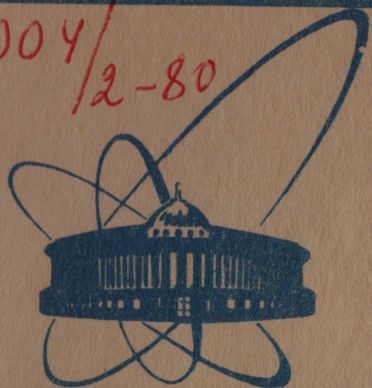


5004/2-80



сообщения  
объединенного  
института  
ядерных  
исследований  
дубна

Б-184

20/x-80

P10-80-430

И.Байла, М.К.Баранчук, Н.В.Барашенкова,  
В.В.Вишняков, О.А.Займидорога, А.А.Карлов,  
Л.Д.Кучугурная, Э.Д.Лапчик, Л.К.Лыткин,  
М.Г.Мещеряков, Б.П.Наумов, И.Л.Писарев,  
Л.В.Тутышкина, В.Н.Шкунденков

СИСТЕМА ОБРАБОТКИ СНИМКОВ  
С УСТАНОВКИ МИС  
НА СКАНИРУЮЩЕМ АВТОМАТЕ АЭЛТ-2/160

1980

Байла И. и др.

P10-80-430

Система обработки снимков с установки МИС  
на сканирующем автомате АЭЛТ-2/160

Описана система обработки снимков с магнитного искрового спектрометра ОИЯИ, построенная на основе сканирующего автомата с управляемой от ЭВМ электронно-лучевой трубкой АЭЛТ-2/160. Отличительной особенностью обрабатываемых снимков является повышенная сложность топологии событий, что обусловило необходимость организации диалогового режима работы на этапе распознавания измеряемых событий. Система находится в эксплуатации с октября 1978 года.

Работа выполнена в Лаборатории вычислительной техники и автоматизации ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1980

Bajla I. et al.

P10-80-430

System for Processing Films from MIS Device  
on AELT-2/160 Computer Scanner

A system for processing films from the JINR spectrometer magnetic spark spectrometer is described. It is

## 1. УСТАНОВКА МИС. ФИЗИЧЕСКАЯ ЗАДАЧА. ОРГАНИЗАЦИЯ ОБРАБОТКИ СНИМКОВ

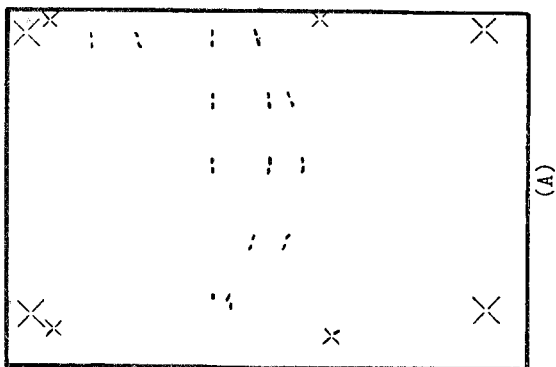
1.1. Магнитный искровой спектрометр /установка МИС/<sup>1,2/</sup> представляет собой 5-метровую трековую камеру в магнитном поле, состоящую из пяти блоков искровых камер, причем каждый блок имеет по десять искровых зазоров. Спектрометр был установлен на пучке частиц ускорителя Института физики высоких энергий в Серпухове и использовался для исследования определенного круга задач в экспериментальной физике высоких энергий.

Регистрация событий в спектрометре велась путем фотографирования треков в искровых камерах на два стереофильма шириной 35 мм. Обработка зарегистрированной на снимках информации содержит следующие этапы:

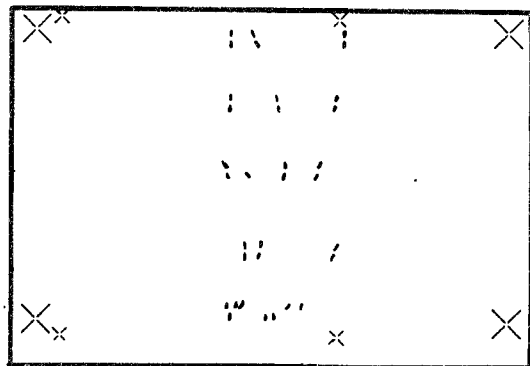
- 1/ измерения и распознавания событий;
- 2/ фильтрации измеренных данных при использовании результатов распознавания относящихся к событию образов /реперных крестов, треков и др./;
- 3/ коррекции отфильтрованной информации по калибровочным данным и геометрического контроля;
- 4/ геометрического восстановления события в пространстве и нахождения его вершины;
- 5/ кинематического и физического анализа.

Первые три этапа объединены на основе использования диалогового сканирующего автомата АЭЛТ-2/160, который входит в измерительную систему, функционирующую в режиме реального времени и позволяющую обеспечить благодаря этому требуемую достаточно высокую эффективность обработки. Описание данной системы, а также результаты ее применения в приложении к обработке снимков для одного эксперимента составляют основное содержание данной работы.

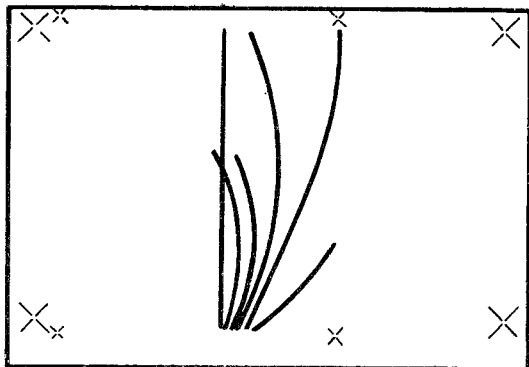
1.2. На спектрометре выполнен ряд экспериментов, отличающихся по постановке физических задач и по топологии подлежащих обработке событий. Большая часть полученной фильмовой информации относится к событиям с топологией, связанной с использованием всех пяти блоков искровых камер и обеспечивающей избыток искр на треках /до пятидесяти/, что позволяет обрабатывать их с помощью оптико-механического сканирующего автомата НРД в полностью автоматическом режиме измерения и распознавания<sup>3,4/</sup>.



(A)



(B)



(C)

Рис.1. /А/ - простое трехлучевое событие; /В/ - сложное шестилучевое событие, в котором два трека /луча/ содержат всего по 3 или 4 искры; /С/ - топология приведенного на рисунке /В/ шестилучевого события /дана для ориентации/.

Вместе с тем имеется ряд выполненных на МИС экспериментов, отличающихся повышенной сложностью топологии событий. Обработка снимков с такими событиями с требуемой высокой эффективностью оказывается невозможной без организации диалоговой системы их измерения и распознавания. Измерение таких снимков на HPD потребовало бы предварительного измерения масок зарегистрированных на них событий на просмотрно-измерительных столах, что значительно усложняет и удорожает процесс обработки в целом.

