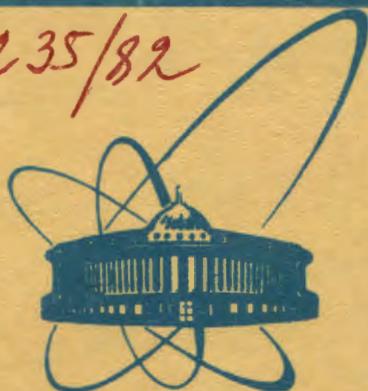


82-232

3235/82



сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
Дубна

12/2-82
10-82-232

М.А.Ананьева, П.Бачильери¹, А.Г.Гальперин,
Н.Н.Говорун, В.С.Дацко, М.Дикорато², Н.Д.Дикусар,
О.А.Займидорога, Ю.И.Иваньшин, Э.Кюттала³,
П.Лаурикайнен³, М.Лувизетто¹, Л.К.Лыткин,
М.Маэетти¹, В.И.Мороз, Ф.Паломбо², М.Пимиа³,
А.Рапортиренко, Я.Ружичка⁴, А.Сала², С.Сала²,
Л.Н.Сомов, Тхай Ле Тханг,
М.Р.Харьюзов, Л.П.Черненко

СИСТЕМА ОБРАБОТКИ ДАННЫХ МАГНИТНОГО
ИСКРОВОГО СПЕКТРОМЕТРА (МИС) ОИЯИ
СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЙ НА АВТОМАТАХ
РАСПОЗНАВАНИЕ ОБРАЗОВ СОБЫТИЙ

¹Национальный измерительный центр, Болонья.

²Институт физики, Милан.

³Департамент физики высоких энергий, Хельсинки.

⁴Университет им. Я.Каменского, Братислава.

1982

Созданный в ОИЯИ магнитный искровой спектрометр /МИС/ ^{1/1/} в соответствии с научной программой в области физики высоких энергий явился многоцелевой установкой для исследования широкого класса неупругих процессов при высоких энергиях. Он послужил основой для проведения пятого совместного эксперимента ОИЯИ-ИФВЭ-ЦЕРН ^{1/2/} на ускорителе ИФВЭ в Серпухове для исследования процессов дифракционной диссоциации мезонов на ядрах.

МИС ОИЯИ представляет возможность изучения неупругих процессов благодаря:

а/ триггерной системе, способной выделять процессы определенного типа;

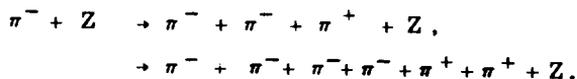
б/ широкому выбору типа мишеней;

в/ хорошему разрешению по эффективной массе и 4-мерному передаваемому импульсу ^{1/3/};

г/ полной автоматизации измерений стереоснимков.

На установке МИС ОИЯИ выполнено исследование:

а/ процессов когерентного образования мезонных систем π^- - и K^- -мезонами на ядрах Be, C, Al, Si, Ti, Cu, Ag, Ta, Pb при энергиях 25 и 40 ГэВ ^{1/4/};



б/ процессов множественного образования частиц ^{1/5/};

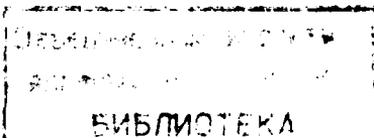
в/ полукогерентных процессов с возбуждением ядра углерода на уровень 4,4 МэВ ^{1/6/}, а также

г/ процессов с вылетом частиц назад и инклюзивных процессов с лидирующим мезоном.

В октябре 1977 г. была завершена программа набора экспериментального материала, и полное число событий составило 1,2 миллиона стереоснимков.

При разработке и создании системы обработки стереоснимков спектрометра МИС ОИЯИ мы исходили из того, что эта система должна удовлетворять следующим требованиям:

1/ автоматическому измерению снимков с помощью сканирующего автомата HPD без предварительного снятия маски события;



2/ сплошному сканированию пленки без предварительного просмотра, так как более 80% снимков содержат полезную информацию;

3/ возможности графического контроля каждого этапа обработки;

4/ контролю в режиме он-лайн точности измерений, определению и учету дисторсий пленки и системы измерений и контролю эффективности фильтрации данных;

5/ автоматическому распознаванию треков на стереопроекциях события;

6/ прецизионной обработке данных о магнитном поле установки и оптической системе.

СПЕКТРОМЕТР МИС

Спектрометр содержит 50 оптических камер размером $1,3 \times 1,1 \text{ м}^2$ с зазором 2 см. Радиационная длина спектрометра - 108 м. Перед каждой парой камер установлен медный конвертор толщиной 8 мм для материализации γ -квантов с отверстием диаметром 60 см для заряженных частиц. Общий вид спектрометра на канале 4Э в Серпухове показан на рис.1.

