

22/4-82

943/82



сообщения  
объединенного  
института  
ядерных  
исследований  
дубна

e  
f

10-81-754

И.М.Иванченко, Н.Н.Карпенко,  
Ю.А.Панебратцев, В.Н.Садовников, А.Е.Сеннер,  
Л.А.Сеннер, В.С.Ставинский

КОМПЛЕКС ПРОГРАММ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ  
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ НА УСТАНОВКЕ ДИСК-2  
КУМУЛЯТИВНОГО РОЖДЕНИЯ ЧАСТИЦ

В настоящей статье рассмотрено математическое обеспечение экспериментальной установки ДИСК-2 /1/, работающей на линии с ЭВМ ЕС-1040. При разработке комплекса программ был использован опыт создания систем /2,3/.

Магнитный спектрометр ДИСК-2 предназначен для исследования процесса фрагментации ядер мишени в инклюзивной постановке:

$$a + b \rightarrow c + X.$$

/1/

Частица  $c$  регистрируется в интервале углов вылета от  $49^\circ$  до  $180^\circ$  относительно направления первичной частицы  $a$  и в интервале импульсов от 0,15 до 1,6 ГэВ/с. Такой выбор кинематических переменных позволяет исследовать взаимодействие адрона  $a$  с локальной группой из нескольких нуклонов ядра  $b$ , т.е. кумулятивное рождение частиц /4/.

Выделение полезных событий осуществляется независимым измерением времени пролета на двух базах /4 м и 1 м/ с точностью 150-200 пс, потерь энергии на ионизацию, интенсивности вспышки черенковского излучения в твердом радиаторе, а также с помощью порогового газового черенковского счетчика. Разрешение по импульсу для вторичных частиц - 4%, входной телесный угол -  $2 \cdot 10^{-4}$  ср.

ЭВМ ЕС-1040 / ~300 тыс. операций/с, 512К байтов/ оснащена набором стандартных периферийных устройств, мультиплексорным и четырьмя селекторными каналами. Кроме указанных устройств, используется удаленный /-1 км/ терминал на базе печатающего устройства DZM-180 KRS. ЕС-1040 оснащена операционной системой ОС ЕС с фиксированным числом задач (MFT), издание 4.1, редакция 3 /5-7/.

В качестве языков программирования использовались фортран и ассемблер. Последний применялся для создания модулей, обеспечивающих организацию работы комплекса программ и реализующих функции управления аппаратурой для сбора и накопления данных, а также вывода результатов на удаленный терминал. На фортране написаны модули ввода и интерпретации данных /директив/, обработки информации и вывода результатов.

Комплекс программ реального времени при функционировании выступает в виде проблемной задачи, вводимой в пакетном режиме.

Аппаратное согласование крейтов регистрирующей аппаратуры с каналом ЭВМ ЕС-1040 реализовано при помощи разработанного

в ОИЯИ микропрограммного контроллера<sup>8/</sup>. Регистрирующая и передающая аппаратура выполнена в стандарте КАМАК.

## РАСПАРАЛЛЕЛИВАНИЕ ПРОЦЕССОВ И СТРУКТУРА КОМПЛЕКСА ПРОГРАММ

Структура комплекса программ и анализ алгоритмов распараллеливания процессов и взаимодействия ЭВМ с внешними абонентами в электронных экспериментах, проводимых на линии с ЭВМ ЕС-1040, подробно описаны в работах<sup>2,3/</sup>. Отметим здесь только основные моменты.

Работа комплекса программ реального времени организована в мультипрограммном режиме согласно дисциплине обслуживания с абсолютными приоритетами. Это обеспечивает возможность параллельного решения в реальном масштабе времени следующих основных задач:

1. Управление аппаратурой передачи информации, прием и буферизация экспериментальных данных.
2. Паспортизация и накопление данных на магнитных лентах.
3. Обработка информации с целью определения характеристик работы аппаратуры /технический контроль/ и исследуемых физических процессов /физический контроль/.
4. Обеспечение оперативного взаимодействия экспериментатора с ЭВМ.