К таким экспериментам с повышенной сложностью топологии событий относится, в частности, задача исследования множественного рождения пи-мезонов с анализом частиц, вылетающих из мишени в заднюю полусферу пространства. При этом мишень располагается между первым и вторым блоками искровых камер спектрометра, а подлежащие обработке следы частиц регистрируются одним первым блоком. Поэтому треки частиц являются укороченными и максимально могут содержать только десять искр. Кроме того, значительная часть событий в этом эксперименте имеет большое количество треков /до семи/, а многотрековые события отличаются еще и тем, что часть принадлежащих отдельным трекам искр, как правило, отсутствует из-за нехватки энергии для их "поджигания". В результате и без того большие трудности с автоматическим распознаванием многотрековых событий с укороченными треками возрастают еще больше, приводя к необходимости привлечь оператора к решению данной задачи.

На рис.1 приведены 3-лучевое и 6-лучевое события, относящиеся к описываемому эксперименту. Из их сравнения можно видеть, насколько велика разница в сложности распознавания событий с различной топологией.

Именно сложность распознавания событий в данном эксперименте обусловила целесообразность использования автомата АЭЛТ-2/160, позволяющего обрабатывать с высокой эффективностью снимки со сложной топологией событий, а также низким качеством /контрастностью/ изображений.

## 2. СКАНИРУЮЩИЙ АВТОМАТ АЭЛТ-2/160

2.1. Сканирующий автомат АЭЛТ-2/160<sup>5,6/</sup> представляет собой диалоговый измерительный комплекс, основанный на использовании управляемой от ЭВМ электронно-лучевой трубки по методу "бегущего луча". На рис.2 приведена его блок-схема, на рис. 3 - функциональная схема. Основными частями автомата являются:

- измерительная установка на электронно-лучевой трубке высокого разрешения;

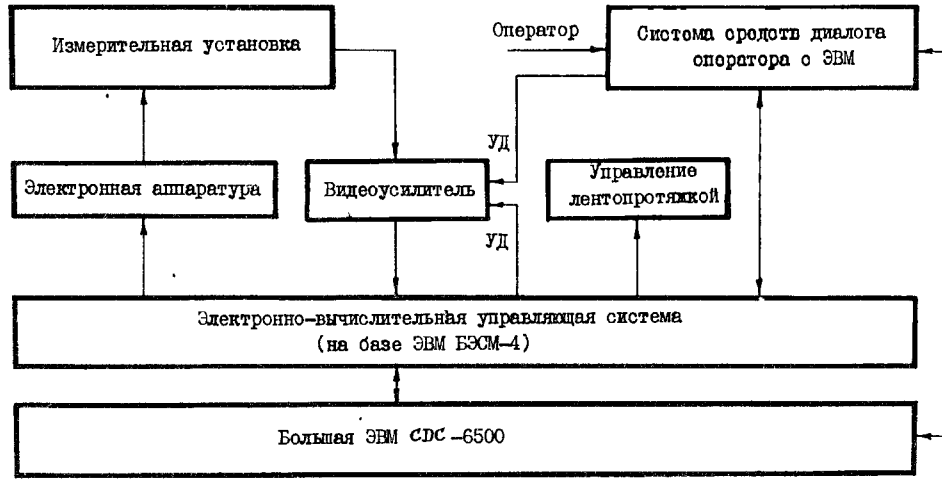


Рис.2. Блок-схема мониторящего автомата АЭЛТ-2/160.

- электронная аппаратура, управляющая развертками луча трубки, а также аналоговой обработкой поступающих от измерительной установки сигналов;
- электронно-вычислительная управляющая система, построенная путем соответствующей модернизации ЭВМ БЭСМ-4;
- используемая в качестве вспомогательного быстрого вычислителя большая ЭВМ CDC-6500;
- система средств диалога оператора с ЭВМ, в состав которой входят: просмотрный стол для оптического отображения измеряемых фотоснимков, дисплей-монитор, дисплей-лупа и дублирующий его малый дисплей-лупа со световым карандашом, функциональная клавиатура /работает совместно с символьным дисплеем ВТ-340/, телетайп ЭВМ CDC-6500.

2.2. Автомат имеет следующие основные характеристики:

- рабочее поле представляет собой прямоугольник с диагональю до 160 мм; в данном эксперименте использовалось калиброванное поле размером 72x118 мм;
- разрешающая способность - 18 мкм;
- среднесуточная точность измерений -  $1,7 \pm 0,3$  мкм;
- 256 уровней дискриминации выходных сигналов управляются от ЭВМ;
- положение, длина и направление сканирования /по X или Y / для каждой строки управляются от ЭВМ /оперативное управление сканированием/;
- минимальный шаг между строками - 2 мкм.