Свет от искр с помощью системы зеркал собирается пятью парами объективов. База фотографирования составляет 280 см, а расстояние съемки - 920 см. Масштаб фотографирования для средней плоскости - 1:50. Мишень помещается на расстоянии 70 см от первой камеры МИС. Раствор телесного угла, определяемый системой ветосчетчиков, составляет 28° , и минимально измеряемая длина трека - 60 см или три двойные искры. Толщина мишени при регистрации многопюнных систем, вылетающих вперед, выбиралась из условия, чтобы погрешность в импульсе частицы за счет многократного рассеяния в мишени не превышала измерительной ошибки в спектрометре. В пространстве спектрометра имеется реперная система из 32 крестов, расположенных в двух плоскостях ^{7/7}. Взаимные расстояния между пространственными реперами были измерены с точностью ~20 мкм. Изображения реперных крестов и треков с помощью системы зеркал проектируются на две фотопленки шириной 35 мм, образуя два стереоизображения рабочего объема установки. Каждая стереопроекция состоит из пяти отдельных снимков с изображением соответствующих метровых блоков объема установки. Стереопроекция содержит 52 реперные метки, при этом 40 меньших по размерам реперных меток являются изображениями пространственных реперов.

Информация с детекторов, выделяющих пучок, поступала на ЭВМ НР-2100А. Исходной информацией для системы обработки служили две пленки и магнитная лента с данными о пучке. Перед сканированием пленки осуществлялся просмотр с целью обнаружения

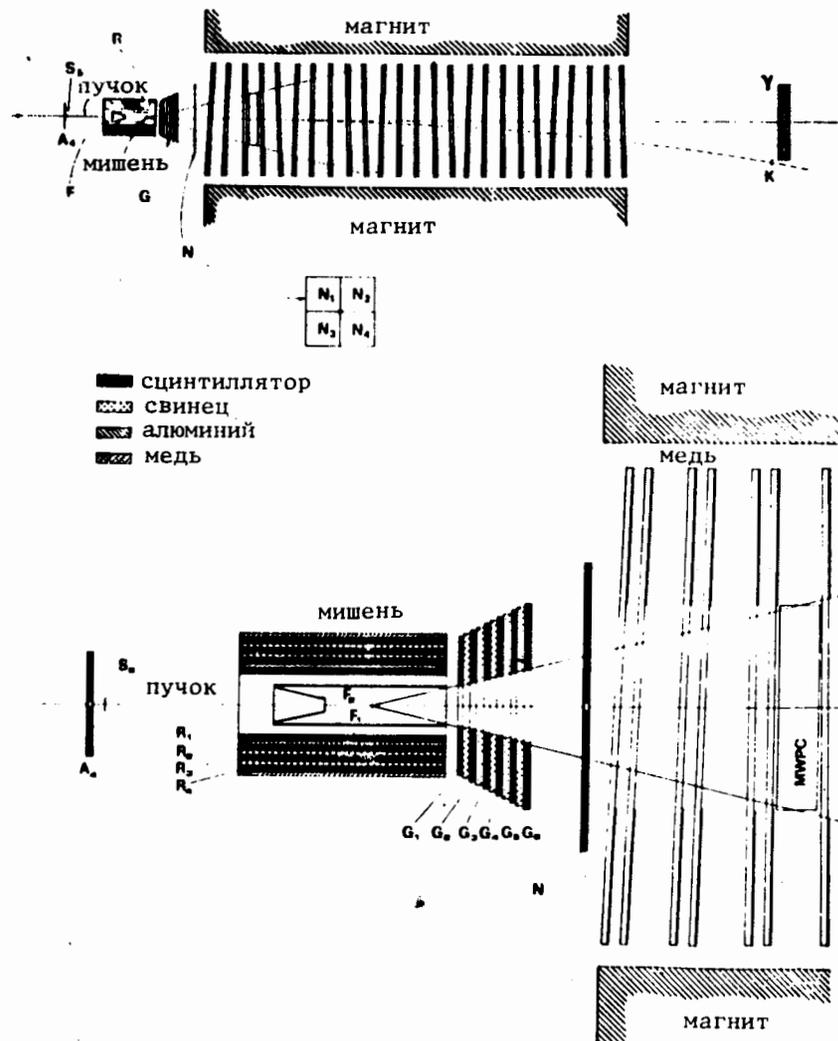


Рис.1. Схема спектрометра МИС в канале 4Э ускорителя на энергию 70 ГэВ ИФВЭ.

грубых дефектов на пленке, препятствующих автоматическому измерению. Часть пленки просматривалась для определения эффективности регистрации, при этом оператором регистрировалось число лучей, их общий заряд, длина, вершина вторичного взаимодействия, место конверсии γ -квантов. Просмотр осуществлялся

на столах УПС-50. Результат просмотра представлен в следующей таблице:

Мишень	% событий с данным числом треков			% взаимод.
	3 трека	5 треков	7 треков	
Be	65	15	3	97
Si	53	9	3	90
Cu	51	10,5	3,5	84
Pb	37	10,8	3,4	84

Данные просмотра были использованы для определения неэффективности системы обработки и выработки критериев отбора событий, рассмотренных ниже.

