно-диспетчере. Выбор режима производится на основании априорных сведений об измеряемых событиях (цифровых масок), заключений подпрограммы, ответственной за диагностику ошибок в системе и аттестацию качества выполнения сканов, а также ограничений, накладываемых оператором ЭВМ. Заключение диагностической подпрограммы имеет наибольший вес, поскольку оно основывается на результатах выполнения предшествующей серии сканов.

Возможность функционирования системы в основном режиме была достигнута, во-первых, за счет высокой степени параллелизма процессов в системе (управление автоматом с контролем выполнения операций, управление каналом ввода данных СА и буферизация потока данных, декодирование данных СА, анализ нумератора кадра, опознавание реперных крестов, выделение информации по цифровой маске событий, накопление результатов и вывод их на магнитную ленту, выявление ошибок в данных и обработка исключительных ситуаций в работе системы, формирование статистических данных для операторского надзора за функционированием системы, считывание данных из файла управляющей информации) и, во-вторых, за счет разработки экономичных программ обработки данных СА, большой объем которых особенно остро ставит вопрос о минимизации затрат на выполнение алгоритмов. В качестве примера рассматривается организация быстрой процедуры выделения строк переменной длины из входного потока данных СА и их декодирование. В обоих режимах функционирования системы дальнейшее сокращение длительности цикла обмера кадра достигается заблаговременным выполнением подготовительных механических операций на СА, организуемых программой-диспетчером и подпрограммой ADVORDS, выполняющей функции планировщика перемещений измерительной платформы.

В конце главы приводится типичная временная диаграмма работы системы в основном и резервном режимах.

Четвертая глава посвящена математическому обеспечению фазы фильтрации данных. Кратко рассматриваются основные задачи этой фазы обработки данных, источники информации, схеме организации обработки потока входных данных и ее оптимизация. Излагается процедура коррекции координат реперных крестов, найденных в процессе измерений посредством модифицированного метода гистограммирования отсчетов СА, и процедура повышения точности преобразования цифровых масок событий в систему координат раstra СА. Описывается модификация известного алгоритма прослеживания трека¹⁷, которая обеспечила сохранение высокой эффективности фильтрации треков для многолучевых событий с малыми углами разлета частиц. В конце главы приведены основные характеристики результатов, получаемых при обработке фотоснимков с жидководородных пузырьковых камер ОИЯИ.

В пятой главе рассматриваются вопросы комплексной отладки математического обеспечения измерительной системы НРД. Приводится структура программы математического моделирования работы сканирующего автомата и перечень функциональных возможностей программы как средства комплексной отладки программ и проверки точностных характеристик используемых алгоритмов обработки данных. Программа моделирования позволяет при отладках многократно воспроизводить условия сканирования и верифицировать их согласно плану комплексной отладки, обеспечивая генерацию данных, которые строго соответствуют заданным характеристикам измеряемых объектов-моделей и самой отсчетной системы СА. Программа моделирования включается в программный комплекс фазы измерений как составная часть и позволяет в процессе комплексной отладки оперативно верифицировать параметры моделирования непосредственно с пультотелеграфа ЭВМ.

В заключении сформулированы основные результаты диссертации.

Основным результатом диссертации является разработка и создание математического обеспечения автоматизированной системы измерения событий на фотоснимках с пузырьковых камер на базе сканирующего автомата типа НРД и ЭВМ среднего класса СДС-1604А, а также ввод этой системы в производственную эксплуатацию в режиме массовых измерений фотоснимков с однометровой и двухметровой жидководородных пузырьковых камер ОИЯИ.

В процессе создания и развития математического обеспечения были выполнены следующие исследования и разработки, имеющие самостоятельную научную и практическую ценность:

1.1. Разработана методика и программы для исследования стабильности параметров (калибровочных констант) отсчетной системы сканирующих автоматов типа НРД.