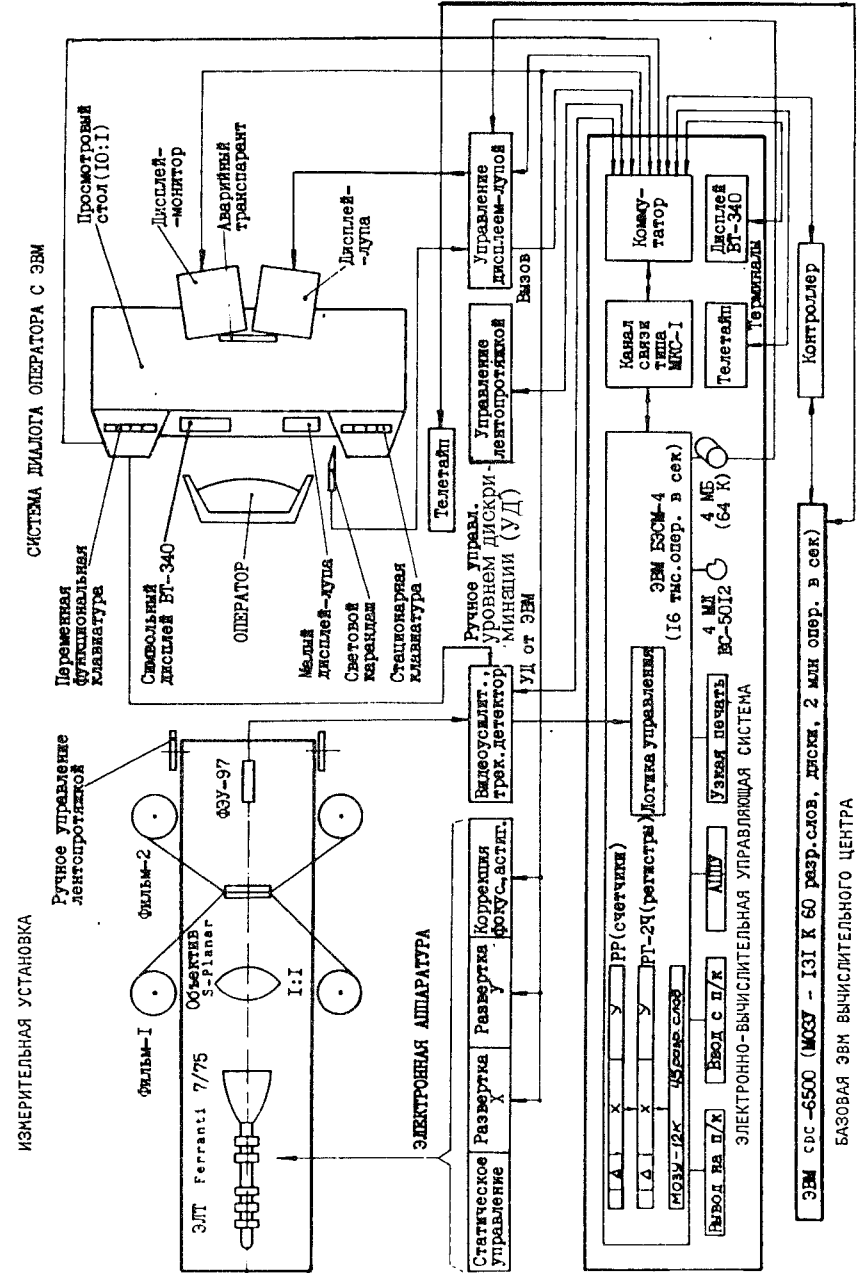


Рис.3. Функциональная схема мониторящего автомата АЭЛТ-2/160.

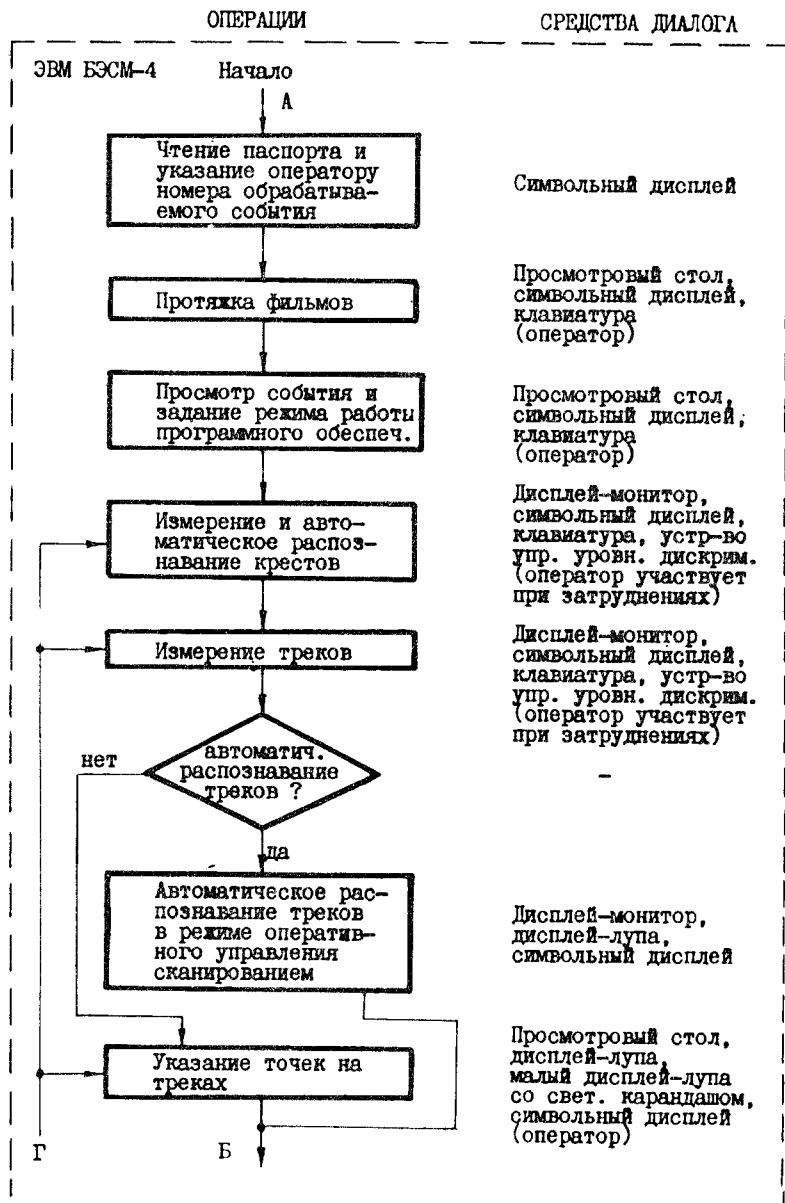


Рис. 5а. Блок-схема программного комплекса /лист 1/.

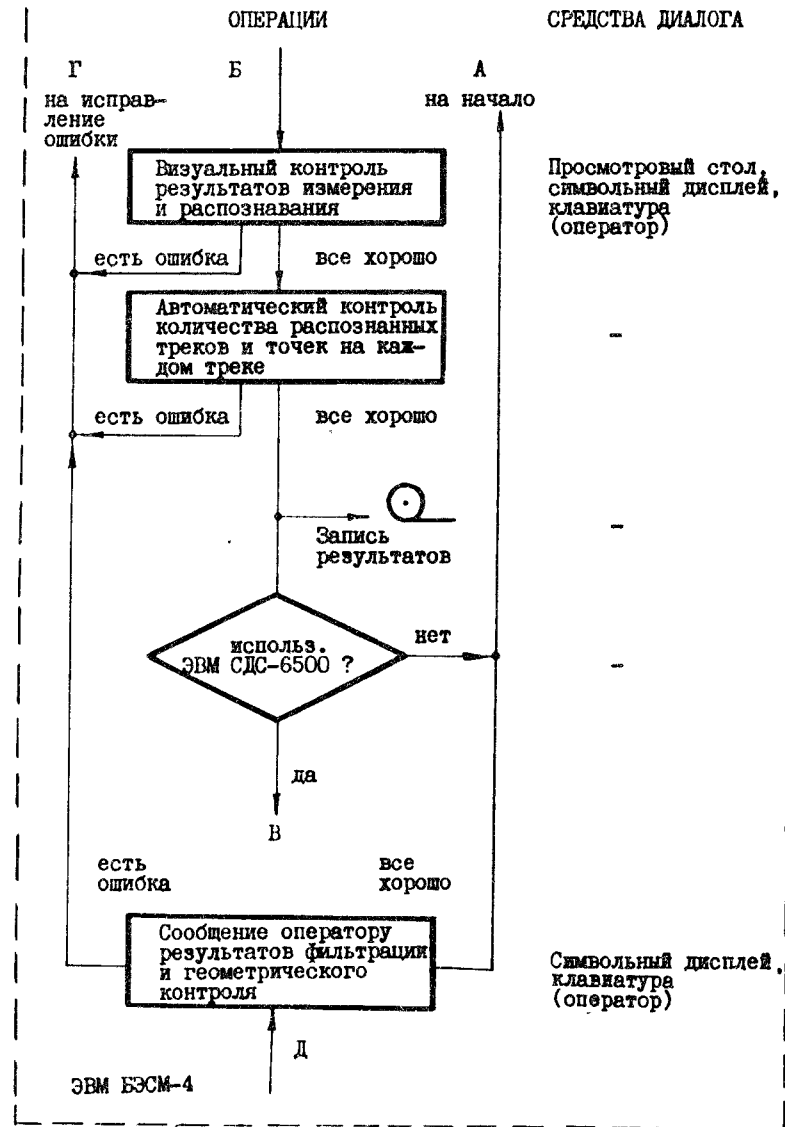


Рис. 5б. Блок-схема программного комплекса /лист 2/.

