

Ц 845

З-123

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

1834



ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ

Г.И. Забиякин

МНОГОКАНАЛЬНЫЕ ЦИФРОВЫЕ  
РЕГИСТРИРУЮЩИЕ УСТРОЙСТВА  
И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ  
ДЛЯ НАКОПЛЕНИЯ И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ  
ФИЗИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

(ЦВМ и измерительные центры)

1964

4845  
3-123

1884

Г.И. Забнякин

МНОГОКАНАЛЬНЫЕ ЦИФРОВЫЕ  
РЕГИСТРИРУЮЩИЕ УСТРОЙСТВА  
И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ  
ДЛЯ НАКОПЛЕНИЯ И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ  
ФИЗИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА  
(ЦВМ и измерительные центры)

2761/1 нр.

Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА

За последние годы наряду с совершенствованием многоканальных анализаторов, развитие которых должно быть рассмотрено отдельно, наметились тенденции в применении цифровых вычислительных машин (ЦВМ) непосредственно в реальном времени проведения эксперимента для набора и обработки экспериментальных данных, а также в создании специализированных комплексов электронного оборудования для одновременного проведения многоканальных измерений в нескольких независимых экспериментах.

Такой подход к задачам экспериментальных измерений обусловлен прежде всего экономическими соображениями. Стоимость экспериментальных установок (ускоритель, реактор) и их эксплуатация достаточно высоки, вследствие чего оправдано применение комплексного оборудования для регистрации и обработки экспериментальных данных. Комплексное оборудование, кроме того, позволяет вести эксперименты более широким фронтом, что в целом ряде случаев бывает необходимо для разрешения исследуемой проблемы. Например, проводить последовательные измерения отдельных связанных между собой параметров (одномерный анализ) иногда просто невозможно из-за неизбежных нестабильностей работы экспериментального оборудования и флуктуаций источников частиц. Отсюда вытекает необходимость многомерного анализа, охватывающего сразу несколько параметров исследуемого явления.

Большой объем экспериментальных данных от многоканальных и особенно многомерных анализаторов и зачастую сложная их математическая обработка<sup>1/1</sup> потребовали применения универсальных вычислительных машин для обработки результатов измерений. Такая обработка данных эксперимента или его определенного этапа, предусматривающая транспортировку носителя информации (перфолента, магнитная лента и т.д.) и ввод этой информации в машину, неизбежно связана с задержкой (часы, дни) получения обработанных данных. Возникают определенные затруднения в использовании этих результатов непосредственно для коррекции хода данного эксперимента. В связи с этим появляются стремления "приблизить" используемую вычислительную машину к эксперименту или даже включить ее непосредственно в эксперимент для обработки и регистрации данных в реальном времени проведения измерений (см - Приложение).

Таким образом, экономические соображения, необходимость комплексных многопараметровых измерений, наконец, неизбежное использование универсальных вычислительных машин на определенных этапах эксперимента явились теми факторами, которые определили развитие многоканальных регистрирующих устройств в направлении более непосредственного использования вычислительных машин в задачах измерений и создания

целых комплексов для регистрации и обработки информации - измерительных центров.

Применение ЦВМ для регистрации и обработки экспериментальных данных и создание измерительных центров, включающих в себя машины или предусматривающих непосредственную электрическую связь с ними, происходит настолько быстро, что последние 2-3 года дали уже несколько направлений использования машин и создания центров. В СССР тенденции создания измерительных комплексов и связь этих комплексов с вычислительными машинами наметились на 5-й научно-технической конференции по ядерной электронике (Москва, 1961 г.)<sup>/2,3/</sup>. Впервые вопросы непосредственного использования ЦВМ в режиме анализатора широко обсуждались на конференции по применению многопараметровых анализаторов в ядерной физике (Нью-Йорк, 1962 г.)<sup>/4-8/</sup>. Этим же вопросам, а также вопросам создания измерительных центров был посвящен ряд заседаний симпозиумов по электронике в Париже, Будапеште и на 6-й конференции по ядерной электронике в Москве (1963 г.)<sup>/9-14/</sup>. Можно заметить, что в настоящее время, как и 10-15 лет назад, техника вычислительных машин вторично наталкивает экспериментальную физику на мысль о существенном пересмотре методических вопросов по набору экспериментальной информации.

Возможность использования ЦВМ для задач многоканального анализа возникла также в связи с тем, что стоимость сложного анализатора с ферритовой "памятью" на несколько тысяч каналов стала приближаться к стоимости вычислительных машин с аналогичным объемом "памяти".

С другой стороны, более мощная по сравнению с анализаторостроением промышленность цифровых вычислительных машин наряду с высокоорганизованными универсальными машинами имеет в своем ассортименте малые вычислительные машины. Можно ожидать, что стоимость этих малых ЦВМ не будет так быстро расти, как стоимость многоканальных анализаторов<sup>/8/</sup>. Эти два направления - усложнение анализаторов и доступность малых вычислительных машин - вызвали естественную постановку вопроса о возможной замене в физическом эксперименте крупного анализатора малой универсальной вычислительной машиной. Различие этих однотипных по существу устройств относится прежде всего к программированию логических операций - фиксированная ("защитная") программа у анализаторов и "запоминаемая" программа у машины.

### 1. ЦВМ как автономный анализатор

Современная малая вычислительная машина, которая способна принимать цифровую информацию и обладает достаточным объемом памяти, может практически без дополнительных реконструкций использоваться в качестве многоканального анализатора. Однако относительно высокая стоимость делает целесообразным такое применение лишь для

задач анализа с несколькими тысячами каналов анализируемого спектра.

В качестве иллюстрации применения коммерческой вычислительной машины приведем блок-схему многомерной регистрирующей системы (рис. 1), составленную по материалам работ <sup>/7,11,17-19/</sup>. Блок-схема такой системы напоминает по структуре схему обычного многомерного анализатора с фиксированной программой. В качестве основной "памяти" в этом случае используется оперативная ферритовая "память" самой машины. Емкость "памяти" машин, используемых для таких задач, составляет 4-10 тысяч слов. Длина слова колеблется от 12 до 24 бит. Некоторые из этих машин достаточно быстродействующие, цикл обращения к "памяти" у них занимает несколько миксек. В зависимости от комплекта устройств стоимость таких машин лежит в пределах 50-150 тысяч долларов (характеристики некоторых ЦВМ приведены в таблице <sup>/30,18/</sup>).

Программа работы ЦВМ по накоплению информации в своей "памяти" в общих чертах аналогична работе анализатора. Информация об исследуемом событии в виде числового кода поступает от блоков преобразования аналоговой величины и накапливается в "памяти" машины. Использование оперативной "памяти" машины позволяет, как и в анализаторах, проводить поканальную сортировку поступающих кодов.

Требования, предъявляемые к блокам аналого-цифрового преобразования, аналогичны требованиям к анализаторным блокам. Эти блоки (обычно параллельным кодом) передают информацию на входной регистр машины. Согласование этих двух типовых, однако различных по своему прямому назначению устройств (входных блоков анализаторов и ЦВМ) требует несложного дополнительного оборудования (типа ключей, формирователей и т.д. <sup>/19/</sup>).

Наиболее характерной задачей, решаемой с помощью ЦВМ, является двухмерный анализ амплитуда - амплитуда. Два блока преобразования амплитуды в код совместно с дополнительными схемами отбора и совпадений обеспечивают кодирование и предварительный отбор совпадающих событий (в работах <sup>/18,11/</sup> были применены преобразователи на 256 каналов, использующие принцип Вилкинсона). После окончания преобразования в машину посылается сигнал, по которому ЦВМ подготавливает входные регистры для приема кодов. Если общая длина слова больше числа разрядов адресного регистра машины, то коды от одного и другого блоков преобразования принимаются последовательно. Дальнейшие операции поканального накопления, т.е. добавление единицы в канал с заданным адресом, происходит в соответствии с программой, заданной машине.

Аналогичным образом работает ЦВМ и в других случаях многомерного анализа (амплитуда - угол или время - амплитуда и т.д.). Коды, соответствующие исследуемым событиям, от блоков преобразования поступают на вход и являются для ЦВМ адресом канала, в котором это событие должно регистрироваться <sup>/19/</sup>.

Прямая регистрация поступающей информации и ее поканальная сортировка в оперативной "памяти" машины возможна, если общее число каналов не превышает числа адресов "памяти". Однако для задач амплитуда-амплитудного анализа с 256х256 каналами потребовалась бы "память" с 64 тысячами адресов, что намного превышает емкость оперативной "памяти" применяемых в настоящее время малых ЦВМ. В связи с этим поканальная сортировка проводится не для всего многомерного спектра, а лишь для его части. Программным путем можно выделить границы интересующих участков спектра, внутри которых машина будет проводить многомерный анализ. В работе<sup>/11/</sup> при исследовании трансураниевых изотопов методами двухмерного анализа (амплитуда-амплитуда) поканальная сортировка проводилась лишь для 16х256 каналов. Остальная информация, не попавшая в эту группу каналов, не регистрировалась.

Помимо интегральной регистрации, программа машины может предусматривать запись поступающих кодов на магнитную ленту<sup>/11,17,18/</sup>, перфоленту<sup>/7/</sup> или перфокарты и т.д. Эти режимы имеют свою специфику и будут более подробно рассмотрены несколько ниже.

Характерно, что время, требуемое для записи информации об одном событии в "память" машины несколько больше (170 мксек в<sup>/8/</sup>), чем у обычных анализаторов с фиксированной программой, у которых это время может быть сокращено приблизительно до времени обращения к "памяти" (10 + 20 мксек). В случае "запоминаемой" программы, помимо операции добавления единицы по выбранному адресу (каналу), которая сама по себе в машине требует большего времени, необходимо время на выбор и передачу программ.