1.2. Проведены экспериментальные исследования температурного дрейфа всех 6 калибровочных констант автомата. Показано, что после включения "холодного" автомата длительность переходного режима, в течение которого стабилизируются параметры отсчетной системы, составляет не менее 6 часов. Пренебрежение температурным дрейфом параметров может приводить к систематической ошибке измерений до 100 мкм в плоскости фотоснимка. Показано, что 90% величины систематической ошибки обусловлено дрейфом двух наиболее подвижных калибровочных констант.

1.3. Проведены экспериментальные исследования влияния различных внешних и внутренних факторов на изменчивость параметров отсчетной системы СА.

1.4. Разработаны рекомендации разработчикам математического обеспечения и группам обслуживания СА.

2. Разработан и реализован в составе калибрующей программы алгоритм, позволяющий в процессе стандартной процедуры калибровки СА на линии с ЭВМ получать оценку систематической ошибки выделения середины трекового сигнала в отсчетном канале автомата. По этому параметру алгоритм обеспечивает оперативную диагностику качества работы как аналоговых, так и цифровых схем СА, формирующих координаты (отсчеты) измеряемых объектов на фотоснимке.

3. Предложен алгоритм компенсации дрейфа параметров отсчетной системы, реализуемый программными средствами в процессе рабочих измерений событий на фотоснимках с пузырьковых камер. Алгоритм динамической компенсации реализован в математическом обеспечении измерительной системы ОИЯИ впервые в практике применения сканирующих автоматов типа НРД. Его реализация

а) без применения специальных технических или организационных мер, направленных на стабилизацию характеристик автомата, обеспечила высокую точность измерения событий, требующих для своей оцифровки обеих мод сканирования;

б) повысила эффективность использования приборного времени за счет возможности более раннего начала сеанса измерений фото-

снимков (1-2 часа после включения автомата вместо обычных 6-7 часов).

4. Для измерительных систем НРД, в которых управляющая ЭВМ среднего класса не обладает достаточным ресурсом для обработки фотоснимков широкого класса экспериментов в реальное время сканирования, предложены следующие решения, реализованные в математическом обеспечении ОИЯИ:

4.1. Запрограммирована возможность функционирования системы в двух режимах (основном и резервном), различающихся построением временной диаграммы процессов и требованиями к быстродействию процессора ЭВМ.

4.2. Введено динамическое управление переключением режима функционирования системы, осуществляемое в программе-диспетчере специальным блоком планирования и оптимизации цикла измерений. Блок планирования и оптимизации принимает решения на основании данных просмотра (цифровых масок событий), заключений подпрограммы диагностики ошибок в системе, а также ограничений, накладываемых оператором ЭВМ.

4.3. Разработаны экономичные алгоритмы для декодирования данных СА, выделения трековой информации по математической маске событий, опознавания элементов изображения пузырьковых камер и нумератора. Их использование в математическом обеспечении ОИЯИ позволило реализовать на ЭВМ СДС-1604А режим обработки данных в реальное время сканирования в условиях приема данных от СА без селектирования аппаратурными средствами.

Выполнение работ, отмеченных в пп. 4.1-4.3, позволило, несмотря на низкую мощность процессора СДС-1604А, довести до уровня мировых показателей скорость измерения событий, которая устойчиво держится в диапазоне 80-150 событий/час (240-450 стереопроекции/час).

5. Модифицирован известный алгоритм прослеживания трека^{17/}, применяемый для фильтрации трековой информации. Введена коррекция параметров прослеживания по МНК при возникновении больших ошибок прогноза. Модификация алгоритма позволила сохранить высокую эффективность программы фильтрации треков (98-99% успеха) для событий с малыми углами разлета вторичных частиц.

6. Создана программа математического моделирования работы сканирующего автомата типа НРД. Программа предназначена для комплексной отладки математического обеспечения измерительной системы

и проверки точностных характеристик алгоритмов обработки данных. В функциональном отношении программа эквивалентна подсистеме "автомат НРД + программа управления" и обеспечивает генерацию данных методом псевдосканирования (растрового разложения изображения) математических моделей фотоснимка пузырьковой камеры или калибровочного кадра с заданными характеристиками треков и самого автомата НРД.

