

Ц 840.1

И-231

**ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

**ЛАБОРАТОРИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ  
И АВТОМАТИЗАЦИИ**

**11-5745**

**И.М. Иванченко**

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ  
ЭКСПЕРИМЕНТОВ С БЕСФИЛЬМОВЫМИ  
ИСКРОВЫМИ СПЕКТРОМЕТРАМИ  
НА ЛИНИИ С ЭВМ**

**Специальность 01 008 - вычислительная  
математика**

**Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук**

Дубна, 1971 г.

Ц 840.1  
И-231

Работа выполнена в Лаборатории вычислительной техники и автоматизации Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель:

доктор физико-математических наук Н.Н.Говорун.

Официальные оппоненты:

член-корреспондент АН СССР В.А.Сидоров,

кандидат физико-математических наук П.Н.Заикин

Ведущее научно-исследовательское учреждение:

Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе

Автореферат разослан "\_\_\_" \_\_\_\_\_ 1971 г.

Защита диссертации состоится "\_\_\_" \_\_\_\_\_ 1971 г.

на заседании Ученого совета Лаборатории вычислительной техники и автоматизации в конференц-зале ЛТФ, ОИЯИ, г.Дубна, Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ СОВЕТА

Ю.В.КАТЫШЕВ

11-5745

И.М.Иванченко

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ  
ЭКСПЕРИМЕНТОВ С БЕСФИЛЬМОВЫМИ  
ИСКРОВЫМИ СПЕКТРОМЕТРАМИ  
НА ЛИНИИ С ЭВМ**

**Специальность 04 008 - вычислительная  
математика**

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА

Развитие экспериментальной физики связано с усложнением техники эксперимента и увеличением потока информации, что потребовало использования электронно-вычислительных машин для подготовки, проведения эксперимента и обработки полученной информации.

Первый этап широкого применения ЭВМ в экспериментальной физике высоких энергий связан с созданием систем обработки пленочной информации, получаемой с пузырьковых и искровых камер.

На втором этапе ЭВМ начинают включаться непосредственно в тракт регистрации экспериментальных данных, когда ЭВМ становится частью экспериментальной установки<sup>/1/</sup>. Такое применение ЭВМ в режиме *on-line* позволяет значительно сократить время проведения эксперимента, повысить эффективность использования основного экспериментального оборудования.

Данная работа посвящена вопросам применения вычислительных машин в *on-line*-экспериментах и, в основном, проблемам разработки и создания математического обеспечения экспериментов, в которых используются установки из беспленочных искровых камер. В работе рассматриваются вопросы общей организации и построения программ *on-line*-экспериментов, а также описываются системы математического обеспечения для конкретных экспериментов, проводимых на синхротроне ОИЯИ и протонном синхротроне ИФВЭ (г.Серпухов).

Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения.

В первой главе обсуждаются задачи, для решения которых применяются ЭВМ в *on-line*-экспериментах. Использование достаточно мощной ЭВМ на линии с экспериментальной установкой свело бы к минимуму разрыв во времени между проведением собственно эксперимента и завершением анализа с целью получения окончательного физического результата. Однако в большинстве экспериментов, где в проводимых исследованиях используется ЭВМ на линии с экспериментальным оборудованием, окончательная обработка реализуется на большой ЭВМ в режиме *off-line*. Круг же вопросов, для решения которых используется ЭВМ (обычно малая или средняя) в режиме непосредственной связи с экспериментальной установкой, включает в себя:

1. Проверку и отладку экспериментального оборудования перед началом эксперимента или его нового этапа.
2. Прием, фильтрацию, накопление в буферной памяти и запись на магнитную ленту экспериментальной информации.
3. Контроль за развитием эксперимента на основе экспресс-анализа входной информации.
4. Автоматическую корректировку отдельных параметров системы и управление экспериментальными установками.

Обсуждается каждая из указанных задач, рассматривается несколько наиболее распространенных способов использования больших ЭВМ для решения задачи контроля по физическому эффекту. Приводятся несколько характерных примеров систем, где ЭВМ применяется на линии с экспериментальным оборудованием.

Способы решения задач, сформулированных в первом разделе этой главы, структура математического обеспечения тесно связаны с логи-

ческими и информационными возможностями экспериментального оборудования и используемых средств вычислительной техники.

В последнем разделе главы рассмотрены логические и информационные возможности оборудования, используемого в цикле экспериментов (по исследованию  $\pi\rho$ -рассеяния и  $K^0$ -мезонов высоких энергий), на которые была ориентирована созданная система математического обеспечения.