При регистрации статистически поступающей информации, как и в анализаторной технике, в ЦВМ возможно применение различных блоков предварительного запоминания кодов. В простейшем случае входной регистр самой машины, используемый для запоминания цифровой информации от кодировщиков, выполняет фактически разравнивающего устройства<sup>/19,11/</sup>.

Примером применения специального дополнительного устройства промежуточной "памяти" может служить система, описанная в<sup>/17,20/</sup>. Коды от блоков преобразования (общей длиной до 26 разрядов) поступают на один из быстрых регистров предварительного запоминания А,В,С (рис. 2). Кроме того, имеется еще два блока предварительной памяти с запоминанием до 26 слов. Информация в эти блоки записывается поочередно, сначала в один, а затем, когда он заполнится, - в другой. При этом из первого происходит перезапись кодов в машину. Время, требуемое на перезапись из одного блока, равно 1600 мксек (80 мксек на каждое слово). Однако совместная работа с быстрой промежуточной памятью (А,В,С) позволит, по мнению авторов, регистрировать отдельные события с интервалом 15 мксек.

Таким образом, применение малой универсальной вычислительной машины не выдвигает существенно новых вопросов в конструировании входных блоков многомерного анализа и промежуточной "памяти" при регистрации статистических процессов.

#### А) Многомерный анализ на десятки и сотни тысяч каналов

Так как оперативная память обычно используемых машин не превышает нескольких тысяч слов (каналов), то применение малых вычислительных машин не решает по существу задач поканальной сортировки событий во время набора информации при десятках и сотнях тысяч каналов. Увеличение емкости запоминающего устройства до такого объема не оправдано прежде всего по экономическим соображениям, так как фактически оно равноценно постановке вопроса о применении вычислительных машин более высокого класса.

В некоторых случаях увеличение числа каналов анализа может быть проведено за счет уменьшения емкости каналов. Программным путем можно менять емкость каналов, отводя для регистрации новые участки "памяти" по мере накопления информации. В этом случае в "памяти" машины не фиксируются адреса каналов и число разрядов, отводимых для набора информации в каналах. Адрес так же, как и число событий, зарегистрированное в нем, заносится в свободные ячейки "памяти". При этом каналам с большим количеством событий отводится большее число разрядов. Увеличение числа разрядов соответствующих каналов производится ЦВМ по специальной программе в процессе набора информации. Такой способ записи поканальной информации наиболее эффективен при регистрации спектров с резко выраженными пиками /17,20,18/.

Если в экспериментах с двумя исследуемыми параметрами можно в определенной степени дискутировать вопрос о целесообразности применения поканальной сортировки во время поступления информации, то для анализа с тремя и более параметрами (например,  $256 \times 256 \times 256$  /7/) вопрос в пользу применения записи кодов на магнитную ленту решается на сегодняшнем этапе развития техники ЦВМ однозначно. В этом случае запись на ленту не имеет себе конкурентов. Многомерный анализ с числом каналов, превышающим емкость оперативной "памяти" машины, производится путем записи событий на магнитную ленту без интегрирования всей информации по каналам /7,11,17,18/. Оперативная память машины используется в этом случае как дополнительное или промежуточное устройство накопления адресов, характеризующих исследуемое событие. Коды предварительно накапливаются в "памяти", а затем записываются на ленту целым массивом чисел с тем, чтобы сократить непроизводительный расход времени и ленты на ее разгон и остановку. Запись производится стандартным машинным кодом (по нескольким дорожкам) обычно с дополнительным контрольным считыванием. Записанная информация пригодна не только для обратного ввода в машину, но, как правило, предусматривает и возможность переноса ленты для использования на других ЦВМ.

При таком способе записи информации на ленту нет необходимости использовать весь объем оперативной "памяти" машины для промежуточного накопления кодов (хотя такой режим не исключается). Обычно для этого отводится 300-1000 слов (каналов) оперативной "памяти". Другая, большая часть "памяти" машины может использоваться для поканального накопления спектров в укрупненном масштабе либо для отдельных наиболее интересных частей спектра. Укрупненный масштаб образуется путем объединения нескольких соседних каналов в один и так же, как границы участков спектра, задается программой работы машины.

В отдельных случаях при небольших входных нагрузках запись на ленту может происходить и без предварительного накопления<sup>/18/</sup>. Время, требуемое для записи на ленту информации об одном событии и фиксации этой информации в укрупненном масштабе в оперативной "памяти" машины, составляет несколько сотен мксек. Это время фактически будет "мертвым" временем, определяющим скорость поступления информации. Накопленная в оперативной памяти укрупненная информация может использоваться для предварительной математической обработки в самой машине. Полная обработка всего многомерного спектра требует многократного считывания информации с ленты и поканальной ее сортировки в оперативной "памяти" машины.

#### Б) Устройство вывода

Для вывода и визуального представления информации при использовании ЦВМ в режиме анализатора широко применяются собственные внешние устройства ЦВМ (цифропечать, перфоратор, магнитная лента и др.), а также устройства, заимствованные из аналитической техники.

Электронно-лучевая трубка (ЭЛТ) является наиболее распространенным устройством представления результатов. Программным путем можно задать линейное или точечно-растровое изображение зарегистрированных спектров, изобразить их в изометрии или вывести информацию в заданных интервалах и т.д. Преобразование цифровых данных в управляющие напряжения трубки осуществляется обычно дополнительными схемами, а в качестве блоков визуального представления используются промышленные осциллографы. В некоторых случаях для того, чтобы уменьшать время работы ЦВМ на вывод информации, к машине добавляют специальные блоки, воспринимающие код от машины и обеспечивающие автономное управление трубкой<sup>/11/</sup>.

Новые возможности открываются при использовании "светового карандаша"<sup>/5,10/</sup>. "Световой карандаш" представляет собой светочувствительный элемент, электрически связанный с ЦВМ. Расположенный перед экраном электронно-лучевой трубки, он посылает сигнал в ЦВМ в момент, когда происходит подсвет той точки экрана, на которую он направлен. Таким образом можно с помощью "карандаша" задавать ЦВМ различные



интересующие экспериментатора адресные координаты или границы участков спектра с тем, чтобы получить от машины ответ о содержимом выбранного канала или о площади участка спектра и т.д.

На рис. 3 приведена фотография трубки со световым карандашом <sup>4/10/</sup>. На экране видны цифры, дополнительно характеризующие выбранный канал.

Использование электронно-лучевой трубки вместе с ЦВМ открывает еще одну возможность визуального контроля и оценки результатов измерения путем сравнения их с теоретическими предпосылками. В одном из таких применений <sup>/21/</sup> 5-дюймовая электронно-лучевая трубка использовалась с машиной SDS -910 и могла в изометрической то-чечно-растровой форме представлять на экране как теоретические, так и экспериментальные результаты. В работе проводились исследования ядерных взаимодействий с распадом на три частицы. Если изобразить число событий как функцию двух энергий, все события для данной реакции будут располагаться на одной узкой кривой. На фотографии рис. 4 показаны экспериментальные результаты для реакции  $D + P \rightarrow P + P + N$  (слева), а также теоретически подсчитанные границы области, в которой ожидалась регистрация (справа). С помощью машины можно задать дополнительные зависимости (например, отклонение по оси Z, пропорциональное числу, зарегистрированному в данном канале, может быть дополнительным наглядным представлением результатов измерения).

Другим специфичным устройством, расширяющим "контакт" между экспериментатором и ЦВМ, является устройство ввода - вывода с печатающей машинкой <sup>/10,22/</sup>. Клавиатура такой машинки электрически связана с ЦВМ. Одновременно с печатью букв и цифр машинка может посылать в соответствующем коде команды в машину или печатать информацию из машины. Таким образом на специфичном "языке" может осуществляться "разговор" между экспериментатором и ЦВМ.

## В) П р о г р а м м и р о в а н и е

В устройствах с "запоминаемой" программой все операции, даже самые простейшие, осуществляются с помощью программ, хранимых в "памяти" машины. Программы должны предварительно составляться, обрабатываться на ЦВМ и заноситься в "память". Составление новых программ работы ЦВМ требует определенной затраты труда экспериментатора, при этом трудности по составлению и отладке сложных программ могут потребовать значительных затрат времени как самого составителя, так и работы машины. Программная работа ЦВМ, с одной стороны, открывает определенные возможности более гибкого и разностороннего использования машины в режиме набора и обработки информации, с другой стороны, требует от лиц, работающих с такими системами, освоения программирования. Последнее является не менее существенной особен-

ностью использования машины и вызывает определенные требования к квалификации физика-экспериментатора.

Программное управление ЦВМ открывает широкую возможность по быстрой смене программ работы машины, практически отсутствующую в анализаторах с фиксированной программой. Режим прерывания одной программы и переход на другую позволяет более эффективно использовать машину для одновременного проведения задач накопления, отбора поступающей информации, представления результатов и др. Программой может быть предусмотрено выполнение, например, заданного числа тактов работы машины над одной операцией, затем определенного числа тактов над другой, потом снова над первой и т.д. Кроме того, режим прерывания позволяет использовать одну ЦВМ одновременно для регистрации информации от нескольких экспериментальных задач (более подробно этот вопрос будет разобран ниже).