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ИЗМЕРЕНИЯ НА АВТОМАТАХ НРД

Фильмовая информация эксперимента измерялась на двух сканирующих автоматах Национального измерительного центра в Болонье КНАФ /8/, работающих в режиме "пуш-пул", совместно со специализированным процессором и на сканирующем автомате в ОИЯИ.

Специализированный процессор, разработанный в КНАФ, по существу выполнял работу по распознаванию элементов изображения и в соответствии с алгоритмом соединял отсчеты в сегменты трека, что приводило к большей информативности данных и уменьшению потока информации.

Главные трудности, связанные с обработкой пленки, были следующие:

1. Из-за малой толщины пленки /65 мкм/ и большой длины кадра /17 см/ требовалась прецизионная установка кадра в рамке НРД.

2. Прижим пленки в фильмовом канале НРД при большой длине кадра привел к возникновению дисторсий. Как следствие этого, для получения надежных оптических констант были использованы снимки реперов на оптическом стекле.

3. Из-за скоростной перетяжки пленки в фотоаппарате на ней возникали статические разряды, что приводило к увеличению фоновой загрузки. К увеличению фона также приводила динамическая запыленность оптических элементов НРД. Яркость искр на пленке зависела от множественности события. Вследствие

этого форма изображения искры и их контраст также зависят от множественности события.

Для решения этих задач необходимо было осуществить настройку автоматов как в Дубне, так и в Болонье, принимая во внимание огромное количество снимков и возможность использования вычислительных мощностей разных научных центров. Качество настройки автоматов, выбор параметров сканирования, оптимальное количество информации существенно влияют на работу программ распознавания образов и геометрической реконструкции.

Основными характеристиками настройки служили эффективность регистрации искр, реперов, величина остаточной дисторсии фильма, точность определения центра репера и ее дисперсия. Специализированный процессор (SHP), использовавшийся в КНАФ, совместно с НРД представляет собой электронный прибор, позволяющий определить линейные сегменты треков. Параметрами настройки процессора являются: величина раствора угла ассоциации отсчетов, минимальное число точек в сегменте и тип сегмента. Оптимальные значения этих параметров искались в зависимости от уровня дискриминации, диаметра пятна сканирования и шага развертки. Начальное значение уровня дискриминации было выбрано равным 65% от сигнала фона на длине пленки после того, как результат фильтрации был приемлем. Шаг развертки был выбран равным 60 мкм, что позволило регистрировать до 8 отсчетов на образе искры.

Для выбора наиболее подходящих параметров процессора на линии с НРД были исследованы свойства системы при сканировании многолучевых событий. Для этих целей был сделан просмотр пленок, отобранных из разных этапов эксперимента. Целью просмотра было распознавание события и установление принадлежности искр трекам с пометкой искр слабой яркости и с регистрацией плотности фона. Затем эти события были измерены системой НРД-SHP при различных параметрах системы. Результат сканирования выводился на экран дисплея, при этом изменялись диаметр пятна сканирования, уровень дискриминации, толеранс для ассоциации отсчетов в сегмент трека и количество отсчетов на сегмент. Результаты этой калибровки показаны на рис.2. При увеличении уровня дискриминации наблюдается потеря искр, так же, как и при увеличении диаметра пятна сканирования /кривые 1 и 3/.

Для кривых 1, 2, 3 длина сегмента была равна трем сканирующим линиям. Этот выбор был обусловлен требованием поиска реперов для увеличения точек на полуплечах, минимальных по размеру реперов. Но для искр длина сегмента оказалась неудовлетворительной. Так как угол, образованный плечами реперов с направлением линии развертки, составлял $\approx +45^\circ$, то для эффективной регистрации искр была выбрана длина сегмента, завися-

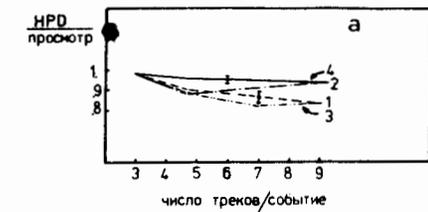
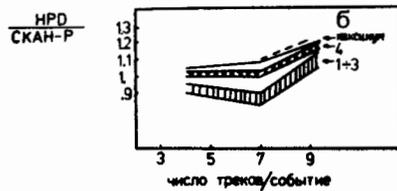


Рис.2. Эффективность автомата НРД в зависимости от множественности события: а - кривая 1 - диаметр пятна 12 мкм, 2 - уровень дискриминации меньше, чем на кривой 1, диаметр пятна 12 мкм, 3 - уровень такой же, как у 1, но диаметр пятна 20 мкм 4 - то же, что и 1, но длина сегмента равна трем сканирующим линиям для реперов и 8 - для искр; эффективность автомата НРД при регистрации слабых искр для событий разной множественности б/.



заванного 8 сканирующими линиями. Таким образом, сигнал при сканировании реперов соответствовал длине сегмента в 3 сканирующие линии, а для искр - до 8 сканирующих линий. Такая настройка НРД-SHP имеет эффективность сканирования 95-97% для многолучевых событий.