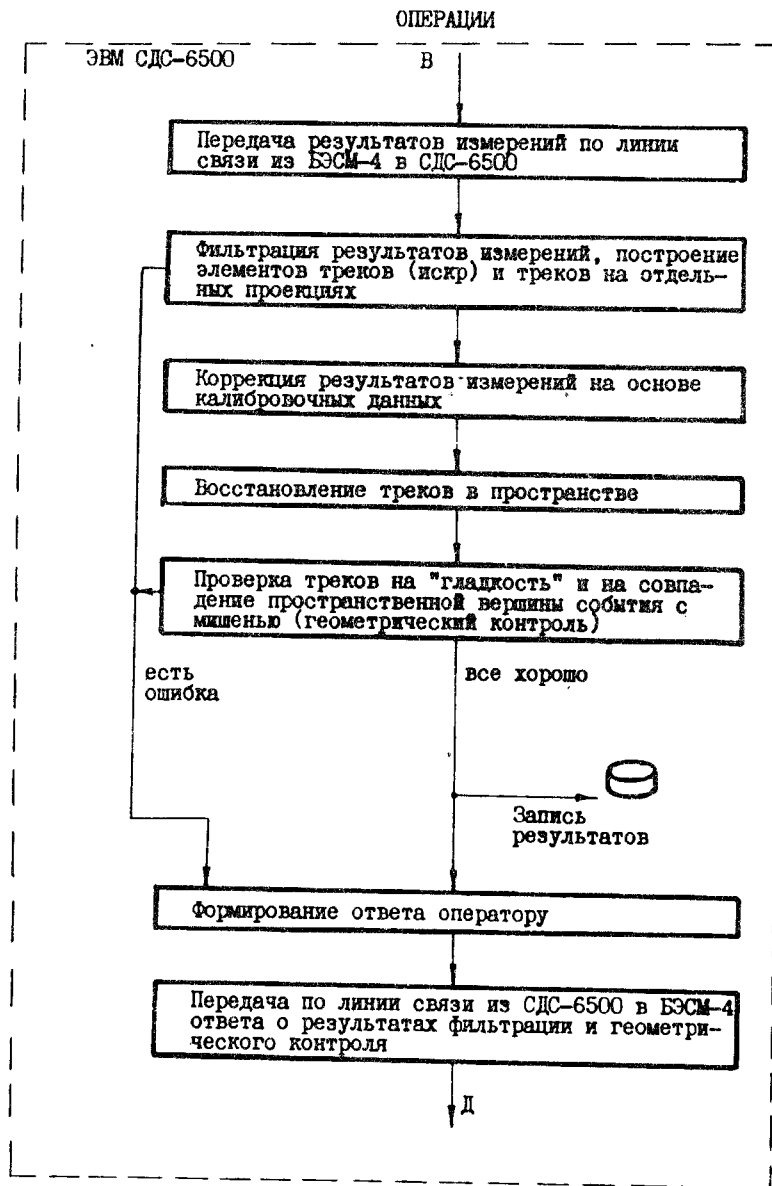


Рис.5в. Блок-схема программного комплекса /лист 3/.

и поэтому его еще предстояло "обкатать" в рабочих условиях, было принято решение начать эксплуатацию на ранней стадии создания системы, еще до достижения указанной критической точки /на стадии, когда было автоматизировано только распознавание реперных крестов/. Такой подход оправдал себя, и в течение первых 6-8 месяцев работы системы был устранен целый ряд выявленных недоработок в технике и математическом обеспечении. В процессе рабочей эксплуатации системы уровень автоматизации измерения и распознавания событий на фотоснимках был дополнительно исследован и повышен.

## 5. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ. ОПИСАНИЕ РАБОТЫ СИСТЕМЫ

5.1. На рис.5 приведена блок-схема программного комплекса системы, управляющего ее работой<sup>/9/</sup>. Комплекс работает с использованием двух ЭВМ: управляющей машины среднего класса БЭСМ-4 и большой машины CDC-6500. ЭВМ БЭСМ-4 выполняет функции машины-диспетчера, управляющей работой всего комплекса, а большая ЭВМ CDC-6500, являющаяся базовой машиной вычислительного центра и имеющая по этой причине ограниченный доступ, используется как вспомогательный быстрый вычислитель<sup>/10/</sup>.

5.2. Снимки перед их обработкой на сканирующем автомате АЭЛТ-2/160 просматриваются на просмотрно-измерительных столах, и на те из них, на которых предполагается полезное событие, составляется паспорт. Данные паспортов /в том числе номера подлежащих обработке событий, число треков и др./ записываются на магнитную ленту ЭВМ БЭСМ-4 и используются в процессе обработки фотоснимков.

5.3. Получив через символьный дисплей ВТ-340 указание о номере очередного события, подлежащего обработке, оператор организует протяжку фильмов и установку снимков с указанным номером в рабочую рамку измерительной установки. Номер события контролируется по оптическому изображению на просмотрном столе; требуемая точность установки снимка достигается совмещением первого реперного креста на нем с меткой на столе. Этот этап обработки выполняется без использования управляющей ЭВМ БЭСМ-4 в течение примерно 15 секунд, и в это время ЭВМ БЭСМ-4 при специальном указании, задаваемом с помощью клавишного зажимающего устройства, уходит на параллельную работу с подключенным к ней через коммутатор автоматом АЭЛТ-1 для обработки фотоснимков от другой задачи; контроль за ходом этой параллельной обработки осуществляется через дисплей и другие средства диалога, выведенные для оператора на пульт управления систе-

мы /11/. Предполагается, что в таком режиме система из двух ЭЛТ под управлением одного оператора позволит организовать одновременную обработку двух задач - сложной ядерно-физической и какой-либо простой прикладной задачи /из области медицины или др./.

После выполнения работ на данном этапе и просмотра на столе подлежащего обработке события с установки МИС оператор задает с помощью функциональной клавиатуры режим работы программного комплекса в зависимости от сложности события. При этом он может выдать указание об использовании программы автоматического распознавания треков, об использовании ЭВМ CDC-6500 для контроля результатов обработки, а также другие приказы, носящие частный характер: об организации зацикленного мониторингового режима сканирования при начальной настройке режима измерения, о выводе на дисплей контура измеряемых образов /при настройке режима измерения или отладке программ/ и др. Это позволяет оптимизировать процесс обработки событий, сокращая время обработки, а также настройки и отладки системы.