Для большинства ЦВМ имеется возможность установить определенный "приоритет" программ, когда программа с большим "приоритетом" прерывает работу программ с меньшим "приоритетом". Это позволяет установить определенную очередность обращения к машине так, что задачам, которые требуют более быстрой обработки, отводится преимущественное право использования машины. Например, прием информации об исследуемом явлении может иметь больший "приоритет" перед режимом вывода на трубку. Если поступает сигнал о том, что нужно принять информацию, машина прерывает программу вывода, выполняет операции по приему, а затем снова продолжает программу вывода.

Однажды составленные программы могут использоваться и для других задач. Возникают возможности составления библиотек программ и обмена программами между машинами. Однако программное управление в своих возможностях не беспредельно, поскольку на выполнение каждой программы требуется определенное время (определенное число тактов работы машины). Возможность сочетания различных программ определяется прежде всего бюджетом времени, необходимого для их выполнения. Для характеристики приведем некоторые цифры, определяющие время работы ЦВМ, требуемое для выполнения типовых программ многомерного анализа <sup>/Б/</sup>. Наиболее длительной из стандартных программ является программа изображения спектров. По этой программе последовательно спрашивается определенная группа или все каналы, содержимое которых преобразуется в величину отклоняющего напряжения электронно-лучевой трубки. Второй координатой служит напряжение, пропорциональное адресу канала. Для вывода 4096 каналов требуется примерно 120 мсек. Если эта программа прерывается, например, если она выполняется одновременно с программой набора, то время вывода всех каналов, естественно, увеличивается.

Программа набора данных, включающая прием кодов и регистрацию их в памяти машины, составляет для большинства применяемых машин  $100 \div 170$  мсек. В отдельных

случаях, когда ожидаются большие загрузки экспериментальной информации, время регистрации данных может быть несколько сокращено путем фиксации одной укороченной программы. Другие программы в этом случае исключаются. В работе <sup>19/</sup> в таком режиме входные блоки могли принимать новую информацию уже через 70 мксек.

Различные тестовые программы и программы управления обычно невелики по объему и занимают относительно небольшое время. Для каждого тестового включения требуется около 32 мксек, так что программа из 15 таких тестов потребует около 480 мксек (т.е. 1/260 времени, требуемого на программу изображения).

Программа записи на ленту из оперативной "памяти" составляет около 130 мксек на одно событие. Другие операции на запоминающие укрупненной информации в оперативной "памяти" требуют еще ~ 100 мксек.

Следует подчеркнуть, что программы всех проводимых на машине операций должны храниться в ее оперативной памяти. Занесение дополнительной информации, которая может быть также использована в процессе регистрации спектров (например, теоретически подсчитанные спектры, с которыми сравниваются экспериментальные результаты) также должны храниться в оперативной памяти. Это приводит к тому, что при использовании ЦВМ в таких разносторонних режимах работы для хранения измеряемых спектров может быть использовано только около половины общего объема оперативной "памяти".

Из приведенных примеров видно, что использование малых ЦВМ для задач многомерного анализа несколько уменьшает быстродействие регистрирующей системы по сравнению с анализаторами с фиксированной программой. Выполнение одновременно с набором данных других программ (вывод, контрольные оценки и т.д.) также требует времени и, следовательно, может привести к еще большему замедлению набора информации. Регистрация 100-200 событий в секунду при анализе и параллельном выполнении некоторых программ представления результатов является, вероятно, предельной скоростью для таких систем. Переход к более быстрым ЦВМ может, естественно, повысить эти пределы.

### Г) ЦВМ с функциями управления

Более разносторонние возможности в вопросах регистрации и обработки экспериментальной информации, а также возможности использования ЦВМ для целей управления экспериментом в большей степени, чем в случае применения анализаторов, выдвигают требования комплексного подхода к оценке применяемого оборудования. ЦВМ становится частью экспериментальной системы, в которую включаются ускоритель (реактор), детекторы с электронным оборудованием, вычислительная машина и цепи управления и контроля, связывающие все эти основные звенья. Интересен в этом отношении

проект Индианского университета (США) /8/, который предусматривает включение относительно быстродействующей машины РВ-440 в измерительный комплекс для ядерных исследований на циклотроне (рис. 8). Предполагается, что эта система будет выполнена с избытком оборудования, так что сложные эксперименты могут потребовать использования всего оборудования, а более простые, которые могли бы не требовать всей системы, будут выполнены более эффективно и точно. ЦВМ, используемая в режиме многомерного анализа, будет способна также непосредственно управлять положением детекторов (заряженных частиц и  $\gamma$ -лучей), так что каждый из них может занимать почти любое положение на сфере камеры. По оценке авторов, для достаточно комплексного эксперимента потребуются измерять, по меньшей мере, восемь параметров. В связи с этим хотя машина предназначена прежде всего для простых оценок, она должна обладать высоким быстродействием. Весь комплекс будет включать в себя быструю память с 512 каналами на бинаксах, 3 блока памяти по 4096 слов, 2-3 устройства магнитной записи, 3 катодно-лучевых индикатора и другое оборудование управления информацией и ее вывода.

Подводя итог рассмотрению различных возможностей ЦВМ в режиме многоканального анализа, можно отметить некоторые особенности таких систем по сравнению с анализаторами с фиксированной программой /25,28/.

1. ЦВМ является аппаратурой с более разносторонними функциями. Это обусловлено более широкими возможностями программирования работы ЦВМ. Машина совместно с блоками преобразования может являться одновременно амплитудным или временным анализатором, устройством записи на магнитную ленту, сортировщиком информации с ленты, устройством обработки и т.д. Одновременно с этим программой могут быть заданы режимы представления результатов и функции управления экспериментальным оборудованием.

2. Широкие возможности при использовании малых ЦВМ появляются в отношении установления более тесного "контакта" экспериментатора с экспериментом и осознанном с помощью машины воздействии человека на ход эксперимента в целях наиболее благоприятного его проведения. "Световой карандаш", как и печатающие устройства ввода-вывода, являются удобными каналами "разговора" экспериментатора с машиной, причем разговор, удобное и понятное для обеих. Кроме того, ЦВМ в силу своих более широких счетных возможностей и более разнообразных способов представления результатов открывает дополнительные формы непосредственного сравнения экспериментальных результатов с теоретическими предположениями.

3. Применение ЦВМ непосредственно в эксперименте позволяет не только выделять для регистрации данные, которые представляют интерес, и таким образом сократить объем регистрируемой информации, но и проводить текущую обработку регист-

прируемых данных с тем, чтобы с нужной достоверностью контролировать эксперимент. Текущая оценка хода эксперимента бывает особенно важна, например, когда эксперимент является уникальным или когда эксперимент продолжается длительное время, так что его повторение из-за невыявленной ошибки может оказаться затруднительным. Наконец, в целом ряде случаев экспериментальные результаты должны быть интерпретированы перед проведением следующего этапа измерений.

4. ЦВМ открывает дополнительные возможности в области автоматизации эксперимента. Обратная связь для управления экспериментом может осуществляться не только через человека, но и непосредственно от машины к экспериментальному оборудованию.

5. Важным преимуществом является также то, что ЦВМ наряду с регистрацией экспериментальной информации не теряет своих функций как универсальная вычислительная машина, способная проводить математические вычисления.

Наряду с достоинствами систем с ЦВМ можно отметить и некоторые их недостатки. Во-первых, анализаторы на основе ЦВМ являются, как правило, более медленными регистрирующими устройствами, нежели системы с фиксированной программой. Это обусловлено тем, что операции в ЦВМ выполняются по отдельным программным тактам. Во-вторых, системы анализа с малыми ЦВМ остаются более дорогими, чем анализаторы, предназначенные для конкретных целей. Это происходит прежде всего из-за включения в такие системы дополнительного оборудования, не занятого непосредственно в процессе регистрации информации, а используемого для обработки, представления результатов и т.д., т.е. в тех процессах, которые обуславливают отмеченные выше преимущества ЦВМ. В-третьих, использование ЦВМ в экспериментальных задачах требует программирования всех, даже самых простых операций. Это предъявляет дополнительные требования к научному персоналу, работающему с таким оборудованием, и не может не учитываться при постановке эксперимента. В некоторых случаях использование ЦВМ в сложном комплексе отбора или управления может оказаться даже нерациональным из-за сложности составления программ.

## 2. Измерительные центры

Многоканальные анализаторы на тысячи и десятки тысяч каналов и системы регистрации с ЦВМ представляют собой достаточно сложное и дорогое экспериментальное оборудование. Использование такого оборудования для одной экспериментальной работы в ряде случаев может оказаться экономически неоправданным. Это вытекает, во-первых, из того, что экспериментальные измерения, как правило, чередуются с обработкой результатов, подготовкой новых методик, а также проведением предварительных более

простых измерений. На некоторых из этих этапов большие регистрирующие системы могут не потребоваться. С другой стороны, в крупных физических лабораториях и на установках типа реактора или ускорителя имеется возможность проводить одновременно несколько экспериментов, требующих достаточно емких систем регистрации.

Создание комплекса оборудования, объединенного в измерительном центре, обеспечивающего регистрацию и обработку информации от нескольких одновременно проводимых экспериментов, позволяет более эффективно использовать оборудование, применяя его для различных задач, обойти ряд недостатков, присущих анализаторам с фиксированной и "запоминаемой" программой, наконец, открывает дополнительные возможности в проведении самих экспериментальных исследований.