Во второй главе приводится общая структурная схема системы математического обеспечения *on-line*-эксперимента и рассматриваются ее некоторые функциональные звенья. Работа ЭВМ при использовании ее на линии с экспериментальной аппаратурой организована в мультипрограммном режиме. Автоматическое распределение и динамическое перераспределение ресурсов ЭВМ (время центрального процессора, запоминающие устройства ЭВМ и т.п.) между программами реализуется при помощи подпрограммы диспетчер (см. рис. I). Программы, работающие при использовании ЭВМ на линии с экспериментальной аппаратурой, разделяются на два класса. К первому классу относится совокупность программ, которые обрабатывают информацию, источником которой является терминальная и измерительно-детектирующая аппаратура. Ко второму классу относится фоновая программа, которая может не иметь никакой связи с внешним источником информации. Программы первого класса на основе модульного принципа построения разделяются на несколько групп, имеющих различный приоритет. В рассматриваемой системе программы подразделяются на группы 3 приоритетов (уровней). При выборе уровня, на котором будет проходить программа, учитывается ее функциональное назначение. Основные функции программ 3 рассмотренных уровней следующие: обмен информацией с внешним объектом (высший приоритет), предварительная обработка и накопление экспери-

ментальных данных (первый приоритет), контроль оборудования (второй приоритет). Такая организация прохождения программы имеет ряд достоинств, которые обсуждаются в этой главе.

Интенсивность и распределение во времени потока входных данных имеют статистический характер. Это, как правило, приводит к необходимости резерва времени центрального процессора. В связи с этим был предусмотрен счет задач в режиме фоновой программы, что обеспечивает высокую эффективность использования центрального процессора при снижении интенсивности потока информации с внешнего объекта.

Принцип модульного построения программ применяется также при создании основных структурных компонент – программ 0, I и 2-го приоритетов. Для этого используется интерпретирующая система ИС-2. Эта система применяется для работы с библиотеками стандартных программ двух типов, хранящихся во вторичных запоминающих устройствах. Библиотека первого типа включает набор стандартных программ общего назначения. Библиотека второго типа (личная библиотека) включает набор подпрограмм, которые используются для конкретного эксперимента. В состав созданного математического обеспечения входит программа редактирования личной библиотеки подпрограмм. Редактирующая программа ведет изменение каталога библиотечных подпрограмм и размещением этих модулей во вторичных запоминающих устройствах.

В этой же главе подробно рассмотрены отдельные функциональные модули, предназначенные для сбора, фильтрации и накопления экспериментальных данных. Обсуждаются программы окончательной обработки для получения оценок параметров дифференциального сечения упругого  $\pi p$ -рассеяния.

Задача окончательной обработки формулируется следующим образом. Необходимо найти решение системы уравнений:

$$F_i^p = (1+q) \int_{t_i}^{t_{i+1}} \int_a^b f(t, \alpha_k) \varepsilon(t, \zeta) d\zeta dt$$

$$i = 1, 2, \dots, n.$$

Здесь  $F_i^p$  – измеренные значения дифференциального сечения с ошибками  $\sigma_i$ ;

$f(t, \alpha_k)$  – теоретическое выражение для этой функции, зависящее от неизвестных параметров  $\alpha_k$ , импульса и угла рассеяния пионов;

$\varepsilon(t, \zeta)$  – аппаратная функция, характеризующая угловое разрешение спектрометра ( $\int_a^b \varepsilon(t, \zeta) d\zeta = 1$ );

$q$  – нормировочный параметр с наиболее вероятным значением, равным нулю, и ошибкой  $\sigma_q$ .

Задача решается методом наименьших квадратов с применением метода линеаризации<sup>/22/</sup> для нахождения оценок искомых параметров.

Полученные при помощи этой методики значения фазы ядерной амплитуды упругого  $\pi p$ -рассеяния хорошо согласуются с расчетами по дисперсионным соотношениям<sup>/23/</sup>.