5.4. Следующий этап - автоматическое измерение и распознавание реперных крестов. Каждый крест сканируется мини-растром из 50 строк. Программа распознавания основана на использовании известного метода поворотных гистограмм. Процесс измерения представлен на мониторе, на котором оператор при правильной настройке режима измерения видит изображение измеряемого креста. В случае успешного распознавания креста ЭВМ выводит на ту же визуальную электронно-лучевую трубку, которая используется теперь в качестве экрана дисплея, яркую точку в центре креста на короткое время для указания о том, что данный крест успешно обработан. Затем аналогично измеряются и распознаются остальные реперные кресты обеих стереопар события.

В случае затруднения с распознаванием программа не уходит с обработки данного креста и повторяет измерение до тех пор, пока не распознает его, либо не получит от оператора приказ через функциональную клавиатуру пропустить обработку данного креста. При этом процесс измерения представлен на мониторе, и по нему оператор судит о качестве настройки режима измерения. При необходимости он может результаты каждого сканирования креста выводить на дисплей и рассматривать их с большим увеличением /~100 крат/, вносить коррекцию в управление уровнем дискриминации выходных сигналов измерительной установки, смещать положение мини-растра, с помощью которого измеряется данный крест. Использование светового карандаша при обработке крестов не предусмотрено ввиду простоты данного образа и достаточно высокой эффективности его автоматического распознавания при правильно подобранном режиме измерения.

5.5. Затем осуществляется автоматическое измерение треков в участках снимков, соответствующих искровым промежуткам и определяемых на основе результатов обработки реперных крестов. После измерения информации на небольшом участке снимков, соответствующем двум рядом расположенным искровым промежуткам, результаты выводятся на дисплей-лупу, имеющий автономную память. Благодаря этому оператор видит результаты измерения в динамическом режиме и может, ориентируясь по этому изображению, вести оперативно подстройку режима измерения. При необходимости оператор может дать указание через функциональную клавиатуру об организации зацикленного мониторингового режима измерения треков на снимке и, получив благодаря этому необходимое время для настройки, подобрать с минимальными затратами времени наилучший с его точки зрения режим.

Закончив обработку треков на одной стереопроекции /снимке/, программа переходит к измерениям на второй стереопроекции.

5.6. Если оператором было дано указание об автоматическом распознавании треков, то программа организует повторное сканирование стереоснимков, задачей которого является получение информации, необходимой для распознавания треков. При этом задается несколько более высокий относительно шумов уровень дискриминации выходных сигналов, что при некотором уменьшении количества измеряемой полезной информации обеспечивает крайне важное в данном случае значительное уменьшение помех от измерений шумов.

Принцип распознавания линейных элементов, из которых состоят треки и царапины /наиболее опасные помехи/, основан на статистической обработке информации от шести рядом расположенных строк в режиме оперативного управления сканированием /с обработкой информации после каждой строки, что существенно упрощает программы обработки/. Если при этом на четырех строках из шести находятся координаты точек, отстоящих друг от друга не больше чем на заданную достаточно малую величину, то линейный элемент искомого образа считается распознанным.

Сначала программа организует распознавание царапин, для чего сканируются участки снимка, соответствующие свободному пространству между искровыми промежутками. Найденные усредненные координаты элементов царапин /мастер-точки/ помещаются в отведенные для них банки данных в памяти ЭВМ БЭСМ-4. Координаты нескольких найденных таким образом мастер-точек, отвечающих условию принадлежности идущей вдоль фильма прямой линии /царапины, как правило, идут именно так/, считаются принадлежащими одной царапине. Эти данные используются затем для фильтрации информации от царапин при распознавании треков.

Распознавание треков также связано с поиском линейных элементов измеряемых образов, но теперь уже в зоне искровых промежутков. Отфильтровав измеренную информацию от царапин и поместив остальные найденные при сканировании искрового промежутка линейные элементы в виде координат мастер-точек в банки данных для треков, программа осуществляет контроль результатов распознавания путем сравнения числа найденных мастер-точек с заданным в паспорте на данное событие /заносится при просмотре/ и проверки на грубое "выпадение" отдельных мастер-точек относительно кривой, проведенной через мастер-точки с одинаковым порядковым номером. Если требованиям указанного контроля удовлетворяет не меньше четырех найденных мастер-точек на треке, то данный трек считается распознанным. В этом случае найденные треки отмечаются при выводе их на дисплей /этап визуального контроля, см. ниже/ точечной линией, соединяющей принадлежащие данному треку искры.

Если трек не найден, то он подлежит распознаванию с участием оператора /см. ниже/.

Реализованная программа позволяет распознавать наиболее простые события с непересекающимися треками, расположенными в одинаковой последовательности на обеих стереопроекциях - см., например, рисунок 1/А/. При этом, однако, таких событий в данном эксперименте содержится не менее половины из числа подлежащих обработке, что позволяет существенно автоматизировать процесс распознавания.

5.7. Если оператор не дал приказа с помощью функциональной клавиатуры об организации автоматического распознавания треков, то результаты измерения треков выводятся на дисплей для указания точек на треках. Это указание точек оператор осуществляет с помощью светового карандаша на малом дисплее-лупе, расположенном на передней панели пульта управления. На каждом треке при этом метится /указывается/ четыре точки. Номера обрабатываемых таким образом треков задаются нажатием клавиши функциональной клавиатуры перед переходом к обработке следующего трека, благодаря чему осуществляется их пространственная идентификация.

5.8. По окончании измерения и распознавания треков происходит визуальный контроль результатов и при необходимости - коррекция этих результатов. При этом оператор имеет возможность повторить обработку данного события полностью или только частично в зависимости от результатов контроля.

Если ошибок при визуальном контроле не обнаружено, то оператор дает приказ перейти к работе по программе автоматического контроля, которая осуществляет проверку количества распознанных треков /сравнивает с данными из паспорта/ и точек на

каждом треке /должно быть четыре/. Этот несложный контроль позволяет без обращения к ЭВМ CDC-6500 /см. ниже/ устранить наиболее часто встречающиеся ошибки оператора и, благодаря этому, в сочетании с описанным выше визуальным контролем повысить эффективность работы измерительной системы до сравнительно высокого уровня /около 80-85%/. Дальнейшее повышение эффективности осуществляется за счет использования большой ЭВМ CDC-6500.

Если автоматический контроль устанавливает наличие ошибки, то оператору предлагается повторить обработку данного события /полностью или частично/. Если ошибок нет, то результаты выполненных измерений записываются на магнитную ленту ЭВМ БЭСМ-4, однако пока еще без сведений о контрольной обработке этих данных на ЭВМ CDC-6500. Магнитная лента ЭВМ БЭСМ-4 является главным хранителем результатов обработки фотоснимков на автомате АЭЛТ-2/160.

5.9. После записи результатов на магнитную ленту программа анализирует состояние фиксирующихся клавиш функциональной клавиатуры с целью обнаружить указание со стороны оператора об использовании ЭВМ CDC-6500. Если такое указание отсутствует, то обработка данного события на этом заканчивается и программа уходит на начало для организации обработки следующего события.