Такой подход к задачам измерений накладывает определенный отпечаток как на конструкцию аппаратуры, так и на организационные стороны проведения экспериментов. Последнее выражается прежде всего в том, что наличие широкого комплекса электронной регистрирующей аппаратуры определяет подготовку самого физического эксперимента. И методика проведения, и новое дополнительное оборудование создаются с учетом имеющихся методов накопления, сортировки информации и передачи ее на ЦВМ.

Измерительные центры можно характеризовать как дальнейшие шаги в "обобществлении" все расширяющегося и усложняющегося экспериментального оборудования. Первым шагом в этом направлении явился в свое время переход от задач, в которых весь эксперимент (включая источник излучения и регистрирующую аппаратуру) был "собственностью" одной группы, к экспериментам на больших ускорителях (реакторах), где экспериментатор со своим экспериментальным оборудованием использует выделяемый ему на определенное время пучок частиц. Вторым этапом в этом процессе явилось внедрение вычислительных машин для проведения математической обработки результатов эксперимента. Время использования этих машин также распределяется между разными экспериментальными группами. Наконец, объединение электронных устройств накопления и текущей обработки информации в измерительные центры явилось третьим шагом. У экспериментатора в "собственности" продолжают оставаться детекторы частиц и связанная с ними электроника. Однако можно ожидать наступления нового этапа — когда это оборудование вырастет настолько, что будет целесообразным его объединение и создание комплексов для решения целого круга задач определенной области физики.

Среди разнообразия путей создания аппаратуры измерительных центров, приспособленных для конкретных условий той или иной лаборатории, можно, однако, выделить три характерных направления:

- измерительные центры на базе устройств с фиксированной программой,
- измерительные центры на основе ЦВМ и

- комбинированные центры, включающие ЦВМ и устройства с фиксированной программой.

А) Измерительные центры на базе устройств с фиксированной программой

Основой измерительного центра, рассчитанного на прием и анализ экспериментальных данных от нескольких одновременно проводимых экспериментов, является "память". Емкость и вид памяти обычно выбираются с учетом специфики основных экспериментов, доступности того или иного вида "памяти", опыта работы лаборатории и т.д. Основные особенности таких измерительных центров можно рассмотреть на примере "лабораторного измерительного центра" (ЛИЦ), выполненного на основе устройств с ферритовой "памятью" и магнитной лентой<sup>/14/</sup>. Устройства с ферритовой "памятью" представляют собой по существу автономные магнитные оперативные запоминающие устройства (МОЗУ) многоканальных анализаторов с фиксированной программой добавления единицы в канал с заданными адресами. Число каналов в отдельном МОЗУ колеблется от 256 до 2048, емкость каналов -  $2^{18}$ . Суммарное число каналов всех таких устройств "памятей" составляет примерно 8000. Измерительный центр создавался этапами (начиная примерно с 1960 года), так что наряду с полупроводниковыми в нем используются и ламповые блоки.

Помимо ферритовой "памяти", измерительный центр включает в себя также устройство с магнитной лентой для проведения многомерных измерений<sup>/24/</sup>. Обработка информации с ленты производится с помощью одного или нескольких МОЗУ.

Блоки "памяти" собирают и сортируют экспериментальную информацию от детекторов излучения, расположенных вдоль нейтронпроводов импульсного реактора нейтронов (длина нейтронпроводов 1200 метров). Непосредственно у детекторов располагается электронное оборудование для предварительного отбора нужных событий. Электрические импульсы передаются по высокочастотным кабелям в центральный измерительный зал. С помощью входного коммутатора эти сигналы могут подаваться на один или несколько блоков преобразования аналоговой величины в код (амплитуда - код, время - код и т.д.). Коды от блоков преобразования через блоки промежуточной "памяти" поступают на МОЗУ или магнитную ленту, где производится сортировка или запоминание информации.

Центр рассчитан главным образом на проведение временных и амплитудно-временных измерений. Одномерные и многомерные измерения с числом каналов до 2048 проводятся обычно с МОЗУ. Для большего числа каналов временного и многомерного анализа используется 20-дорожечная магнитная лента, на которую коды поступают через промежуточную память, состоящую из двух блоков по 32 слова. Одновременно в

таком центре может проводиться до 7 независимых многоканальных и многомерных измерений. Каждое МОЗУ снабжено осциллографическим индикатором, а устройство записи на ленту имеет дополнительное ферритовое контрольное МОЗУ на 512 каналов с электронно-лучевой трубкой в качестве устройства изображения спектров /24/.

Блочность выполнения и стандартность входных и выходных сигналов позволяет комбинировать блоки преобразования, промежуточные и основные МОЗУ в различные измерительные комплексы в зависимости от требований проводимых экспериментов.

Вывод информации из МОЗУ производится через выходной коммутатор на общие устройства цифрпечати, перфорирования и непосредственного ввода экспериментальных данных по кабелю в ЦВМ вычислительного центра, расположенного на расстоянии 1,5 км от центрального измерительного зала /3,23/. Экспериментальная информация в Вычислительном центре записывается на магнитную ленту лентопротяжного устройства машины. Управление записью производит экспериментатор, запись осуществляется автономно и не связана с работой машины. Запись на ленту контролируется путем считывания и сравнения контрольных кодов, так что при неверных передачах происходит повторный вывод. Информация на магнитной ленте машины накапливается до нужного объема. Обработка осуществляется путем прямого обращения ЦВМ к ленте. Такой вид связи измерительного центра с ЦВМ не является полным включением машины в эксперимент, но оправдывает себя, поскольку экономит не только время передачи и ввода информации в машину, но и повышает достоверность ввода. Такая конструкция блоков и устройств регистрирующей аппаратуры центра имеет определенные преимущества по сравнению с отдельными анализаторами - приборами. Прежде всего, имеется возможность различного комбинирования блоков и устройств, так что в зависимости от требуемого числа каналов, загрузки и других условий эксперимента могут выбираться наиболее подходящие сочетания. Аппаратура в этом случае используется более эффективно. При такой блок-схеме центра сокращается общий объем оборудования. Особенно это заметно на устройствах вывода информации - один рабочий комплект устройств вывода используется для всего измерительного центра.

Непосредственная передача экспериментальной информации по кабелю во внешнюю память ЦВМ (на магнитную ленту) значительно расширяет возможности центра по использованию машины для обработки экспериментальных данных по мере их накопления. Однако отсутствие прямой обратной связи от машины к эксперименту сужает возможности этой системы по сравнению с другими. Такая связь является, по сути, компромиссом между непосредственным использованием ЦВМ в режиме измерений (on-line) и отдельной машиной для обработки данных (off-line). В настоящее время планируется дальнейшее развитие этой системы с использованием вычислительной машины непосредственно в реальном времени эксперимента.



В качестве "памяти" измерительных центров с успехом могут быть использованы блоки МОЗУ от вычислительных машин. В одном из таких центров - в системе обработки физической информации - применен блок "памяти" на 1024 канала с 37 разрядами. Система предназначалась для одновременного сбора информации от блоков амплитудного преобразования.

В другом варианте измерительного центра - центральном измерительно-регистрающем узле (ЦИРУ) в качестве основной "памяти" использован магнитный барабан (рис. 7)<sup>13/</sup>. Информация на барабане записывается по 88 дорожкам, так что общая емкость основной "памяти" составляет примерно 10000 каналов с емкостью каждого канала 2<sup>14</sup>. Информация от нескольких экспериментов поступает на блоки преобразования аналоговой величины в код (амплитуда, время и т.д.) и затем в виде цифрового кода заносится в блок промежуточной "памяти". Промежуточное запоминание выполнено по оригинальному принципу с перезаписью информации для увеличения быстродействия. Емкость промежуточной памяти и система записи информации на магнитный барабан обеспечивают, по мнению авторов, регистрацию 100-200 входных статистических событий в секунду, что эквивалентно 100-50 мксек мертвого времени по каждому из каналов регистрации.

Для вывода накопленной информации используется цифропечать, перфоратор, устройство считывания с перфокарт и специально разработанная для целей представления многомерных спектров цветная осциллографическая система (на базе цветного телевизора).

Наличие "памяти" большой емкости позволяет с помощью такой системы проводить некоторые простые арифметические операции (сложение, суммирование по каналам и т.д.), однако предполагается, что полная математическая обработка информации будет проводиться на универсальной ЦВМ путем ввода информации через перфокарты.

Из рассмотрения основных особенностей измерительных центров, основанных на устройствах с фиксированной программой, видно, что наряду с целым рядом преимуществ по более эффективному проведению набора, сортировки и вывода информации от нескольких одновременных экспериментов такие центры не решают задач текущей машинной обработки информации. Эти центры хотя и более широки по своим возможностям, но все же остаются на позициях многоканальных анализаторов - приборов с фиксированной программой и, следовательно, на позициях определенных, предварительно известных этапов работы, которые определяются этими программами.

## Б) Измерительные центры с ЦВМ

Программное управление ЦВМ и возможность прерывания программ позволяют использовать одну машину одновременно для регистрации данных от нескольких незави-

сых экспериментов. Основным вопросом такого использования машины является распределение времени ее работы между различными каналами входной информации и обеспечение полной или частичной автономности проведения экспериментов. Структурная схема такого измерительного центра, помимо блоков, кодирующих входную информацию, и самой машины, обычно включает также многоканальный переключатель, обеспечивающий передачу кодов от входных блоков к ЦВМ. Последовательность передачи кодов в машину обеспечивается программами и предварительным установлением "приоритета" программ.