Третья глава посвящена вопросам контроля работы оборудования и связанной с этим проблеме взаимодействия человека и ЭВМ в процессе эксперимента. Возможность непрерывного контроля экспериментального оборудования на основе оперативного анализа вводимой информации является одним из основных достоинств измерительно-вычислительных систем. С целью контроля анализируются экспериментальные данные и специальная тест-информация. При этом определяются значения параметров, характеризующих работу комплекса аппаратуры в целом, а так-

же — отдельных звеньев системы. Большинство определяемых характеристик имеют статистическую природу. Оценки этих величин вычисляются по совокупности данных, проанализированных с начала некоторого этапа эксперимента, это так называемые итоговые характеристики, которые могут быть отпечатаны в любой момент по требованию экспериментатора. Предусмотрен и другой режим организации контроля. По мере поступления информации подготавливаются некоторые вспомогательные величины, например, таблицы статистического распределения. После накопления выборки заданного объема вычисляются, с учетом подготовленных величин, необходимые характеристики, а затем производится проверка: находятся ли указанные параметры в области допустимых значений. При невыполнении заданных требований (исследуемые значения находятся в критической области) экспериментатору автоматически выдается сообщение, в котором содержится информация о нарушении оптимального режима работы. В главе подробно рассмотрены вопросы контроля функционирования оборудования на примере двух конкретных установок /6,14/.

В рассматриваемых измерительно-вычислительных комплексах физик-экспериментатор выступает, как активное звено системы управления экспериментом. В этих условиях является весьма актуальной проблема оптимального взаимодействия экспериментатора с ЭВМ. В конце этой главы обсуждается логическая схема двусторонней связи человек-машина с использованием стандартных средств ввода-вывода ЭВМ и дистанционного пульта связи.

В четвертой главе обсуждаются алгоритмы для определения необходимых параметров бесфильмовых спектрометров. Вначале рассмотрены вопросы, касающиеся определения весьма общих характеристик установок, а в заключение приводится способ определения параметров, специфичных

для конкретных установок, используемых в экспериментах по исследованию  $\pi p$ -рассеяния и  $K^0$ -мезонов высоких энергий. Предложены алгоритмы для определения следующих величин: количественной характеристики случайных погрешностей при регистрации координат точек трека; параметров перехода от систем координат, связанных с отдельными искровыми камерами, в общую систему координат; эффективностей различных звеньев спектрометров. Анализируется область применения алгоритмов, на основании которых составлены программы для определения параметров бесфильмовых спектрометров. При разработке программ учитывалось то, что средства для автоматического распознавания треков и определения параметров установок в значительной мере перекрываются.

Одним из основных параметров экспериментальной установки является количественная оценка случайных погрешностей при определении величины угла рассеяния. Для однотрековой установки, используемой в экспериментах по исследованию  $\pi p$ -рассеяния, в качестве интегральной характеристики отклонений при определении угла рассеяния вычисляется мода релеевского закона распределения:

$$p(\theta) = \frac{\theta}{\alpha} \exp\left(-\frac{\theta^2}{2\alpha}\right).$$

В качестве критерия соответствия теоретической и эмпирической функции разрешения использовался критерий  $\chi^2/24$ .

В этой главе приводятся некоторые результаты расчетов для однотрековой установки и многотрекового искрового спектрометра, используемого при исследовании  $K^0$ -мезонов высоких энергий.

Алгоритмы для вычисления оценок параметров этой установки были отработаны с использованием языка ФОРТРАН на ЭВМ CDC-1604A, а затем применялись в программах, задействованных на ЭВМ, используемой на линии с экспериментальной аппаратурой.

Пятая глава посвящена вопросам программного обеспечения каналов двусторонней связи систем ЭВМ. Как известно, эффективное использование вычислительной техники для сбора, накопления и обработки экспериментальных данных достигается за счет специализации отдельных ЭВМ для решения конкретных задач в рамках общей проблемы. При этом основные функции высокопроизводительной ЭВМ - выполнение преобразований и расчетов, требующих большого количества операций на одно слово (элементарную единицу) входной информации. В функции вспомогательных машин входит решение задач ввода-вывода и предварительной обработки информации, предполагающей относительно простые действия с большими массивами информации. В этой главе обсуждаются принципы построения программ связи, обеспечивающих согласованную работу ЭВМ, и описываются алгоритмы и структура конкретных программ для систем машин (М-20-"Киев", М-20-"Минск-2", БЭСМ-4-"Минск-22", "Минск-22"-CDC-1604A), применяемых в течение ряда лет (1963-1970 г.г.) фактически во всех системах обработки экспериментальных данных в ОИЯИ.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты диссертации можно сформулировать следующим образом:

I. Разработано и реализовано математическое обеспечение измерительно-вычислительной системы, включающей ЭВМ БЭСМ-4 на линии с установкой из магнотриксционных искровых камер и дифференциальных черенковских счетчиков для экспериментов на синхрофазотроне ОИЯИ.

Основными функциональными звеньями комплекса программ, которые используются в процессе эксперимента, являются программы накопления информации и контроля аппаратуры. Работа ЭВМ организована при помощи управляющей программы-диспетчера, обеспечивающей автоматическое распределение ресурсов ЭВМ между программами различных приоритетов.