Если же указание об использовании ЭВМ CDC-6500 имеется, то в оперативную память этой машины передаются по линии связи данные измерений, а также вызываются на счет программы фильтрации и контроля, хранящиеся на диске ЭВМ CDC-6500.

5.10. Используя данные измерения и распознавания обрабатываемого события, ЭВМ CDC-6500 организует фильтрацию полезной информации /отбор информации для каждого трека на основе ее попадания в некоторый "коридор", образованный около кривой, построенной с использованием мастер-точек, которые принадлежат анализируемому треку/. На основе отфильтрованных таким образом данных строятся элементы треков /новые мастер-точки/ и осуществляется распределение этих мастер-точек по различным трекам на различных проекциях.

В процессе выполнения этого этапа программа может обнаружить неудовлетворительное качество поступившей на обработку информации, и тогда ее дальнейшая обработка прекращается, а в формируемый ответ оператору заносится признак выявленной ошибки.

5.11. Если же результаты обработки на этапе фильтрации являются удовлетворительными, то для каждой найденной мастер-точки треков, а также для центров реперных крестов проводится коррекция по калибровочным данным, хранящимся на диске ЭВМ CDC-6500.



5.12. Откалиброванные данные используются для математического восстановления треков в пространстве, их проверки на "гладкость" /отсутствие "выпадающих" точек на пространственной кривой/ и на совпадение в заданных пределах пространственной вершины события с мишенью. Этот контроль позволяет дать окончательное заключение об отсутствии ошибок в результатах измерения и распознавания события.

5.13. Результаты контрольной обработки данных на ЭВМ CDC-6500 формируются в виде ответа оператору /одно слово/ и передаются обратно по линии связи с ЭВМ БЭСМ-4. Эти данные заносятся на магнитную ленту ЭВМ БЭСМ-4, где уже хранятся результаты измерения и распознавания события, а также сообщаются оператору через символьный дисплей ВТ-340. Если ответ о результате контрольной обработки на ЭВМ CDC-6500 положителен, то оператор отдает приказ закончить обработку данного события и переходит к обработке следующего. Если ответ содержит сообщение о той или иной ошибке, то оператор может повторить обработку события /в полном или ограниченном объеме/ или принять решение о целесообразности прекратить его дальнейшую обработку, передав управление на начало программы и переходя к обработке следующего события.

5.14. Записанные на магнитную ленту ЭВМ БЭСМ-4 данные впоследствии передаются по линии связи в ЭВМ CDC-6500, на которой осуществляется их обработка по программам геометрической реконструкции, а также кинематического и физического анализа.

## 6. О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

### 6.1. Применение организующей программы-диспетчера

Программный комплекс состоит из набора независимых программ, объединенных программой-диспетчером. При работе любой программы имеется возможность с помощью функциональной клавиатуры получить на экране символьного дисплея ВТ-340 перечень всех входящих в комплекс программ, а затем, также используя функциональную клавиатуру, вызвать к исполнению любую из программ с тем, чтобы заняться ее исследованием или отладкой. Такая структурная организация программного комплекса позволила внести определенный порядок в разработку математического обеспечения при участии в этой работе нескольких специалистов. В конечном итоге это сыграло немаловажную роль в сокращении сроков его создания /немногом более года/.

### 6.2. Управление параметрами программ

Многие программы содержат параметры, подбираемые экспериментально при их отладке /например, число строк в зоне измерения того или иного реперного креста и т.д./. В процессе работы любой программы имеется возможность с помощью функциональной клавиатуры вызвать на экран дисплея ВТ-340 перечень всех используемых данной программой параметров, а затем /также с помощью функциональной клавиатуры/ изменить любой из них. При желании это изменение может быть внесено не только в память ЭВМ БЭСМ-4, но также и на магнитную ленту, хранящую комплекс управляющего матобеспечения.

Эта сервисная возможность, как показал опыт, имеет исключительно большое значение для сокращения затрат времени при отладке программ. В частности, благодаря ее использованию была исследована идея индивидуального подбора оптимального уровня дискриминации для отдельных образов, в данном случае - для каждого реперного креста /всего 16 крестов/. Эта крайне кропотливая работа была выполнена в течение всего одного-двух часов и позволила практически исключить участие операторов в оказании помощи программе при измерении и распознавании крестов в процессе массовой обработки фотоснимков.

### 6.3. Управление возможностями функциональной клавиатуры

Всей работой системы, как при ее эксплуатации, так и в процессе исследований и отладки, управляет оператор с помощью функциональной клавиатуры. Большое количество требующихся при этом приказов, которые мог бы отдавать оператор, обусловило целесообразность разработки помимо стационарной /8 клавиш/ также переменной функциональной клавиатуры, работающей совместно с символьным дисплеем ВТ-340 и содержащей 9 фиксирующихся и 10 нефиксирующихся клавиш. Организация работы системы с использованием этой клавиатуры содержит следующие особенности:

- исполнение каждой программы, входящей в состав комплекса матобеспечения, сопровождается текстом на экране ВТ-340 с указанием названия и порядкового номера данной программы, а также с информацией о функциональном назначении имеющихся в распоряжении оператора клавиш; по желанию оператора /при нажатии одной из клавиш стационарной клавиатуры/ текст может выводиться в сокращенном виде;

- текст на экране ВТ-340, предназначенный для операторов, написан на русском языке, а для инженеров, занимающихся контрольной профилактикой или отладкой системы, - на английском; это сокращает количество ложных указаний со стороны операторов при эксплуатации системы;

- номер последней нажатой клавиши выводится на экран ВТ-340, что позволяет контролировать операторам свою работу

и облегчает устранение ошибок в нажатии клавиш; если нажата запрещенная к использованию на данном этапе клавиша, то об этом дается соответствующее сообщение;

- в случае затруднения с управлением программой оператор может нажать клавишу "помощь" на стационарной клавиатуре и вызвать на экран ВТ-340 инструкцию об управлении работой системы;

- стационарная клавиатура содержит клавишу "начало", к помощи которой оператор обращается при необходимости заново начать обработку фотоснимков без перезагрузки программ;

- во всех случаях, связанных с ошибками оператора или с отказом в работе системы /не распознан реперный крест и др./, наряду с конкретным указанием данного факта на ВТ-340 или дисплее-мониторе также включается красный аварийный транспарант, дополнительно обращая внимание оператора на необходимость оказания помощи;

- стационарная клавиатура содержит также клавишу вызова на экран ВТ-340 перечня всех входящих в комплекс программ и клавишу вызова программы управления параметрами, о которых говорилось выше.

6.4. Разработка математического обеспечения выполнена с использованием операционной системы ОС-4-220<sup>/12/</sup>.