В одном из первых применений ЦВМ для задач анализа на графитовом реакторе в Брукхейвенской национальной лаборатории (США)<sup>/22/</sup> машина обеспечивала набор и поканальную сортировку информации от двух независимых экспериментов по времени пролета (рис. 8). Один эксперимент проводился с 1024 каналами (шириной канала 0,25 - 16 мксек) на быстром нейтронном селекторе, другой - с 256 каналами (шириной канала  $4 \div 128$  мксек) на медленном селекторе. Вычислительная машина SDS - 910 с "память" 2048 24-разрядных слов (предполагалось расширить память до 4096 слов) имела 16 каналов "приоритетного прерывания". Входная информация вместе с кодом, указывающим программу, поступала параллельно по 24 входным линиям. Помимо кодов времени пролета, в машину вводились коды, характеризующие реальное время, мониторинг счет, скорость селектора и т.д. Информация от быстрого нейтронного селектора имела преимущественное право ввода. На регистрацию одного события затрачивалось около 96 мксек. Для программ отводилось 700 ячеек памяти. Эти программы обеспечивали также вывод накопленной информации на экран электронно-лучевой трубки, цифropечать, перфорирование. Кроме того, имелось 16 специальных программ для управления ЦВМ, задаваемых с помощью клавиатуры печатающей машинки.

При проведении экспериментов программы и загрузки были подобраны так, что оба эксперимента слабо влияли друг на друга. Например, печатание информации второго эксперимента увеличивало мертвое время первого лишь на 0,3%.

В более общей форме задача по обеспечению одной ЦВМ нескольких экспериментальных работ поставлена перед измерительным центром, создаваемом в Национальном бюро стандартов (США)<sup>/26/</sup>. Этот центр предназначается для регистрации данных одновременно от независимо проводимых экспериментов на ускорителе. Авторы отмечают, что, несмотря на различие проводимых и планируемых экспериментов, вычислительная машина типа SDS - 820 и шесть типов входных блоков преобразования информации в цифровую форму смогут обеспечить прием и регистрацию ожидаемой информации. В качестве блоков преобразования предполагается использовать преобразователи амплитуды в цифровой код на 1024 канала; преобразователи медленно меняющегося напряжения в код; счетные устройства, состоящие из нескольких быстрых (10 Мгц) и

медленных (1 Мгц) пересчетных схем; цифровые регистры для приема информации в цифровой форме от внешних устройств и др. Предусматривается, что дополнительные блоки преобразования смогут без каких-либо затруднений подключаться к такой системе. Информация от входных блоков в виде двоичного кода через блок многоканального переключения будет передаваться непосредственно в вычислительную машину (рис. 8). Блок многоканального переключения сможет связывать с машиной до 30 внешних регистров. Управление вводом будет осуществляться со стороны машины по сигналу от соответствующего измерительного канала. Блок многоканального переключения имеет свой собственный регистр, который сможет выполнять роль однословной промежуточной памяти.

Система строится с таким расчетом, чтобы регистрировать за период между вспышками ускорителя, частота которых может меняться от 0 до 720 гц, информацию о шести событиях. Авторы подчеркивают, что главным затруднением автономного проведения экспериментов является соответствующее программирование приема информации. Для ввода программ в машину, установления "приоритета" программ и других действий по управлению машиной создан специальный пульт, который позволит выбрать с помощью переключателей до 64 отдельных программ.

Из рассмотренных примеров видно, что применение ЦВМ в качестве основы измерительного центра дает возможность создавать системы регистрации с широкими и разнообразными функциями. Отмеченные выше преимущества ЦВМ перед анализаторами с фиксированной программой будут справедливы и для этих систем.

Вычислительная машина наиболее эффективна в качестве центрального устройства сбора и обработки информации при импульсном характере поступления событий с большой скажностью, когда общая входная интегральная загрузка относительно невелика. В этом случае события регистрируются в предварительных регистрах, а в период между импульсами ускорителя (реактора) перезаписываются в машину.

Время работы ЦВМ при сборе информации от нескольких экспериментов должно делиться между этими экспериментами, в связи с этим суммарная скорость поступления информации не должна превышать скорости приема данных самой машиной. Это первое ограничение таких систем. Другое ограничение обусловлено возрастающей сложностью программирования автономной работы экспериментов при увеличении их числа.

Отмеченные ограничения обуславливают применение малых ЦВМ в измерительных центрах главным образом для регистрации входной информации и в меньшей степени для текущей ее обработки<sup>127/</sup>. Применение более быстродействующих ЦВМ с развитой системой приема цифровых данных позволит в определенной степени уменьшить отмеченные ограничения, а непосредственный обмен информацией с другими вычислительными машинами намного расширит возможность обработки регистрируемых данных.

Объединение нескольких ЦВМ в системы регистрации и обработки, планируемое в ряде крупных физических центров, является следствием увеличения экспериментальных данных и необходимости их машинной обработки. Эти вопросы более остро возникают в задачах физики высоких энергий, где количество экспериментальных данных значительно больше.

### Г) Измерительные центры комбинированного типа

Сравнивая основные характеристики анализаторов с фиксированной программой и ЦВМ с "запоминаемой" программой, можно отметить, что первые имеют определенные преимущества в проведении операций по простому поканальному накоплению входных данных. Это выражено в более простом оборудовании, быстродействии за счет "зашитой" программы и т.д. С другой стороны, ЦВМ превосходит анализаторы в широком круге вопросов представления и обработки результатов измерений.

Сочетание этих двух устройств с "зашитой" и "запоминаемой" программой в одном измерительном центре может дать значительное расширение его возможностей. Такие центры комбинированного типа могут оказаться полезными в лабораториях, где требуется как быстрое накопление информации от нескольких экспериментальных работ, так и обработка данных в ходе эксперимента. Функции быстрого накопления и поканальной сортировки статистических событий остаются в этом случае за более простыми устройствами с "зашитой" программой. Машина выполняет функции обработки, а также операции по представлению результатов и, если это необходимо, управлению экспериментами.

ЦВМ в таком центре оперирует главным образом не с отдельными кодами, характеризующими события, а с некоторым их объемом. От ЦВМ не требуется в этом случае большого быстродействия. Передача информации из устройств предварительного накопления в ЦВМ может осуществляться не только после окончания эксперимента, но и во время набора данных, не влияя практически на этот процесс.

Требования к емкости "памяти" устройств предварительного накопления подобны требованиям, которые предъявляются к отдельным анализаторам. Некоторое уменьшение емкости может быть предусмотрено за счет периодической передачи информации в ЦВМ по мере ее накопления.

Наличие относительно больших устройств предварительного накопления снижает требования к большой емкости оперативной "памяти" машины, поскольку принятая информация может без ущерба для процесса набора записываться на магнитную ленту. В качестве примера комбинированного измерительного центра рассмотрим электронный центр анализа данных (ЕДАС) Чок-Риверской национальной лаборатории (Канада), который был создан для нейтронно-физических исследований на ускорителе Ван-де-Графф-

фа на в Мэв. Этот центр первоначально включал в себя вычислительную машину РДР - 1 (с емкостью "памяти" 8192, 18 разрядов), два 100-канальных анализатора, один 900-канальный многомерный анализатор с ферритовой "памятью" и многомерный анализатор с магнитной лентой. Анализаторы с ферритовой "памятью" использовались в качестве предварительных устройств накопления. 240-битная счетная система и другие вспомогательные блоки обеспечивали регистрацию дополнительных данных. Информация из анализаторов и счетной системы вводилась в основную память машины через 10 управляемых входных-выходных регистров. Ввод-вывод данных мог проводиться также через перфоленгу и цифрпечать. Электронно-лучевая трубка и "световой карандаш" использовались для представления результатов и дополнительных оценок.

Помимо сбора информации от анализаторов, вычислительная машина использовалась также как самостоятельный анализатор. В одном из таких режимов /10,17/ использовались 8 аналого-цифровых преобразователей амплитуды со счетными схемами на 10 Мгц; информация от которых через ключевые схемы принималась на входные регистры машины. При передаче информации требовалось 10 мксек на опрос одной счетной схемы и еще 64 мксек для запоминания информации, если она имелась. В другом эксперименте с пятью амплитудными преобразователями для регистрации информации было занято около 50% времени машины, остальное время могло использоваться для других программ.

Помимо использования машины непосредственно для накопления и текущей обработки информации, была использована возможность ввода в машину экспериментальных данных от 100-канального анализатора, расположенного за 300 футов от машины. Информация поступала непосредственно на вход машины и занимала около 0,1 секунды машинного времени. Этот канал ввода информации имел низкий "приоритет прерывания" ввиду возможности остановки анализатора на время порядка минуты перед тем, как переключить анализатор на другой замер.

Машина использовалась также как сортировщик информации, считываемой с магнитной ленты. В этом случае информация передавалась в центр по проводам на расстоянии 2500 футов.

Дальнейшее расширение Чок-Риверского измерительного центра предполагается провести в направлении создания специальных дополнительных устройств для накопления и буферного хранения информации в двух МОЗУ по 4048 каналов (рис. 10) /28,8,10/. Информация в этих МОЗУ будет сортироваться и накапливаться по каналам так же, как в обычных анализаторах: в канал с заданным адресом, характеризующим параметр исследуемого события, будет добавляться единица. Полный цикл обращения к МОЗУ составит 5 мксек. Входная информация в форме двоичных кодов будет посту-

пять по 8 каналам (предполагается число входов расширить до 16) на промежуточную память, работающую в режиме разравнивания статистики. Промежуточная память будет состоять из 4-х 13-разрядных регистров.

Восемь входных каналов будут опрашиваться поочередно, период обращения к каждому из каналов составит 3,2 мксек. Передача кодов из промежуточной в основную память будет происходить с частотой 60 кгц.