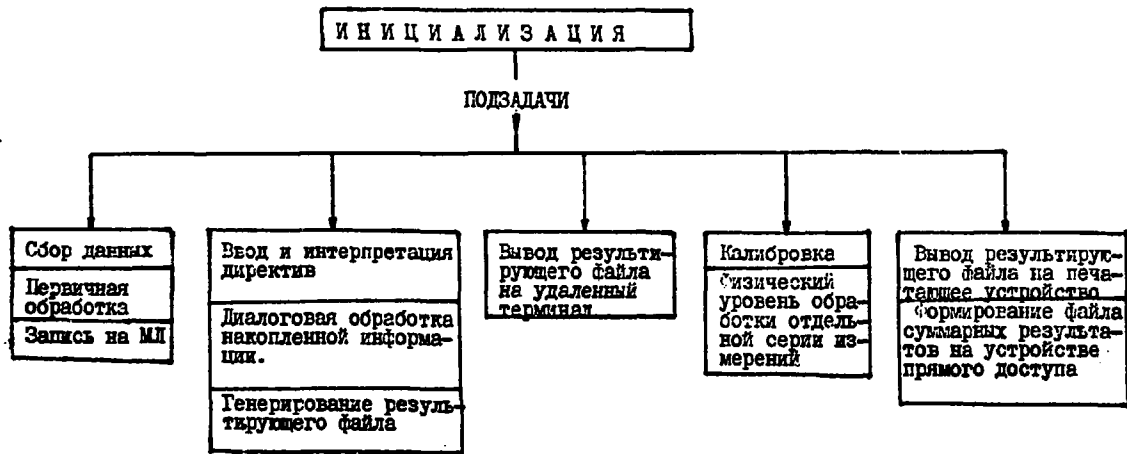
ОС ЕС представляет возможность распараллеливать выполнение процессов некоторого шага задания посредством образования подзадач. Наличие в системе ОС средств параллельного выполнения и синхронизации процессов позволяет на базе операционной системы организовать мультипрограммный комплекс реального времени /см. рисунок/.

Вопросы эффективного использования оперативной памяти являются также весьма актуальными при решении обсуждаемых задач.

При простой структуре описываемый комплекс программ занимает объем оперативной памяти свыше 300К /без учета буферов для сбора информации/. Доступный пользователю ресурс ОЗУ на данной ЭВМ составляет около 380К /при транзитной программе системного ввода/. Эффективным способом оптимизации использования ресурса оперативной памяти является построение комплекса программ реального времени в виде структуры с перекрытием /оверлейной структуры/.

В корневой сегмент помещены программные модули, реализующие функции управления аппаратурой, взаимодействия с оператором, сбора и накопления данных. Это, в сочетании с приоритетной дисциплиной диспетчеризации, обеспечивает высокую реактивность комплекса на внешние сигналы. В качестве основного критерия разбиения комплекса программ на сегменты выбрано тре-

# ГЛАВНАЯ ЗАДАЧА



Принципиальная схема комплекса программ ДИСК-2.

бование снижения количества загрузок в ОЗУ перекрывающихся сегментов при выполнении программ, что обеспечивает минимизацию непроизводительных потерь времени.

Согласно указанному критерию, комплекс программ разделен на три основные группы сегментов, имеющие определенные функциональные назначения, а именно:

- инициализация и оперативная настройка комплекса программ;
- многомерный анализ данных и накопление статистических распределений;
- итоговая обработка данных, генерирование результирующих файлов.

Другим способом снижения требуемого объема оперативной памяти является использование средств оперативного распределения ресурса ОЗУ для размещения данных, имеющих динамическую природу. Динамическая природа совокупности элементов данных определяется варьированием в процессе работы количества элементов и их размеров. По типу средств оперирования с динамическими структурами данные делятся на три класса, а именно:

- данные, вводимые непосредственно с установки;
- статистические объекты, которые обрабатываются пакетом программ HBOOK<sup>/9/</sup>;
- динамические элементы произвольного типа, которые обрабатываются пакетом программ ZBOOK<sup>/10/</sup>.