## 7. ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ, ЭФФЕКТИВНОСТЬ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ОБРАБОТКИ

### 7.1. Исследования точности измерений

Остаточная ошибка калибровки, определяющая собственную точность автомата АЭЛТ-2/160, соответствует  $\sigma = 1,7 \pm 0,3$  мкм. Эта ошибка значительно меньше ошибки, вносимой в данном эксперименте в результаты обработки разбросом положений искр в спектрометре. Это позволяет сделать заключение о пригодности автомата для организации на его основе измерительной системы для данных фотоснимков.

Вместе с тем для практической проверки этого заключения были проведены исследования по сравнению результатов измерения рабочих снимков на АЭЛТ-2/160 и на других известных измерительных устройствах. Результаты этих исследований приведены ниже.

а/ Были проведены измерения реперных крестов на 50 снимках, выполненные с помощью автоматов АЭЛТ-2/160 и НРД<sup>/2/</sup>. Эти измерения показали, что оба устройства дают одинаковые результаты по точности определения центров крестов. При этом для крестов размером 2x2 мм среднеквадратический разброс

определения центров составил 2,3 мкм и не превышал 2,8 мкм, а для крестов размером 1x1 мм - соответственно 2,9 мкм и 4,2 мкм /без учета остаточной ошибки калибровки/.

б/ На автомате АЭЛТ-2/160 и полуавтоматах ПУОС<sup>/13/</sup> были измерены 100 событий, взятых без какого-либо специального отбора из общей массы фотоснимков. /Автомат НРД в этих исследованиях не мог быть использован из-за отсутствия у него необходимого математического обеспечения для обработки снимков с МИС с короткими треками и большим числом треков/. Сравнение полученных результатов показало практическое совпадение измерений импульсов и углов треков. При этом расхождение в измерениях импульсов ~0,5 ГэВ/с составило

$$\left| \frac{P_{\text{АЭЛТ-2/160}} - P_{\text{ПУОС}}}{P_{\text{АЭЛТ-2/160}}} \right| \approx 0,01;$$

а расхождение в измерении углов:

$$\left| \phi_{\text{АЭЛТ-2/160}} - \phi_{\text{ПУОС}} \right| \approx 5 \text{ мрад.}$$

Эти данные показали, что при измерении рабочих снимков с установки МИС в рассматриваемом физическом эксперименте автомат АЭЛТ-2/160 обеспечивает точность, которая не уступает точности, достигаемой при использовании известных прецизионных измерительных устройств.

### 7.2. Эффективность работы измерительной системы

Эффективность работы измерительной системы, построенной на основе автомата АЭЛТ-2/160, в условиях 2-кратного повторения измерения и распознавания событий в случае отказов, поступающих от ЭВМ CDC-6500, оценивается как равная 90-95%. При этом, если первое повторение обработки с привлечением оператора к распознаванию события повышает эффективность на 10-11%, то второе повторение повышает ее на 2-3%, а третье - уже менее чем на 1%.

Указанный показатель эффективности получен с учетом исключения из расчетов ошибочно включенных в процесс измерения событий, которые, как показывает последующая обработка, не имеют реконструируемой в пределах мишени вершины. К таким событиям относятся взаимодействия вне мишени, перерасcеяния частиц, вторичные взаимодействия и др.

Остающиеся в той или иной мере необработанными 5-10% событий из числа правильно включенных в измерения связаны в основном с наличием очень коротких треков /из 3-4 искр/, к тому же имеющих нередко для отдельных искр низкую контрастность, что

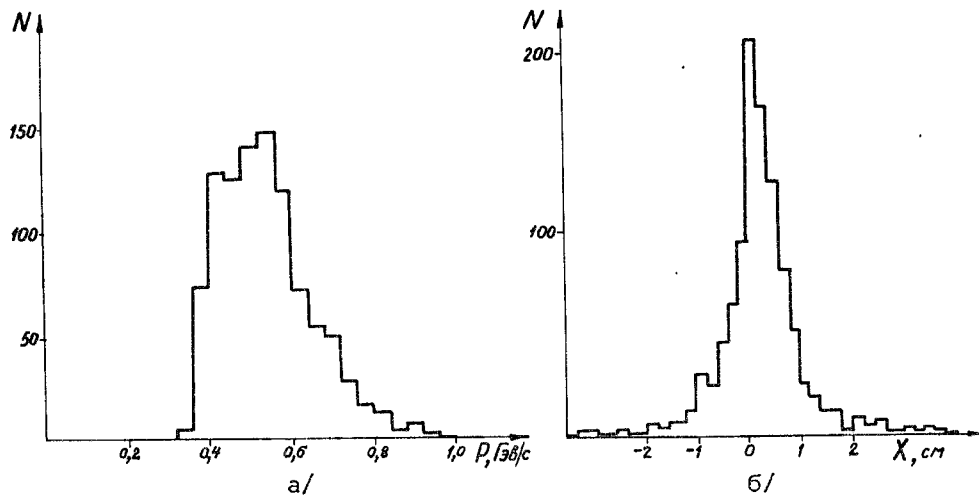


Рис.6. а/ Спектр импульсов положительных частиц /в основном протонов/, полученный на основе обработки первой тысячи событий. Данные приведены без поправок на эффективность регистрации. б/ Распределение X-координаты реконструированной вершины взаимодействия /ось X направлена вдоль падающих на мишень частиц/.

затрудняет их измерение с помощью автомата, - см., например, рисунок 1/В/. Во время обработки теряются именно эти треки, что хотя и не ведет к полной потере указанных событий, тем не менее снижает их множественность и тем самым несколько уменьшает ценность проводимых исследований.

Достигнутая эффективность работы измерительной системы для данного эксперимента является достаточной. Однако не исключено, что в процессе последующей обработки полученных данных и уточнения выходных физических результатов несколько сот событий, для которых были потеряны короткие треки из-за низкой контрастности искр, будут повторно измерены на полуавтоматах.

### 7.3. Производительность системы

Производительность системы составляет в среднем 10-12 событий в час. Это соответствует уровню 40-50% от максимально возможной производительности, которая могла бы быть достигнута за счет дальнейшего усовершенствования математического обеспечения. Однако такое усовершенствование /в равной мере относящееся к повышению производительности и эффективно-



Рис.7. Система АЭЛТ-2/160. Профилактика.