С ростом множественности события увеличивается число слабых искр на треке. В результате просмотра было найдено, что для многолучевых событий около 17% искр обладают малой яркостью. Повышение уровня дискриминации сигналов НРД, то есть огрубление чувствительности автомата, может приводить к полной потере слабых искр и к снижению эффективности НРД к многолучевым событиям. При уменьшении уровня дискриминации возрастает вероятность образования ложных искр из шумовых отсчетов. Поэтому для данного многолучевого события существует оптимальный выбор параметров сканирования. На рис.2б показана эффективность регистрации слабых искр в зависимости от множественности события для разных условий сканирования, Р означает число слабых искр на треке. Если параметр НРД/СКАН-Р/ меньше или равен единице, то слабые искры теряются. Пунктирная кривая показывает максимальную эффективность регистрации слабых искр. Из рис.2б видно, что условия, соответствующие настройке 4, обладают высокой эффективностью регистрации слабых искр. Подъем кривой для многолучевых событий обусловлен общим снижением яркости искр многолучевого события.

Проверка точности измерения реперов системой НРД-SHP была сделана путем сравнения центров реперов, рассчитанных на основании отсчетов НРД, и трековых сегментов процессора. Сов-

падающая от наклона. Этот результат демонстрирует кривая 4 на рис.2 для сегмента, обра-

падение центров реперов было проверено на большой статистике, при этом точность по X-координате составила 0,9 мкм, а по Y-координате - 0,3 мкм.

В результате настройки системы НРД-SHP среднее число сегментов на репер составило 6, при этом из 40 реперов 38-39 полностью распознавались. Подобная процедура настройки НРД и системы НРД-SHP была осуществлена и в Лаборатории вычислительной техники и автоматизации ОИЯИ. В обоих центрах было разработано математическое обеспечение управления измерительным процессом, программы фильтрации данных с подготовкой входа в систему ROMEO⁹, осуществляющую геометрическую и кинематическую реконструкцию события в пространстве спектрометра.

Математическое обеспечение измерительного процесса на сканирующем автомате ОИЯИ построено по принципу программированного управления непрерывным процессом измерения и обработки стереоизображения¹⁰. Управление измерением осуществляется основным управляющим блоком, позволяющим установить функциональные связи в системе и задавать режим измерений с помощью системы экстракодов /макрокоманд/.

В алгоритм основной программы распознавания элементов изображения заложен принцип последовательного формирования абстрактного образа из элементов его структуры¹¹.

Рабочий цикл измерений состоит из двух основных этапов: организации измерений и обработки изображения /фильтрация информации и распознавание образов/.

При этом система обеспечивает вызов и выполнение широкого класса конкретных функций: управление процессом сканирования, "ввод" изображения в память ЭВМ, контроль и накопление данных, самонастройку на заданную партию стереоизображений, контроль точности измерений реперных меток в процессе сканирования, определение и учет динамических коррекций, обмен с внешними устройствами, а также распознавание и фильтрацию информации.

В процессе измерений система управления вырабатывает все необходимые константы в плоскости снимка.

Обработка результатов обмера стереоснимков событий производится в следующей последовательности:

- перевод координат изображений искр и реперов из координатной системы измерительного прибора в систему координат снимка, а также учет деформации пленки и дисторсий пленки в процессе измерений;
- определение качества измерений и контроль точности измерений реперов на снимке и вычисление сагитты по реперам;
- выработка эталонной системы реперов по усреднению координат измерений реперов на пленке.

Контроль точности измерений осуществлялся периодически или для каждого кадра.

Распределения по сагитте реперов и среднеквадратичное отклонение по обеим координатам от эталонной системы составляет 2-3 мкм^{12/}. Независимые проверки качества и точности измерений были проведены при использовании измерений одной и той же пленки как на НРД, так и на ПУОСе. В работе^{12/} также приведено сравнение данных для двух приборов по остаточной величине сагитты. Мягкая пленка на лавсановой основе, которая была использована в эксперименте, претерпевает растяжение на всех этапах обработки пленки. Из этого следует, что при прочих равных условиях необходима коррекция дисторсий пленки, возникающих в процессе измерений на НРД.

После этапа измерений осуществляется фильтрация информации с целью выделения информации об искрах на каждой проекции.

При этом в процессе фильтрации для определения зон поиска полезной информации может быть использован либо отдельный кадр, так называемый "стоп-кадр", содержащий изображения множества событий на одном кадре /система в КНАФе в Болонье/, либо метод самонастройки после обработки группы кадров /система в Дубне/. На заключительном этапе осуществляется "сборка" события и представление информации в формате, пригодном для последующей обработки. На этапе сборки события также осуществляется включение электронных данных и информации о пучке.

В результате сканирования информация о каждом событии представляется в специальном формате блочной структуры^{10/}.