Рассматриваемая система используется на пилонном пучке синхрофазотрона ЛВЭ, начиная с 1966 года, в цикле экспериментов по исследованию Пр-рассеяния.

2. Разработаны алгоритмы для вычисления оценок параметров дифференциального сечения упругого Пр-рассеяния и составлены программы, используемые на заключительном этапе обработки экспериментальных данных, получаемых *on-line*-методикой.

В разработанных алгоритмах учитываются статистические флуктуации в числе зарегистрированных частиц, погрешности в определении количества вещества в мишени и рабочих эффективностей установки, а также конечное угловое разрешение спектрометра.

Вычисленные при помощи этих программ оценки параметров хорошо согласуются с расчетами по дисперсионным соотношениям, а также с данными Бруксхевенской лаборатории, полученными в другом диапазоне энергий.

3. Разработано и создано математическое обеспечение системы регистрации, накопления и анализа экспериментальных данных на базе бесфильмового многотрекового искрового спектрометра и ЭВМ БЭСМ-3М.

Характерными особенностями этой системы являются высокая интенсивность входной информации, многокомпонентность экспериментальной установки, регистрация событий в условиях большой фоновой загрузки. Эти особенности оказались существенными при разработке всех основных компонент математического обеспечения: программы фильтрации, сжатия и записи информации на магнитную ленту; программ контроля аппаратуры; управляющих и служебных программ.

Рассматриваемая система используется, начиная с 1969 года, в экспериментах по регенерации  $K_L^0 - K_S^0$ -мезонов при высоких энергиях на синхротроне ИФЭЭ (г.Серпухов).

4. Предложены алгоритмы и созданы программы для определения основных характеристик бесфильмовых искровых спектрометров. Среди возможных алгоритмов были реализованы те, которые хорошо сочетаются с методом глобального отбора точек, который использовался в программах автоматического распознавания прямолинейных треков.

5. Создано математическое обеспечение каналов двусторонней связи ЭВМ, на базе которых в ОИЯИ были разработаны системы сбора, накопления и обработки экспериментальных данных.

Основные результаты диссертации опубликованы в работах /2-21/, доложены на совещании по искровым камерам в Дубне (1966 г.), на совещании по математическим методам обработки экспериментальных данных в Дубне (1966, 1967, 1969 г.г.), на Симпозиуме по радиоэлектронике в Праге (1966 г.), представлены на XIV и XV международных конференциях по физике высоких энергий в Вене (1968 г.) и Киеве (1970 год), излагались автором в лекциях III школы физики ФТИ в Дуге,

I-й и II-й международных школ по применению ЭВМ в экспериментальной физике в Алуште (1968, 1970 г.г.), а также докладывались на международных конференциях по аппаратуре для физики высоких энергий в Стэнфорде (1966 г.) и Дубне (1970 г.).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. P.Zanella.  
CERN-REPORT, DD/DP/68/3, 1968
2. I.V.Chuvilo et al.  
Proc. Int. Conf. on Instrum. for High Energy Physics, Stanford, Sept. 1966.
3. И.М.Иванченко.  
Сообщение ОИЯИ 5-3263, с.107, Дубна, 1967.
4. I.V.Chuvilo et. al.  
Nucl. Instr. and Meth., 54, No.2, p.217, 1967.
5. Н.Н.Говорун, И.М.Иванченко.  
Сообщение ОИЯИ 10-3357, Дубна, 1967.
6. А.С.Гаврилов и др.  
ПТЭ, № 5, с. 151, 1967.
7. Н.Н.Говорун, И.М.Иванченко.  
Сообщение ОИЯИ P10-3652, Дубна, 1967.
8. И.М.Иванченко.  
Материалы 3 школы физики ФТИ, с.493, Л., 1968.
9. И.М.Иванченко.  
Депонированная публикация ОИЯИ Б1-10-4399, Дубна, 1969.
10. Г.Г.Воробьев и др.  
Сообщение ОИЯИ P1-4445, Дубна, 1969.
11. И.М.Иванченко.  
Материалы школы по использованию ЭВМ в экспериментальной физике. Сообщение ОИЯИ 10-5255, с. 179, Дубна, 1970.
12. А.И.Барановский и др.  
Депонированная публикация ОИЯИ Б1-10-4643, 1969.
13. Н.Н.Говорун, И.М.Иванченко, А.С.Чвыров.  
Сообщение ОИЯИ P5-5397, Дубна, 1970.