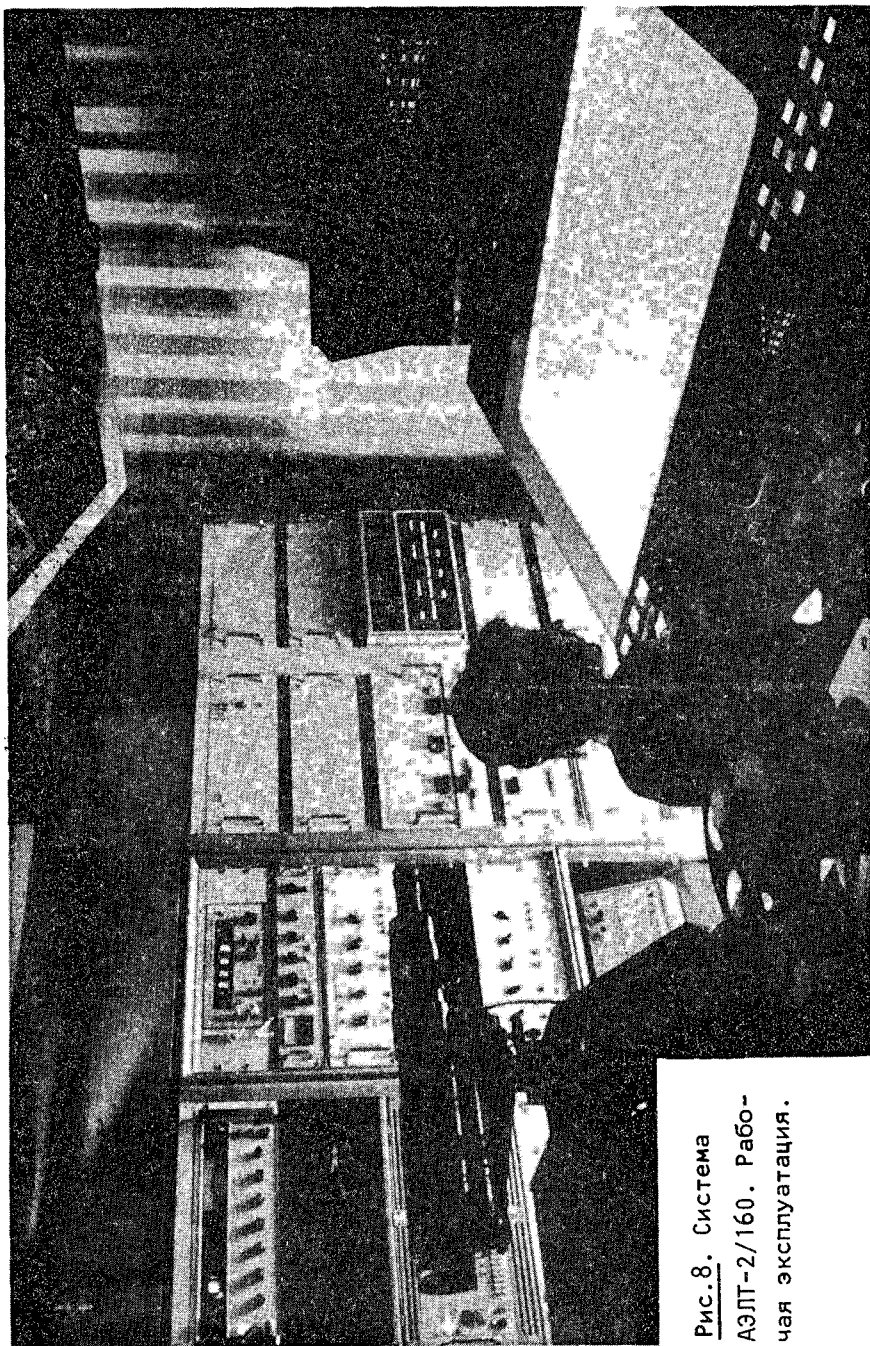


Рис.8. Система АЭЛТ-2/160. Рабочая эксплуатация.

сти обработки/ не имеет практического смысла ввиду ограниченного времени эксплуатации данной системы, связанного со сравнительно небольшим объемом подлежащих обработке фотоснимков.

## 8. РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ

Система была введена в эксплуатацию в октябре 1978 года, и в течение года на ней было обработано 10 тысяч событий в указанном эксперименте по исследованию процессов множественного рождения пи-мезонов с импульсом 40 ГэВ/с на разных ядрах с вылетом заряженных частиц в заднюю полусферу пространства. Объем измеренных данных соответствует полному рабочему эксперименту.

На рис.6 показаны предварительные физические результаты, основанные на обработке 1 тысячи событий. При этом данные о спектре импульсов положительных частиц, приведенные на рис.6а, даны без поправок на эффективность регистрации /поправки будут введены при получении окончательных физических результатов/.

На рис.7 и 8 приведены фотоснимки сканирующего автомата АЭЛТ-2/160.

Авторы благодарят Х.Андерса и Д.Джекобса /ЦЕРН, Женева/ за помощь, оказанную при разработке системы, а также В.И.Мороза за обсуждение изложенного материала.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Анджяк Р. и др. ОИЯИ, 13-3588, Дубна, 1967.
2. Lytkin L.K. et al. JINR, E1-10719, Dubna, 1977.
3. Инкин В.Д. и др. ОИЯИ, 10-4513, Дубна, 1971.
4. Говорун Н.Н., Дикусар Н.Д. Математическое обеспечение системы измерения снимков с МИС ОИЯИ на сканирующем автомате НРД. Труды Семинара по обработке физической информации. Агворан, 1975. Изд-во ЕрФИ, 1976, с.218-223.
5. Барлицук М.К. и др. Мониторный сканирующий автомат АЭЛТ-2/160. а/ Труды Семинара по обработке физической информации. Агворан, 1975. Изд-во ЕрФИ, 1976, с.314-321; б/ ОИЯИ, P10-8861, Дубна, 1975.
6. Байла И. и др. ОИЯИ, P10-12990, Дубна, 1979.
7. Шкунденков В.П. Эффективность сканирующих автоматов. а/ Труды II Всесоюзного семинара по обработке физической информации. Агворан, 1977. Изд-во ЕрФИ, 1978, с.458-471; б/ ОИЯИ, 10-1086, Дубна, 1977.

8. Шкунденков В.Н. Сканирующий автомат типа АЭЛТ-1 для ядерно-физических и прикладных задач. а/ Труды III Совещания по использованию ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач. Дубна, 1978. ОИЯИ, P18-12147, Дубна, 1979, с.352-356; б/ ОИЯИ, P10-11836, Дубна, 1978; в/ CERN, Trans. 79-02, Geneva, 1979.
9. Байла И. и др. Математическое обеспечение системы обработки фотоснимков с магнитного искрового спектрометра на сканирующем автомате АЭЛТ-2/160. Тезисы докладов Всесоюзной конференции "Автоматизация научных исследований на основе применения ЭВМ". Новосибирск, 1979, с.94-95.
10. Шкунденков В.Н. ЭВМ в системах автоматической обработки फिल्मовой информации. Тезисы докладов V Всесоюзной конференции по планированию и автоматизации эксперимента в научных исследованиях. Москва, 1976, с.79-83.
11. Шкунденков В.Н. Многоцелевой сканирующий комплекс на двух электронно-лучевых трубках. Тезисы докладов Всесоюзной конференции "Автоматизация научных исследований на основе применения ЭВМ". Новосибирск, 1979, с.92-93.
12. Баяковский Ю.М., Михайлов Т.Н. Операционная система ОС-4-220. Изд-во ИПМ АН СССР, 1970.
13. Алмазов В.Я. и др. ОИЯИ, 1352, Дубна, 1963.

Рукопись поступила в издательский отдел  
23 июня 1980 года.