Для визуального наблюдения за результатами измерения на НРД и контроля данных в процессе фильтрации информации и подготовки событий был разработан комплекс программ^{13/}, обеспечивающий вывод информации с промежуточных этапов обработки на экран дисплея. Этот комплекс использовался при настройке системы программ для измерения снимков на автомате НРД, контроле его работы в процессе сканирования снимков, поиске систематических ошибок /например, при постоянном отсутствии или плохом качестве отдельных реперов, постоянном отсутствии искр в некоторых камерах и т.п./, при контроле результатов работы программ фильтрации и проверке входной информации для системы дальнейшей обработки.

Следует отметить и возможность использования комплекса дисплейных программ для просмотра и отбора событий по заданным признакам. Это было полезно в том случае, когда измерения велись без предварительной селекции событий. В Дубне для автоматического измерения и обработки снимков с МИС используются два основных варианта математического обеспечения. Первый вариант /А/ обеспечивает обработку данных, поступающих

от сканирующего автомата НРД, а второй вариант /Б/ используется для обработки данных, получаемых на выходе спецпроцессора SHP.

В свою очередь, вариант А состоит из двух подсистем, используемых последовательно на различных ЭВМ. Измерение снимков и предварительная обработка выполняются на CDC-1604А, а фильтрация и сборка данных происходят на ЭВМ CDC-6500. Такое разделение позволило получить достаточно высокие эксплуатационные характеристики системы - 120-150 соб./час на этапе измерений и около 600 соб./час на этапе фильтрации.

В случае использования НРД-SHP появилась возможность совместить этапы измерения и фильтрации на малой ЭВМ CDC-1604А, а на CDC-6500 делать только сборку событий. Скорость измерений осталась такой, как и в случае использования варианта А. При этом точностные характеристики обоих вариантов систем близки.

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ СПЕКТРОМЕТРА

Магнитное поле спектрометра было измерено в объеме магнита 500x130x150 см³ с шагом 5 см, а также в области спадающего поля с помощью датчиков Холла. Измерения были сделаны в семи горизонтальных и трех вертикальных плоскостях, содержащих 45000 значений компонент поля. Перед анализом в исходных данных был удален "планарный" эффект.

Для нахождения непрерывной карты магнитного поля из дискретного набора исходных данных необходимо было найти достаточно эффективный алгоритм обработки поля, адекватный процедуре измерений, обеспечивающий малость отклонения рассчитанного значения поля от измеренного по сравнению с измерительной ошибкой и требующий малой машинной памяти.

Для этих целей подходящим алгоритмом оказалось представление поля в форме квадратичного полинома в вертикальной плоскости по координатам Y и Z и линейная интерполяция в горизонтальном направлении /X-координата/. Определение трех компонент поля в данной точке (X, Y, Z) внутри области задания карты поля осуществляется следующим образом. На первом этапе линейной интерполяцией находят значения коэффициентов полинома для данного значения X-координаты. На втором - коэффициенты полиномов, описывающих поле, для данных X- и Z-координат. И на последнем этапе находится поле для данной Y-координаты.

Алгоритм требует 50 умножений и 3000 слов памяти. В центральной области магнита остаточный член составляет величину $\delta B_z = 8,5$ Гс, $\delta B_y \leq 20$ Гс, а при экстраполивании поля $\delta B_z = 30$ Гс. Погрешность в азимутальном угле для частицы с импуль-

сом 10 ГэВ/с составляет $\leq 0,1$ мрад, а в импульсе - 0,05%, что существенно меньше измерительных ошибок.

Проверка найденной карты поля сделана путем решения уравнений Максвелла с начальными условиями, взятыми из измерений поля, на границе объема и сравнения решения внутри объема со значением поля. Для этого был выделен объем $500 \times 60 \times 45 \text{ см}^3$ с ячейкой $5 \times 15 \times 15 \text{ см}^3$, на границах которого были приняты измеренные значения поля. В тех случаях, когда отсутствовали измерения, подставлялось значение из карты поля. Число таких точек составляло около 10% от общего числа. На основании решения уравнения Максвелла с заданными граничными условиями было найдено поле во всем объеме. При этом согласие с картой поля внутри объема составляло $\sim 5 \text{ Гс}$ и у границ - 15 Гс . Этот метод нельзя использовать для экстраполяции. Аналогичная проверка была создана также для области спадающего поля.

Оптимальность найденной аппроксимации карты поля была проверена при представлении поля в виде 3-мерных полиномов Чебышева и более высокой степени. Расчет показал, что только полином 10-й степени давал отклонение от значений карты поля /менее 5 Гс/.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ СКАНИРОВАНИЯ

За основу системы программ обработки результатов сканирования вплоть до кинематической реконструкции события и получения ленты конечных результатов была принята программа ROMEO⁹, использовавшаяся для анализа событий в спектрометре ОМЕГА ЦЕРНа. Эта система была адаптирована для спектрометра МИС ОИЯИ и претерпела большие изменения по существу работы многих алгоритмов. Изменения касались как организации программы, ее рациональной сегментации при загрузке в ЭВМ, так и оптической части спектрометра, метода перехода в пространство, коррекций оптических дисторсий, контроля, браковки измерений реперов и искр треков каждого события.