Машина будет использоваться в основном для проведения арифметических операций и представления результатов, при этом она сможет запрашивать данные из дополнительных МОЗУ с частотой 100 кгц. Это согласуется со скоростью поступления информации из промежуточной памяти и быстродействием МОЗУ, так что обращение машины к МОЗУ не будет влиять на набор данных.

К информации, зарегистрированной в МОЗУ, будет иметь доступ третий канал вывода-ввода (стирание информации в МОЗУ, передача на устройства изображения и т.д.). Предполагается, что этот канал обращения к МОЗУ будет иметь "низкий приоритет" и скорость его работы будет определяться первыми двумя режимами. Максимальная скорость работы третьего канала - до 100 кгц.

Из приведенных характеристик видно, что такая система со специальными устройствами предварительного накопления статистически поступающей информации и вычислительной машиной сочетает в себе быстродействие (8 входных каналов с "мертвым временем" 3,2 мксек по каждому из каналов) и широкие возможности машинной обработки информации в ходе самого эксперимента.

### З а к л ю ч е н и е

1. Экспериментальная физика за последние годы пополнилась рядом новых систем регистрации и обработки, основой которых является цифровая техника вычислительных машин либо ее разновидности.

Наиболее распространенные системы сбора и анализа данных физического эксперимента схематично представлены на рис. 11. В зависимости от конкретных условий эксперимента, а также экономических соображений может быть оправдано то или иное применение анализаторов с фиксированной программой вычислительной машины или целого комплекса устройств, включающих такую машину.

2. Многоканальные анализаторы с "памятью" на ферритах как приборы специального применения (амплитудный, временной и многомерный анализ с числом каналов до нескольких тысяч) не утратили своего значения для отдельных экспериментов физики низких энергий. Быстродействие, минимальный объем оборудования, простота констру-

ции - вот основные отличительные особенности анализатора как прибора от более сложных устройств регистрации.

3. Проведение многомерного анализа с десятками и сотнями тысяч каналов базируется на применении записи неинтегрированной по каналам информации на магнитную ленту. Применение малой вычислительной машины не дает принципиально нового в этом решении, машина выполняет функции более широкого дополнительного контрольного устройства. В этой связи можно ожидать, что развитие методов использования магнитной ленты для различного сорта многопараметрических задач будет развиваться не только как запись через вычислительную машину, но и как специализированное более простое и дешевое устройство.

4. Определился круг задач, прежде всего, это многомерные измерения с несколькими десятками и сотнями тысяч каналов, в которых использование малых ЦВМ открывает дополнительные пути более эффективного и разностороннего проведения эксперимента. Это достигается широкими логическими возможностями вычислительных машин по обработке информации вообще и в процессе набора в частности, а также более разносторонними возможностями представления результатов. Все это позволяет установить более тесный "контакт" между экспериментатором и экспериментом и более эффективно вмешиваться его проведение, что, в конечном счете, сокращает время проведения эксперимента и повышает достоверность получения данных.

5. В крупных лабораториях, где одновременно проводятся несколько экспериментов, отличающихся часто по своему физическому характеру, но требующих многоканальных систем регистрации и текущей машинной обработки, специализированные измерительные центры имеют определенные преимущества перед анализаторами или отдельными ЦВМ, работающими в режиме анализа. Развитие таких центров происходит как на основе одной ЦВМ с развитой системой ввода цифровой информации, так и на основе цифровых вычислительных машин и специализированных буферных устройств быстрого накопления и простой сортировки входной информации. Буферные устройства для обеспечения быстродействия простых операций строятся с фиксированной программой.

6. В таблице 2 приведен перечень некоторых физических лабораторий, в которых применяются ЦВМ непосредственно в эксперименте для регистрации и обработки экспериментальных данных. Помимо этого, в целом ряде других лабораторий ведутся и планируются такие работы. Характерно, что некоторые промышленные фирмы, выпускающие вычислительные машины, предлагают многомерные анализаторы, выполненные на основе ЦВМ<sup>31/</sup>. Все это говорит за быстрое внедрение вычислительных машин непосредственно в физический эксперимент.

7. Рост экспериментальной информации, увеличивающейся с внедрением более производительной счетно-решающей техники, и необходимость ее машинной обработки влечет за собой использование более быстродействующих ЦВМ и организацию целых систем из больших и малых вычислительных машин. Можно ожидать не только широкого применения универсальных ЦВМ в экспериментальных исследованиях, но и появления специализированных вычислительных машин, предназначенных для задач регистрации и обработки данных экспериментальной физики.

Автор выражает искреннюю благодарность И.В. Штраниху за замечания и советы, высказанные при подготовке этой работы, а также Б.Е. Журавлеву, В.Г. Тишину и Г.П. Жукову за совместные обсуждения и высказанные замечания.

#### Л и т е р а т у р а

1. Л.А. Маталия, С.И. Чубаров, А.А. Иванов. Многоканальные анализаторы ядерной физики. Атомиздат, 1964.
2. И.В. Штраних, В.Н. Бочкарев, А.И. Волков, А.Т. Клабуков. Труды 5 научно-технической конференции по радиоэлектронике, том 2, часть 2, стр. 136. М., Госатомиздат, 1963.
3. В.А. Дорофеев, Г.И. Забиякин, В.Н. Замрий, В.И. Маркоменко и др. Труды 5 научно-технической конференции по радиоэлектронике, том. 4, стр. 7. М., Госатомиздат, 1963.
4. G.Michael. Proc. Conf. Utiliz. MPA New York, 1962, p.112.
5. J.V.Kane, R.J.Spinrad. Proc. Conf. Utiliz. MPA, New York, 1962, p.149; Nucl. Instr. Mat., v. 25, N 1, 1963, p. 149.
6. J.Leng. Proc. Conf. Utiliz. MPA, New York, 1962, p. 155.
7. E.Norbeck. Proc. Conf. Utiliz. MPA, New Uork, 1962, p.56.
8. W.E.Miller. H.W.Fulbright. Proc. Conference Utiliz. MPA, New York, 1962, p.11.
9. W.W.Eidson, J.G.Cramer. Electronique Nucleaire, 1963, Paris, p.539.
10. J.Leng, A.Pearson. Electronique Nucleaire, 1963, Paris, p. 519.
11. G.Kruger, G.Dimmler. Electronique Nucleaire, 1963, Paris, p. 533.
12. F.L.Sicard. Electronique Nucleaire, 1963, p. 497.
13. И.В. Штраних, В.Н. Бочкарев, А.Н. Волков, В.М. Герасимов и др. Electronique Nucleaire, 1963, Paris, p. 587.
14. Г.П. Жуков, Б.Е. Журавлев, Г.И. Забиякин, В.Н. Замрий. Преприят ОИЯИ, 1677, Дубна, 1964; ПТЭ (в печати).
15. E.H.Spoke-Uorborough. AERE-M141.
16. В.К. Зейдленберг, Е.В. Таговатова. Электронные вычислительные машины. М., ИТМ АН СССР, 1963.
17. J.Brun, G.Verroust, C.Victor. Journ. Phys. Radium., 23, n.6, 1962, p.129.



18. R.R. Carlson, E. Norbeck, Phys. Rev., v.131, n.3, 1963, p. 1204.
19. J.E. Whalen, J.W. Meadows, R.N. Larson, RSI, v. 35, n.6, 1964.
20. Societe D'Applications Industrielle. De la Physique.  
Установка многопараметрического анализа со счетным устройством "на линии". Французская выставка приборов. Москва, 1964.
21. J.F. Mollenauer. IEEE Trans NS-11, 1964, n.3, p.338.
22. R.E. Chrien, S. Rankowitz, J. Spinrad, Intern. Conference on Nucl. Phys. with Reactor Neutrons. Argonne Nat. Lab. Oct., 1963.
23. Г.И. Забиякин, В.Н. Замряй, В.И. Семашко. ПТЭ, № 4, 1964.
24. Г.П. Жуков, Г.И. Забиякин, В.Д. Шибяев. Препринт ОИЯИ, 1419, Дубна, 1963.
25. R.J. Spinrad, IEEE Trans. NS-11, 1964, n.3, p.324.
26. J. Eroberg, J. Leiss, R.A. Schrack, J.M. Wyckoff. IEEE Trans. NS-11, 1964, n.3, 331.
27. A. E. Brenner. XI Международная конференция по физике высоких энергий.  
Дубна, 1964.
28. J. Leng. AECL-1565, 1962.
29. R.J. Spinrad. Nucleonics, v.21, n.12, 1963, p.46.
30. А.С. Вавилов, И.С. Жевелева. Электрические вычислительные машины за рубежом.  
М., Машгиз, 1962.
31. RSI, v.35, n.5, 1964, p. XXXVIII; RSI, v.35, n.4, 1964, p. XXXV.
32. R.H. Vanderhoe, "PHYLIS" Applied Math. Div., Argonne Nat. Lab., Oct. 1, 1963.
33. Р. Валь, Ф. Сякар. Многопараметрический анализ. Intertechnique. Французская выставка приборов. Москва, 1964; Chaine D'Analyse Multiparametrique Intertechnique. Department D'Electronique. DE/DN/60/Fa/ ja 1964.

Рукопись поступила в издательский отдел  
3 октября 1964 г.