Апробация. Результаты работ, положенных в основу диссертации, докладывались на международных совещаниях и семинарах в Дубне, Амстердаме, Ереване /I,2,II/, на семинарах ЛВТА ОИЯИ и ИТЭФ /3-10/, опубликованы в виде статей и сообщений. Основные результаты диссертации содержатся в работах /I-II/.

Математическое обеспечение измерительной системы НРД ОИЯИ введено в режим регулярной эксплуатации в 1973 г. и по настоящее время успешно используется для массовых измерений фотоснимков с жидководородных пузырьковых камер. Общее число измеренных на НРД событий с пузырьковых камер по состоянию на конец 1976 г. превысило 250 тысяч.

Литература

1. В.Н.Шигеев. Структура математического обеспечения измерительной системы типа ХЕЙЗ (HAZE). Материалы Совещания по программированию и вычислительным методам решения физических задач. ОИЯИ, II-4655, Дубна, 1969.
2. V.Shigaev. Dubna status report. Proceedings of the NPD collaboration meeting. Zeeman Laboratory, Amsterdam, 1969.
3. В.П.Мидюткин, В.Н.Шигеев. Калибровка отсчетной системы сканирующего автомата типа НРД. ОИЯИ, IO-5972, Дубна, 1971.
4. В.Н.Шигеев. Организация процесса измерений и обработки filmовой информации в программном комплексе HAZE1 . ОИЯИ, IO-5968, Дубна, 1971.
5. И.И.Шелонцев, В.Н.Шигеев. Программа управления сканирующим автоматом (НРД) и возможные пути оптимизации режима измерения фотоснимков с пузырьковых камер. ОИЯИ, IO-5728, Дубна, 1971.
6. В.Н.Шигеев. Быстрая программа измерения фотоснимков на сканирующем автомате НРД с анализом информации в реальное время сканирования. ОИЯИ, IO-6799, Дубна, 1972.

7. В.Н.Шигеев. Пакет подпрограмм для оценки точности выделения середины трекового сигнала в отсчетном канале сканирующего автомата. ОИЯИ, IO-IO087, Дубна, 1976.
8. В.Н.Шигеев. О развитии программного обеспечения измерительной системы НРД в 1972-1976 г.г. ОИЯИ, IO-IO086, Дубна, 1976.
9. Ю.Г.Войтенко, Т.М.Голоскокова, В.Н.Шигеев. Исследование стабильности параметров отсчетной системы сканирующего автомата НРД Марк 2А. ОИЯИ, P10-IO6IO, Дубна, 1977.
- IO. М.Н.Киоса, К.К.Кобзарев, Н.А.Кузнецова, Л.П.Насонова, В.Н.Шигеев. Программа математического моделирования работы сканирующего автомата при обработке filmовой информации с пузырьковых камер. Препринт ИТЭФ-62, Москва, 1977.
- II. В.Н.Шигеев. Особенности математического обеспечения автоматизированной системы НРД ОИЯИ для измерения событий на снимках с пузырьковых камер. Материалы Второго всесоюзного семинара по обработке физической информации, Ереван, ЕРФИ, 1977.

Цитированная литература

12. P.V.C.Hough and B.W.Powell. Nuovo Cimento, 18, 1184 (1960).
13. В.Я.Алмазов и др. ОИЯИ, IO-4513, Дубна, 1969.
14. В.В.Ермолаев и др. ОИЯИ, IO-6517, Дубна, 1972.
15. Э.М.Иванченко. ОИЯИ, IO-7190, Дубна, 1973.
16. С.К.Слепнев. ОИЯИ, IO-7343, Дубна, 1973.
17. W.Krisher, W.G.Moorhead, P.Seyboth. CERN 64-11.

Рукопись поступила в издательский отдел
12 октября 1978 года