Большие изменения были сделаны также в программах распознавания событий, методе поиска вершины события и кинематическом анализе.

Программа имеет модульную структуру, и каждый модуль несет свое функциональное назначение. Полный объем памяти ЭВМ составляет 231000₈ слов CDC-6500, а в сегментированном варианте длина наибольшего сегмента составляет 122000₈ слов. Входными данными в программу является результат сканирования на автоматах НРД, содержащий адреса и координаты реперных меток и искр, а также электронную информацию и сведения о пучке. Оптические константы, необходимые для работы программы, были записаны на отдельном файле.

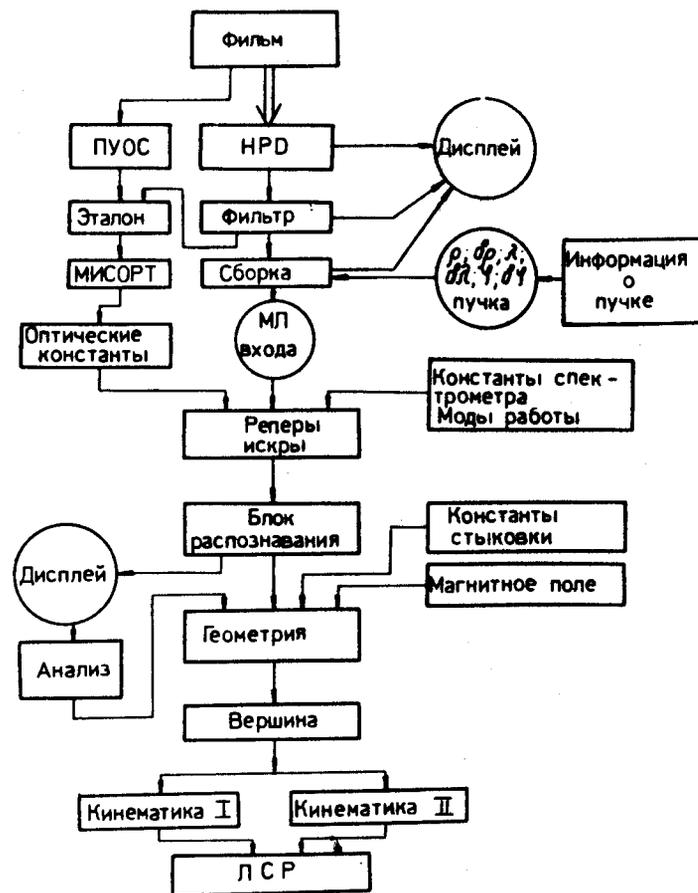


Рис.3. Структура системы обработки снимков спектрометра МИС.

Общая структура программы представлена на рис.3. Она содержит блоки обработки реперных меток и контроля их качества, системы распознавания образов событий, поиска вершины взаимодействия и осуществления геометрической реконструкции события и его кинематического анализа. Блок обработки реперов осуществлял перевод результатов измерений в пространство для каждого метрового блока спектрометра, просматриваемого своей стереосистемой.

Для обеспечения высокой точности восстановления треков на пленке в пространстве спектрометра необходимо достичь погреш-

ности в восстановлении центра репера, меньшей ошибки положения искры относительно траектории частицы. Это условие было достигнуто после устранения искажений пленки и получения надежных оптических констант. Выработанный алгоритм восстановления реперов позволил осуществить высокоточную реконструкцию реперов в пространстве. Средняя точность реперов составляла 65 мкм в пространстве. Доля забракованных кадров по результатам восстановления реперов составляла 2%. После обработки реперов осуществлялось восстановление искр в пространстве в плоскости $Z=0$, расположенной вблизи верхней границы искровых камер.

Система ROMEO имеет развитую программу распознавания образов событий вплоть до десяти треков, ограниченную только памятью ЭВМ. Отсутствие посторонней информации на снимках спектрометра МИС, высокое качество пленки позволило выбрать автоматический способ распознавания событий.

Распознавание треков ведется одновременно на двух проекциях в плоскости $Z=0$ и начинается с последнего нечетного искрового зазора и идет по нечетным зазорам, чтобы на первом этапе избежать влияния смещения искр в скрещенных магнитных и электрических полях. После нахождения двух искр в нечетных последовательных зазорах осуществляется предсказание для следующего. В случае отсутствия искр в более чем двух нечетных зазорах процесс поиска трека начинается сначала. После нахождения трех искр дальнейшее распознавание идет на основе предсказания по окружности или параболы и ассоциация искр осуществляется в соответствии с допусками. Пропуск искр в зазорах следует по определенному алгоритму. Качество присоединения искр к треку контролируется путем интерполяции для каждой искры и экстраполяции на основе данных, уже присоединенных искр к треку.

В этой процедуре для каждой искры рассчитывается вес как при интерполяции, так и при экстраполяции и при сбалансированных весах искра-кандидат может быть "заморожена" и тем самым не присоединена к треку.