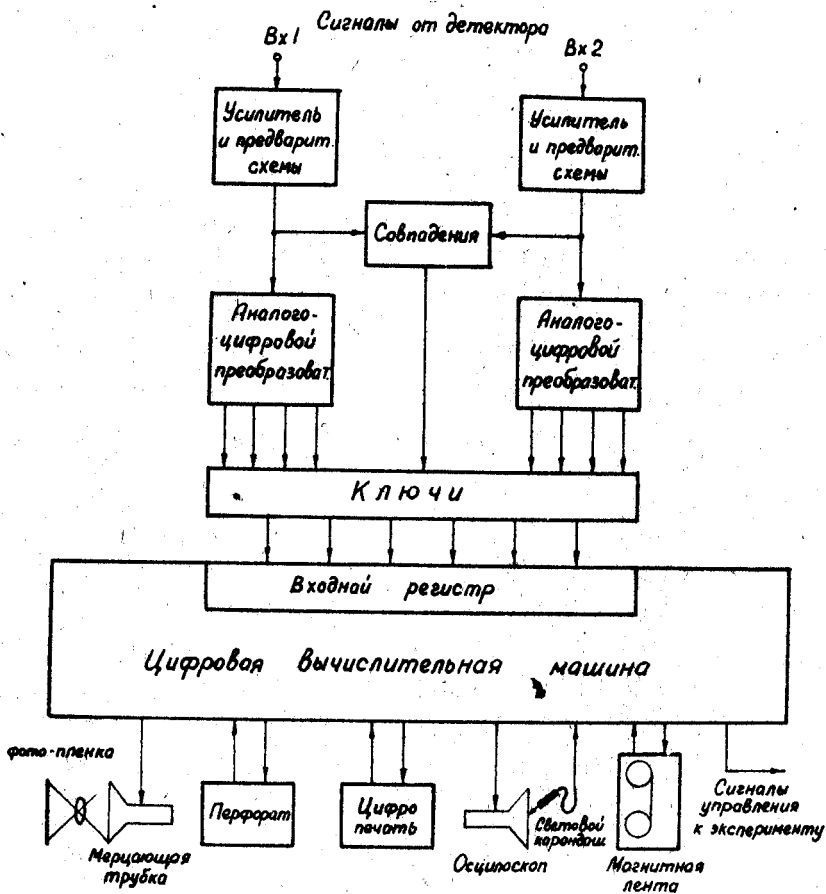
Т а б л и ц а 1

Тип машины	Оперативная память	Время доступа, мксек	Время сложения, мксек	Стоимость, (тыс.доллар.)	П р и м е ч а н и е
1	2	3	4	5	6
IMB-1620	20 - 40 тыс. десятичных знаков	10	560	74,5 (с 20000 "памятью")	Переменная емкость каналов анализируемых спектров /17,20/
СДС-160	4096 слов, 12 бит	8,4	19,2	60	Запись многомерных спектров на перфоленту /7/
СДС-160А	2x4096 слов, 12 бит	8,4	128		Два быстрых регистра ввода-вывода, один используется как буферный, другой - для внешней синхронизации /18,11,19/
S DS -910	2048 + 4096 слов, 24 бит	8 (время цикла)	16	56 - собственно машина (с 4096 "памятью"), 30-магнитная лента, цифропечать, перфоратор	16 каналов "приоритетного прерывания" /5,22/
S DS -920	8192 слова, 24 бит	8 (время цикла)	16	98	80 каналов "приоритетного прерывания". Несколько линий цифрового вывода из машины (для управления экспериментом) /26/
РДР-Б	1024 или 4096 слов, 12 бит	8		24 - с "памятью" 1024 27 - с "памятью" 4096 41 - в качестве амплитуда-амплитудного анализатора	"Приоритетное прерывание" 64 линии прямого соединения с внешними устройствами /31/
РДР-1	8192 слов, 18 бит	5	16	50	16 каналов "приоритетного прерывания", 10 входных - выходных регистров /6,10/
Р В - 440	16000				/8/

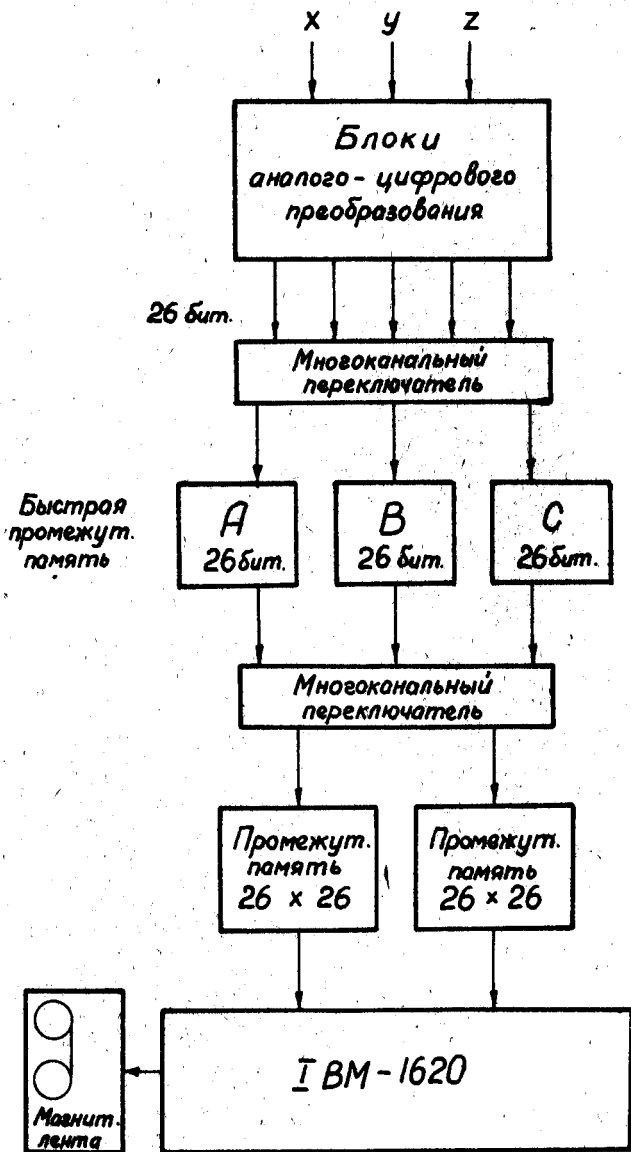
Т а б л и ц а 2

Лаборатория	Тип машины	Характеристика применения
1. Лаборатория Жюлио-Кюри, Орсе, Франция (циклотрон)	IMB - 1620	Многомерный анализ. До 8-ти одновременно регистрируемых параметров (амплитуда, время, совпадения, магнитное поле и т.д.). Длина входных слов - 26 разрядов/17,20/
2. Иовский Университет, Иова, США (Ван-де-Граафф)	СДС - 160 СДС-160А	Многомерный анализ частиц - гамма-совпадения (амплитуда - амплитуда)/17/
3. Центр ядерных исследований в Карлсруе, ФРГ (реактор)	СДС - 160А	Многомерный анализ (256x256), ( $\gamma - \gamma$ )-совпадения и нейтронные время-пролетные измерения/11/
4. Аргонская национальная лаборатория, Аргон, США (Ван-де-Граафф)	СДС - 160А	Многомерный анализ: измерение масс осколков деления (64x64), нейтронные время пролетные измерения, измерение мгновенного $\bar{v}$ для делющихся материалов/19/
5. Брукхейвенская национальная лаборатория. Нью-Йорк, США (Графитовый реактор)	SDS - 910	Машина для 2-х независимых экспериментов по времени пролета (1024 и 256 каналов), регистрация мониторинговых данных/22,29/
6. Брукхейвенская национальная лаборатория. Нью-Йорк (США)	SDS - 910	Исследование ядерных реакций с распадом на 3 частицы/21/
7. Белл Телефонная лаборатория США (Ван-де-Граафф)	SDS - 910	Многомерный анализ для нейтронно-структурных и ядерных исследований/5/
8. Национальное бюро стандартов (ускоритель)	SDS - 920	Измерительный центр для нескольких экспериментов. Спектрометр рассеивания электронов, спектрометр тяжелых ионов, время-пролетные эксперименты с нейтронами, многомерные эксперименты ( $\gamma, \nu$ ) ( $\gamma, \nu$ ) ( $\nu, \gamma$ ) ( $\nu, \nu$ ), 200 выходных каналов от ЦВМ к экспериментальному оборудованию/28/

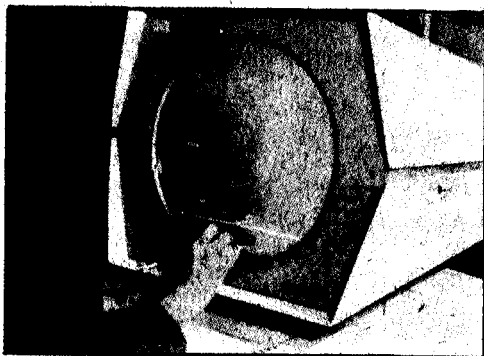
1	2	3
9. Чок-Ривер. Национальная лаборатория. Канада (Ван-де-Граафф)	РДР - 1	Измерительный центр. Машина электрически связана с анализаторами /28/ непосредственный многомерный анализ исследование уровней $Ne^{20}$ , амплитуда - угол, 8 x 150 каналов /6/ планируется добавление 2 "памятей" (по 4096 слов) и промежуточной памяти для предварительной сортировки данных /8,10/
10. Индианский университет США (ускоритель)	РВ-440	Многомерный анализ (до 8 параметров одновременно) /8/
11. Аргонская национальная лаборатория. Аргон (США)		Измерительный центр на основе вычислительной машины, связанной с устройствами типа анализаторов /32/
12. Digital Equipment Corporation	РДР - 5	Машина может использоваться как двухмерный анализатор (амплитуда-амплитуда) /31/
13. Intertechnique (Франция)	САЕ - 510	Машина планируется в качестве основы комплексной измерительной системы /8,33/