За счет оверлейной структуры и использования средств динамического распределения ОЗУ удалось снизить требуемый ресурс оперативной памяти до 200К /при объеме динамической структуры 20К/ без снижения эффективности работы комплекса программ.

В особую область выделены буфера для размещения первичной информации. Количество передаваемой информации в течение отдельного сброса пучка зависит от условий эксперимента и может варьироваться в диапазоне от сотен байт до 20К байт /около 1800 событий/. Из-за относительно невысокой эффективной скорости обмена с внешними запоминающими устройствами<sup>/8/</sup> объем буфера приема в оперативной памяти должен быть достаточным для размещения данных, соответствующих одному сбросу пучка. Решение задачи обработки данных также требует отдельного буфера в оперативной памяти из-за асинхронности процессов сбора и обработки.

Размер буфера, запрашиваемого проблемной программой, пропорционален размеру свободного участка памяти в разделе. Его можно менять на уровне директив оператора. В зависимости от условий эксперимента длина раздела, в котором функционирует комплекс программ, имеет размер от 210 до 240К. Это позволяет во втором разделе оперативной памяти проводить работы по обработке данных и созданию математического обеспечения /длина этого раздела 170 ÷ 140К байт/.

## СБОР, НАКОПЛЕНИЕ И ПЕРВИЧНЫЙ КОНТРОЛЬ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Сбор экспериментальных данных, относящихся к отдельному сбросу пучка, реализован средствами программы канала. Для этой цели аппаратно реализованы рутинные функции инициализации аппаратуры КАМАК, необходимые для сбора данных об отдельном событии. Указанный подход позволил исключить из процесса сбора данных потери, обусловленные временем работы операционной системы при обслуживании заявок на выполнение операций ввода-вывода. В результате подсистема сбора данных позволила обслуживать поток экспериментальной информации в условиях высокой частоты регистрации изучаемых взаимодействий /до  $4 \cdot 10^3$  взаимодействий/с/.

Достоверность полученной ЭВМ информации частично определяется с помощью первичного контроля всего объема поступающих данных. Такой контроль осуществляется согласно известному множеству последовательно применяемых критериев. В качестве примера можно привести реализованную проверку правильности получения наперед известных кодов /например, шахматных/. Это обеспечивает надежный контроль передающей аппаратуры.

Очень простым и эффективным оказался предложенный и реализованный критерий, контролирующий кратность длины получаемой информации длине отдельного события. С его помощью осуществляется проверка корректности логики работы считывающей и передающей аппаратуры. Сочетание отмеченной эффективности с простотой реализации делают целесообразным использование такого критерия в подобных системах контроля достоверности полученных данных.

Информация, удовлетворяющая всем критериям, считается достоверной, записывается при необходимости на НМЛ и может служить входной для программ обработки. Если хоть один из множества критериев нарушен, данные бракуются, и экспериментатору посылается сообщение, детализирующее характер обнаруженного отказа.

## ОБРАБОТКА ДАННЫХ

Комплекс программ используется для обработки данных в режиме работы на линии (on-line) и в режиме обработки (off-line). В режиме обработки источником информации являются данные, записанные на магнитных лентах.

В процессе обработки данных производится контроль за качеством работы аппаратуры, построение различных статистических распределений, необходимых для оценок эффекта, определение характеристик фона и числа зарегистрированных полезных событий для различных сортов частиц.

Конечной целью обработки информации в реальном масштабе времени и при работе комплекса программ в режиме обработки является получение значений величины инвариантного дифференциального сечения рождения различных частиц  $/\pi^+, K^+, p, d, t, He^3, He^4, \bar{p}$  / в зависимости от их кинетической энергии, угла эмиссии, атомного номера ядра мишени, энергии и сорта налетающей частицы и описание результатов измерений различными видами функциональных зависимостей.

В соответствии с поставленными целями обработку можно условно разделить на четыре этапа:

- калибровочные измерения;
- технический уровень обработки;
- физический уровень обработки отдельной серии измерений;
- итоговая обработка данных и представление результатов.