14. С.Г.Басиладзе и др.  
Сообщение ОИЯИ Р1-5361, Дубна, 1970.
15. И.М.Иванченко, Н.Н.Карпенко, Н.А.Невская, И.А.Савин,  
А.С.Чвыров, В.В.Кухтин.  
Депонированная публикация ОИЯИ Б1-10-5502, Дубна, 1970.
16. Н.Н.Говорун, И.М.Иванченко, В.Л.Пахомов, В.И.Первушов,  
Ю.В.Тутышкин, Б.П.Федосов.  
Сообщение ОИЯИ П1-3880, Дубна, 1968.
17. И.М.Иванченко, Н.А.Невская, В.Л.Пахомов, Е.Л.Сороко,  
Депонированная публикация ОИЯИ Б1-10-5503, Дубна, 1970.
18. А.Я.Астахов, Н.Н.Говорун, И.М.Иванченко, Г.М.Кадыков,  
З.В.Лысенко, В.В.Федорин.  
Сообщение ОИЯИ 2914, Дубна, 1966.
19. И.М.Иванченко, А.П.Кретов, Н.Н.Морозова, О.К.Нефедьев.  
Сообщение ОИЯИ П1-4078, Дубна, 1968.
20. Н.Н.Говорун, А.И.Ефимова, И.М.Иванченко, А.А.Карлов,  
З.В.Лысенко.  
Сообщение ОИЯИ П1-4366, Дубна, 1969.
21. Н.Н.Говорун, И.М.Иванченко, И.И.Шелонцев.  
Препринт ОИЯИ 10-4618, Дубна, 1969. ПТЭ, № 6, с.208, 1969.
22. С.Н.Соколов, И.Н.Силин.  
Препринт ОИЯИ Д-810, Дубна, 1961.
23. В.С.Барашенков, В.Д.Тонеев.  
Препринт ОИЯИ Р2-3850, Дубна, 1968.
24. Н.В.Смирнов, И.В.Дунин-Барковский.  
Краткий курс математической статистики для технических приложений. Физматгиз, М., 1959.

Рукопись поступила в издательский отдел  
9 апреля 1971 года.

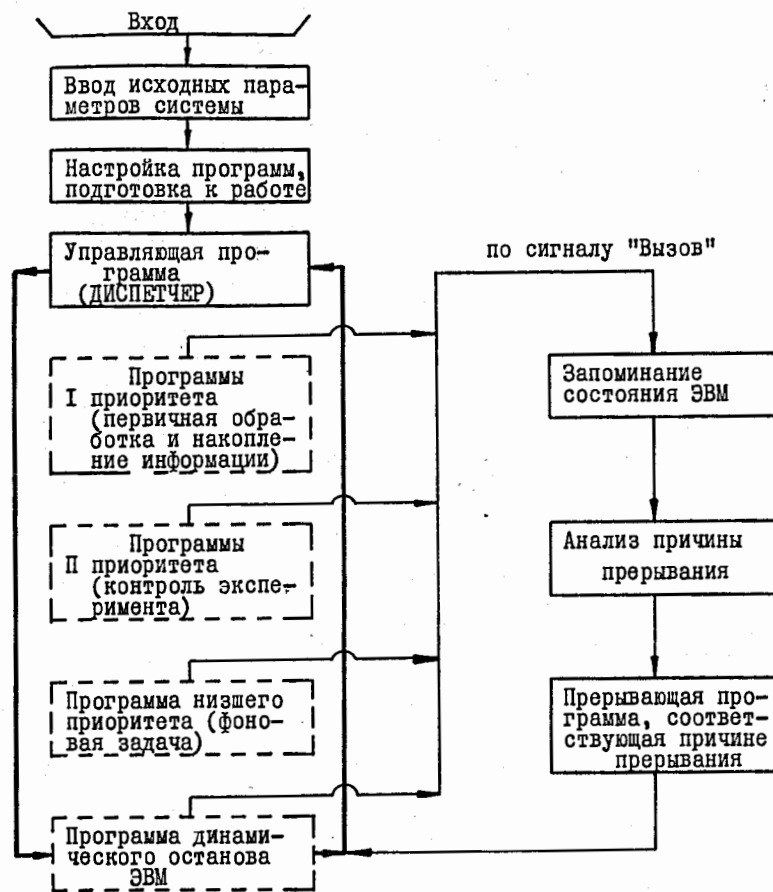


Рис. 1. Организация программного обеспечения при работе ЭВМ на линии с экспериментальной аппаратурой.

(Блоки, работающие с блокировкой прерывания, показаны сплошной линией).