Дополнение треков искрами в четных зазорах ведется при обратном движении по треку. В алгоритме ассоциации искр к треку предусматривается сужение допусков при прослеживании трека, зависящее от числа точек и их разброса.

Практический анализ результатов обработки по стандартной версии программы распознавания образов событий позволил установить неэффективность системы в зависимости от множественности событий и ее влияние на геометрическую реконструкцию события.

Основными причинами неэффективности процесса распознавания 3-лучевых событий являлись: потеря коротких треков, имеющих

меньше трех искр в нечетных зазорах /~ 6%/, потери треков из-за фоновых помех, приводящих к неправильной процедуре прослеживания /~ 6%/, потери треков из-за неправильного присоединения искр к трекам /~ 3%/. Кроме того, программа поиска соответствия треков на разных проекциях имела неэффективность ~ 5%. Полная неэффективность распознавания событий составляла 20-22% и сильно зависела от фоновой загрузки кадра.

Что касается недостатков алгоритма, то выяснилось, что неправильное начало прослеживания трека ведет к переполнению трека банка /и далее к потере треков/, а также к укорочению треков из-за неприсоединения искр в первом блоке и перекрытию треков.

В алгоритме ассоциации искр предусматривается сужение допусков при прослеживании трека, зависящее от числа точек и их разброса. Однако анализ показал, что существенного уменьшения допусков не происходит, что является причиной ассоциации фоновых отсчетов. Присоединение к треку фоновых искр ведет к неправильному распознаванию события и к ошибкам при геометрической реконструкции трека.

Поэтому модернизация программ была направлена как на достижение высокоэффективного распознавания события, так и на качество присоединенных точек к треку.

Для программы слежения по треку были найдены смещения положения искр в зазорах в зависимости от угла трека для обеих проекций. Природа этих сдвигов состоит в неполной компенсации клиновидности стекол искровых камер, неточности нахождения центра зазора по отсчетам HPD, а также в разной фоновой загрузке двух проекций стереоизображения. При поиске этих смещений было выдвинуто одно условие: гладкость трека на проекции. Средние значения этих смещений для каждого зазора двух проекций были найдены на большом статистическом материале. Включение средних значений этих смещений привело к некоторому уменьшению неэффективности программ слежения по треку. Эти коррекции положения искры использовались в дальнейшем при геометрической реконструкции треков. Особое внимание было уделено процессу ассоциации искр к треку, так как присоединение фоновых отсчетов к треку ведет как к ошибкам прослеживания, так и к плохой геометрии трека.

Прецизионная коррекция положения искры на треке позволила применить новый алгоритм сужения допусков для присоединения точек, принимающий во внимание количество уже имеющихся точек, их расположение и число пропусков. При этом величина допусков высчитывается точно и сопоставима по величине с пространственной разрешающей способностью установки. Для треков большой длины достаточно быстрое сужение допусков приводило к образованию нескольких треков из одного истинного, что потребовало

усовершенствования процедуры нахождения сегментов одного трека. Большое внимание было уделено качеству процесса распознавания в области входа треков в спектрометр. В этой области треки располагаются в узком конусе, наблюдается пересечение треков, к тому же из-за конечного разрешения двух искр камерами и автоматом HPD возрастает вероятность иметь отсчет координаты, не соответствующий ни одному из треков. Поэтому был разработан алгоритм программы, позволяющий присоединять потерянные искры вдоль трека и удалять искру, если она внутри допуска является кандидатом для двух треков. Величины допусков были определены по результатам измерений одних и тех же событий на HPD и ПУОСах. Эти изменения позволили улучшить также качество нахождения вершины взаимодействия. Другая модификация системы распознавания событий была направлена на достижение независимости эффективности распознавания событий от интенсивности случайного фона на снимке. Возникновение случайного некоррелированного фона при сканировании пленки обусловлено повышенной контрастностью снимка по сравнению с оптимальной при фиксированных параметрах сканирования. В условиях интенсивного фона затруднена работа программ слежения по треку из-за ошибок при ассоциации искр и распознавание событий из-за переполнения памяти, отведенной для треков. Весьма эффективной оказалась такая мера, как задание направления прослеживания траекторий на мишень, где произошло взаимодействие, в угловом акцептансе установки. После нахождения первых трех искр и проверки положения траектории в угловом акцептансе установки прослеживание треков продолжается обычным образом.