В работе<sup>1/</sup> показано, что используемый в установке многомерный анализ позволяет проводить идентификацию частиц одного знака заряда одновременно в широком интервале скоростей  $/\beta > 0,16/$  в условиях большой фоновой загрузки регистрирующей аппаратуры с высокой степенью подавления фоновых частиц и случайных событий без потери эффективности регистрации. Принятое событие имеет фиксированный формат и содержит следующую информацию:

- время пролета T1 /база 4 м/;
- время пролета T2 /база 1 м/;
- время пролета T1' /позволяет получить распределение частиц, "потерянных" по T1 из-за старта случайным сигналом, опережающим рабочий/;
- ионизационные потери частицы в сцинтилляторах S2, S3, S4;
- интенсивность вспышки черенковского излучения в твердом радиаторе двух черенковских счетчиков;
- амплитуда черенковского излучения порогового газового черенковского счетчика;
- время пролета частицы между газовым черенковским счетчиком и сцинтиллятором S3 /T3/;
- шахматный код, необходимый для технического контроля передающей аппаратуры.

Совокупность величин  $\{T1, T2, T1', \Delta E_{S2}, \Delta E_{S3}, \Delta E_{S4}, I_{CV}, I_{CN}, I_{CD}, T3\}$  образует пространство событий. Область в пространстве событий задаем условием одновременного наблюдения значений координат события в заданных интервалах по каждой из координат, т.е.

$$T1 \in [T1_{min}, T1_{max}], T2 \in [T2_{min}, T2_{max}] \text{ и т.д.}$$

Организация программы многомерного анализа позволяет в процессе обработки данных выделять события в различных многомерных областях и строить одномерные и двумерные проекции содержимого этих областей на оси координат пространства событий. Анализ полученных распределений позволяет не только оценить число событий определенного сорта и статистические характерис-

тики спектров, но также оценить вклад случайных совпадений при больших нагрузках регистрирующей аппаратуры. Таким образом, эта процедура позволяет исследовать эффективность и достаточность применяемых критериев для анализа поступающей информации.

Методом выделения полезных событий является алгоритм  $\tau$ -критериев. Поясним суть этого метода на примере координаты  $r_2 = f(T_1, T_2)$ . Используя линейную связь времени пролета вторичных частиц на двух время-пролетных базах, запишем соотношение

$$r_2 = q \cdot T_1 - T_2 + h, \quad /2/$$

где  $q, h$  - константы, которые можно определить из анализа двумерного распределения  $(T_1, T_2)$ . События по этой координате распределены независимо от скорости регистрируемых частиц. Все события, не связанные со случайным сигналом счетчиков, имеют распределение по  $r_2$  с одним максимумом. Этот метод позволяет также наиболее простым способом делать оценки скоррелированного по скорости фона.

Программная реализация многомерного анализа событий и статистической обработки распределений выполнена с применением пакета программ HBOOK. Пакет HBOOK оформлен в виде библиотеки и сочетает гибкость и многообразие возможностей с эффективностью. Характерной особенностью этого пакета является динамическое распределение памяти для обрабатываемых распределений, возможность автоматической упаковки содержимого нескольких каналов распределения в одно слово. В составе пакета имеются программы арифметических операций со статистическими распределениями, фитирование и т.д.

Применение пакета HBOOK вместе с удобным диалоговым доступом экспериментатора к его подпрограммам и объектам позволяет эффективно решать задачи анализа информации как для отдельной серии измерений, так и для накопления необходимых суммарных распределений.

Кроме построения различных статистических объектов в результате многомерного анализа для каждого сорта частиц формируется "банк интегральных характеристик полезных событий". Эти объекты являются элементами системы динамического распределения памяти ZBOOK. Для каждого сорта частиц содержится информация о числе событий, эффективности границ по каждой из используемых координат, средней амплитуде распределения событий по каждой координате, о числе событий, восстановленных схемой T1'.

Программы заполнения "банка" оптимизированы по времени и позволяют между циклами ускорителя обрабатывать весь объем поступающей информации для всех сортов вторичных частиц, регистрируемых одновременно. После каждой серии измерений информация, содержащаяся в "банке", записывается на файл суммарных результатов, размещенный на диске.



## ИНИЦИАЛИЗАЦИЯ И ОПЕРАТИВНАЯ НАСТРОЙКА КОМПЛЕКСА ПРОГРАММ

На стадии инициализации выполняются операции, связанные с образованием структуры данных; присвоением переменным и константам начальных значений; подготовкой массивов, соответствующих статистическим распределениям; интерпретацией директив; представлением экспериментатору значений базисных параметров. По своему функциональному назначению эта стадия разделяется на инициализацию группы серий и инициализацию одной серии измерений.

Инициализация текущей серии измерений предназначена для ввода паспортных данных этой серии, а также подготовки необходимых для набора информации массивов. Создан программный аппарат автоматического контроля за правильностью действий оператора в стандартной ситуации при подготовке к очередной серии измерений. В случае некорректных действий на экран дисплея выводится сообщение об ошибке.

Инициализация группы серий предназначена для подготовки комплекса программ к работе с определенной конфигурацией установки и анализа информации исходя из физической задачи.

Как отмечалось выше, для контроля работы аппаратуры и хода эксперимента необходимо построение и вывод одномерных и двумерных статистических объектов. Отбор событий при статистической обработке экспериментальных данных происходит по следующему алгоритму:

- а/ Проверка варианта /отбор определенных значений номера мишени, угла эмиссии, импульса и знака заряда вторичных частиц/. Программа допускает построение распределений для пяти различных вариантов.
- б/ Проверка условий /амплитуда по каждой из координат события находится внутри заданного по этой координате интервала/. Для каждого варианта допускается задание до девяти условий.
- в/ Заполнение необходимых одномерных и двумерных распределений, относящихся к определенному варианту и определенным условиям.

Кроме задания вариантов, условий и идентификаторов необходимых статистических распределений при инициализации также задают условия для отбора событий в "банк интегральных характеристик".

Для ввода директив управления используется модифицированная программа FFREAD<sup>11/</sup>. Директива состоит из ключевого слова и набора параметров. В качестве параметров допускается использование целых и вещественных чисел, логических переменных и текстовых констант. Параметры директив вводятся в свободном формате.

При работе в реальном масштабе времени необходимо оперативно менять не только значения параметров, но и саму структуру обработки информации /число вариантов и условий, заказ новых распределений и т.д./. Для этого создан аппарат ввода директив с пульта оператора /см. следующий раздел/.

С точки зрения интерпретации директивы разделяются на два класса. К первому принадлежит директивы, для которых система интерпретации только преобразует значение параметров к нужному типу переменных. Для директив второго класса при интерпретации создаются соответствующие элементы в динамической структуре оперативной памяти, инициируются процессы вычисления требуемых значений параметров, планируется вывод необходимой оператору информации. Примером таких директив могут служить директивы заказа статистических объектов, определения условий для многомерного анализа и т.д.

Программа интерпретации директив построена таким образом, что при вводе новой структуры обработки сохраняются накопленные ранее и необходимые в дальнейшей работе распределения.

#### ОПЕРАТИВНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАТОРА С КОМПЛЕКСОМ ПРОГРАММ

Эффективное управление работой комплекса программ, контроль поступающей информации, анализ суммарных распределений невозможны без развитой системы диалога "экспериментатор-ЭВМ". Для решения этой задачи был создан проблемно-ориентированный язык управления <sup>3/</sup>, в котором директивы состоят из ключевого слова и некоторого множества параметров /включая параметры по умолчанию/. Вводимые директивы обрабатываются процессором анализа команд, обеспечивающим их лексический, синтаксический и семантический анализ. При благоприятном результате производится интерпретация директивы, в противном случае выводится сообщение об ошибке.

Ввод и обработка команд оператора оформлены в виде отдельной подзадачи. Она начинает работу при общем иницировании комплекса программ и завершает ее только при завершении других основных задач. Таким образом оператор имеет возможность в любой момент оказать допустимое управляющее воздействие на комплекс программ.

Подробное описание директив с различными примерами их применения содержатся в работе <sup>12/</sup>. Здесь мы отметим только основные моменты.