Анализ результатов распознавания образов событий без изменений и с ними показал, что новые модификации привели к увеличению эффективности распознавания событий и повышению надежности точек для геометрического анализа. После завершения работы программ распознавания образов событий на двух проекциях в плоскости $Z=0$ начинает работать блок программ, устанавливающий соответствие треков на двух проекциях. Поиск соответствующих треков осуществляется по ряду критериев, которые сопоставляются с определенными весами. Основными критериями были: знак кривизны трека, величина самой кривизны, длина трека, Y -координата положения треков и Z -координата треков. Кроме знака кривизны треков, остальные критерии входили в формулу веса, определяющую вклад критерия в процедуру соответствия, каждый член которой был найден по конкретному результату обработки группы событий. Из формулы весов были исключены члены, зависящие как от эффективности искровых камер, так и от некоррелированного фона. Такая процедура нахождения соответствия треков значительно уменьшает число ошибок. Браковка треков на уровне 2% в этой программе,

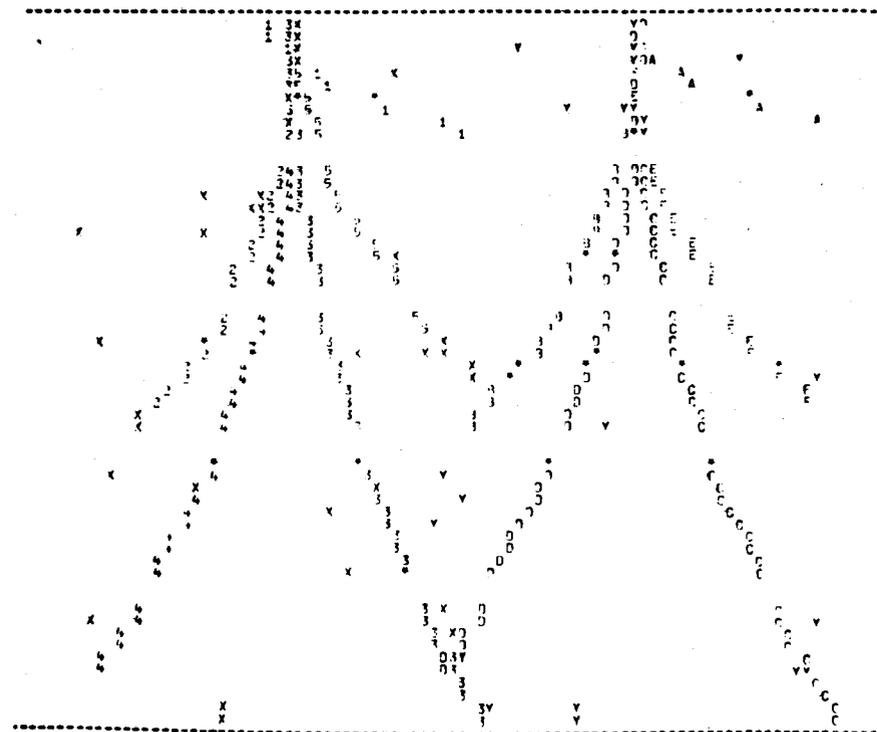


Рис.4. Две проекции события после работы программы распознавания. Буквами и цифрами обозначены искры, присоединенные к трекам.

как было установлено, обусловлена двумя причинами: полным перекрытием отсчетов на одной проекции и случаями пересечения треков под малыми углами. В результате неэффективность снизилась до 8%. На рис.4 показано событие после работы программы.

Завершающей стадией работы системы программ распознавания событий является подготовка входа для геометрии события. Эти вопросы, а также поиск вершины взаимодействий и кинематический анализ вплоть до получения ленты суммарных результатов, будут рассмотрены в следующей работе.

Авторы выражают благодарность А.А.Тяпкину, П.Луптаку, Р.Янику, Д.Миссури, В.В.Вишнякову, И.М.Василевскому, А.Ф.Писареву, Г.Беллини, Г.Веньи, Д.Колла, М.Пернике, П.Фрабетти, С.Г.Бадаляну за большую помощь и содействие работе, а также И.Вагнеру и Э.Денешу, принимавшим участие на ранней стадии работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анджек Р. и др. ОИЯИ, 13-3588, Дубна, 1967.
2. Proposal to Study the Coherent 3π , 5π and $K\pi\pi$ Production on Nuclei at the Serpuchov Accelerator, 1973, CERN PH1/COM-73/32.
3. Lytkin L. et al. JINR, E1-10718, Dubna, 1977.
4. Bellini G. et al. CERN, EP-81-40/81, 1981.
5. Abrosimov A. et al. Nucl. Phys., 1979, B158, p. 11; CERN, 1979, EP/79-42.
6. Frabetti P. et al. Nucl. Phys., 1979, B158, p. 57; CERN, 1979, EP/79-49.
7. Андреев Е.М. и др. ОИЯИ, 13-7763, Дубна, 1974.
8. Vachilieri P. et al. Preprint INFN, 1978, TC-78/8.
9. Romeo manual, 1971, CERN DD/19-71.
10. Бадалян С.Г. и др. ОИЯИ, 10-10338, Дубна, 1976.
11. Говорун Н.Н., Дикусар Н.Д. ОИЯИ, Д10-6142, Дубна, 1972.
12. Дикусар Н.Д., Мороз В.И. ОИЯИ, P10-10798, Дубна, 1977.
13. Дикусар Н.Д., Ружичка Я. ОИЯИ, 10-11526, Дубна, 1978; ОИЯИ, P10-12728, P10-12729, Дубна, 1979.

Рукопись поступила в издательский отдел
26 марта 1982 года.