Для управляющего воздействия на комплекс программ созданы группы команд управления набором статистики, выводом информации, управлением накопителем на магнитной ленте, выводом диагностических сообщений, функционированием программ обработки. С помощью директив в процессе набора статистики можно

менять объем обработки, число и параметры распределений, условия для многомерного анализа, производить вывод накопленных таблиц и распределений, печать констант и параметров программы и т.д. Особенно интересным для данного комплекса программ является использование диалогового режима для анализа и представления результатов измерений. Основой этого режима является развитие диалоговых средств для использования следующих возможностей пакета HBOOK:

- размещение и заполнение статистических объектов /для занесения в гистограмму статистических ошибок, отличных от квадратного корня из суммы квадратов весов событий, используется программа HPAKE/;

- арифметические операции над объектами;

- аппроксимация статистических распределений различными функциями /в настоящее время используются экспонента, гауссоида и полином произвольной степени/;

- разнообразие способы представления распределений на печатающих устройствах;

- наложение различных функциональных зависимостей на полученные статистические экспериментальные распределения;

- размещение распределений на устройствах прямого доступа и последующее считывание их в оперативную память.

Развитая в работе система диалога позволяет не только активно управлять процессом обработки, но и автоматизировать представление результатов измерений, проводить анализ полученных результатов путем сравнения их с различными функциональными зависимостями и вычислить значения соответствующих параметров.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На базе ОС ЕС ЭВМ ЕС-1040 создан комплекс программ реального времени для установки ДИСК-2, состоящей из сцинтилляционных и черенковских счетчиков.

Комплекс программ обеспечивает эффективный сбор, накопление и обработку экспериментальных данных, высокую достоверность поступившей в ЭВМ информации на основе надежного контроля экспериментального оборудования, диагностирование и детализацию обнаруженных отказов аппаратуры.

Развитая в работе система диалога позволяет активно управлять процессом обработки и представления данных.

Рассмотренное в работе программное обеспечение позволило провести на синхрофазотроне ОИЯИ цикл экспериментов по исследованию кумулятивного рождения частиц.

Авторы выражают благодарность профессору Н.Н.Говоруну за полезные обсуждения и поддержку работы; Э.Штрайту, И.И.Евсикову и коллективу системных программистов, инженеров и опера-

торов, работающих на ЭВМ ЕС-1040 Лаборатории высоких энергий, за постоянную помощь; Л.Г.Ефимову, А.П.Крячко, Н.С.Мороз, В.М.Слепневу, А.Н.Хренову за участие в наладке связи аппаратуры КАМАК с ЭВМ; В.К.Бондареву, А.А. Повторейко, М.Пенця - за обсуждение алгоритма программ обработки данных; О.Ю.Кульпиной за помощь при подготовке работы к публикации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Аверичева Т.В. и др. ОИЯИ, 1-11317, Дубна, 1978.
2. Балашов В.К. и др. ОИЯИ, P10-11357, Дубна, 1978.
3. Говорун Н.Н. и др. ОИЯИ, P10-12968, Дубна, 1980.
4. Ставинский В.С. ЭЧАЯ, 1979, т.10, вып. 5.
5. Система математического обеспечения ЕС ЭВМ /под редакцией А.М.Ларионова/. "Статистика", М., 1974.
6. Операционная система ОС ЕС: справочное пособие /под редакцией Л.Д.Райкова/. "Статистика", М., 1980.
7. Лебедев В.Н., Соколов А.П. Введение в систему программирования ОС ЕС. "Статистика", М., 1978.
8. Ефимов Л.Г. и др. ОИЯИ, 10-80-224, Дубна, 1980.
9. Brun R., Ivanchenko I., Palazzi P. NBOOK, CERN, DD/77/9.
10. Brun R. et al. ZBOOK, CERN, DD/3/78/1.
11. Brun R. et al. FFREAD, CERN, EE/78/2.
12. Иванченко И.М. и др. ОИЯИ, Б2-10-81-716, Дубна, 1981.

Рукопись поступила в издательский отдел  
27 ноября 1981 года.