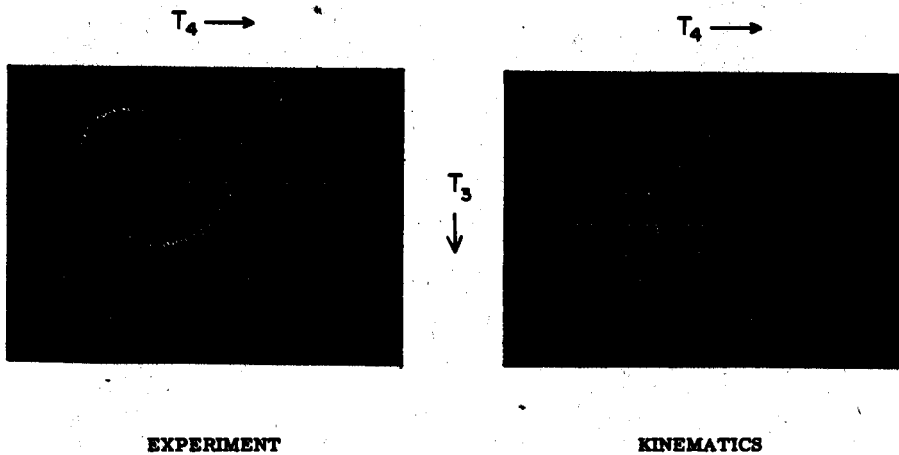
Р и с. 1. Блок - схема системы с ЦВМ для многомерного анализа.



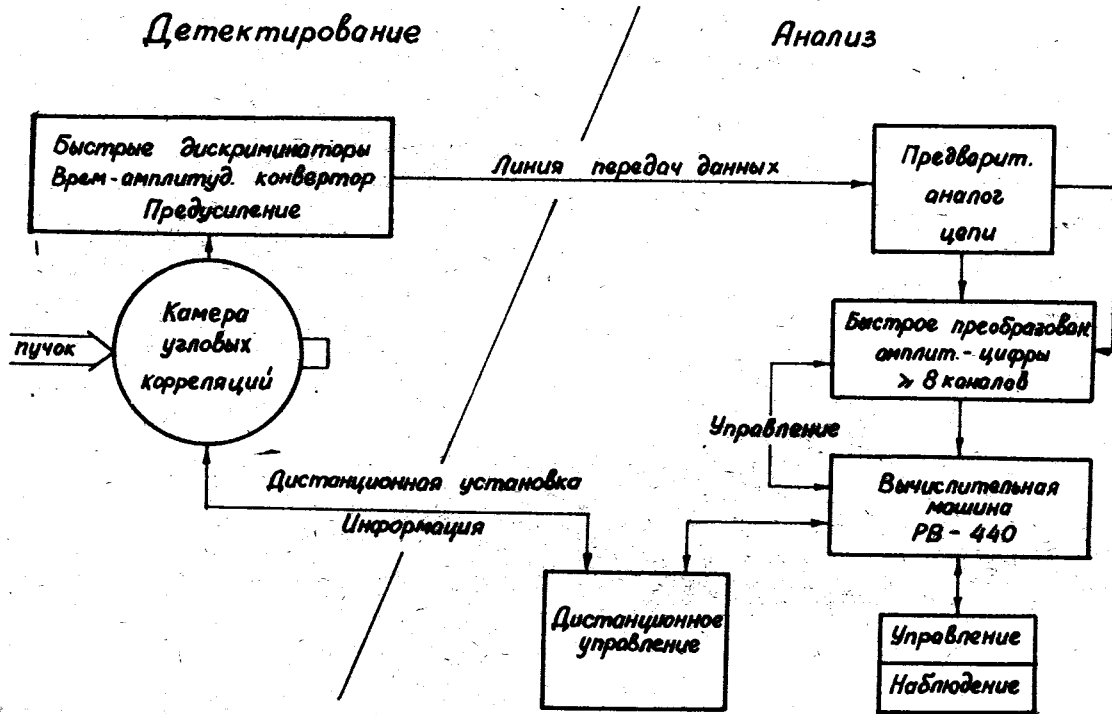
Р и с. 2. Блоки промежуточной памяти к ЦВМ.



Р и с. 3. "Световой карандаш" с электронно-лучевой трубкой.

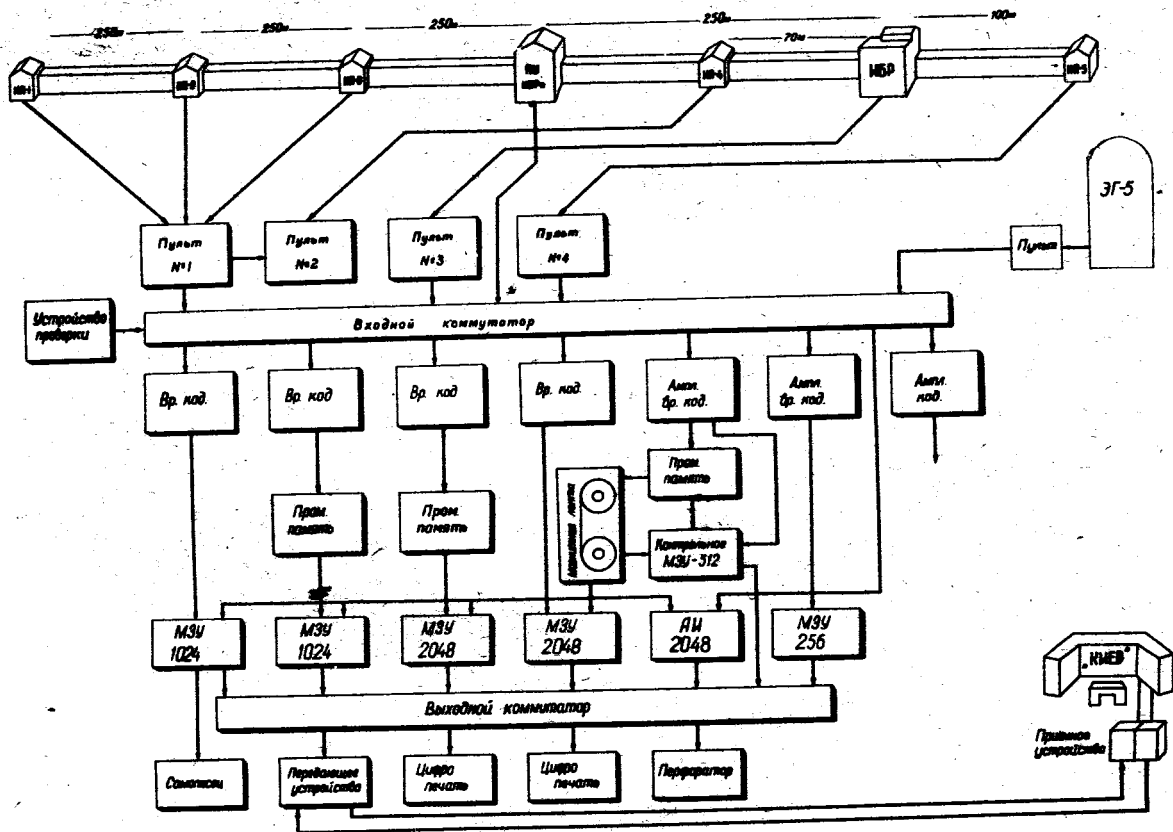


Р и с. 4. Экспериментальные результаты (слева) и расчетные (справа).

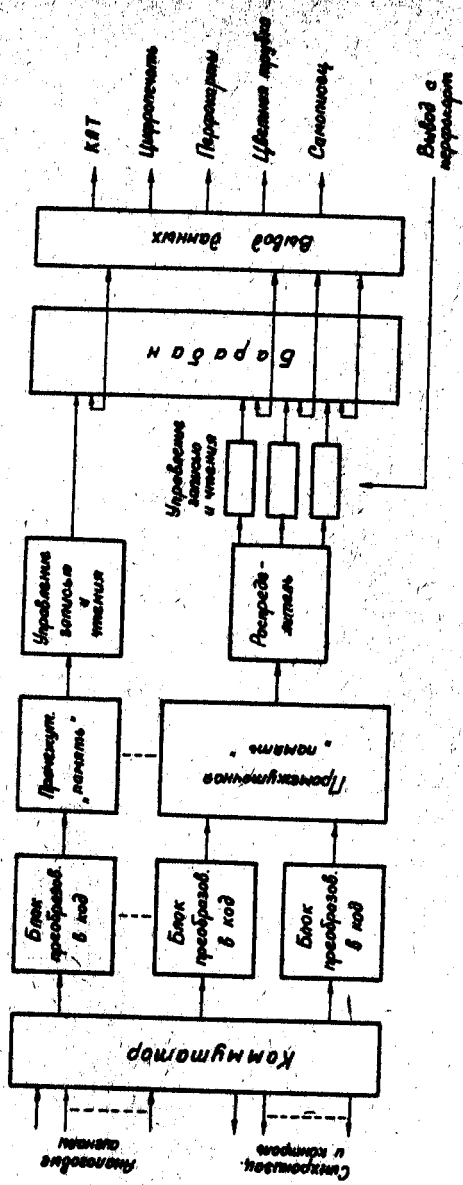


Р и с. 5. ЦВМ в системе измерения и управления экспериментом.

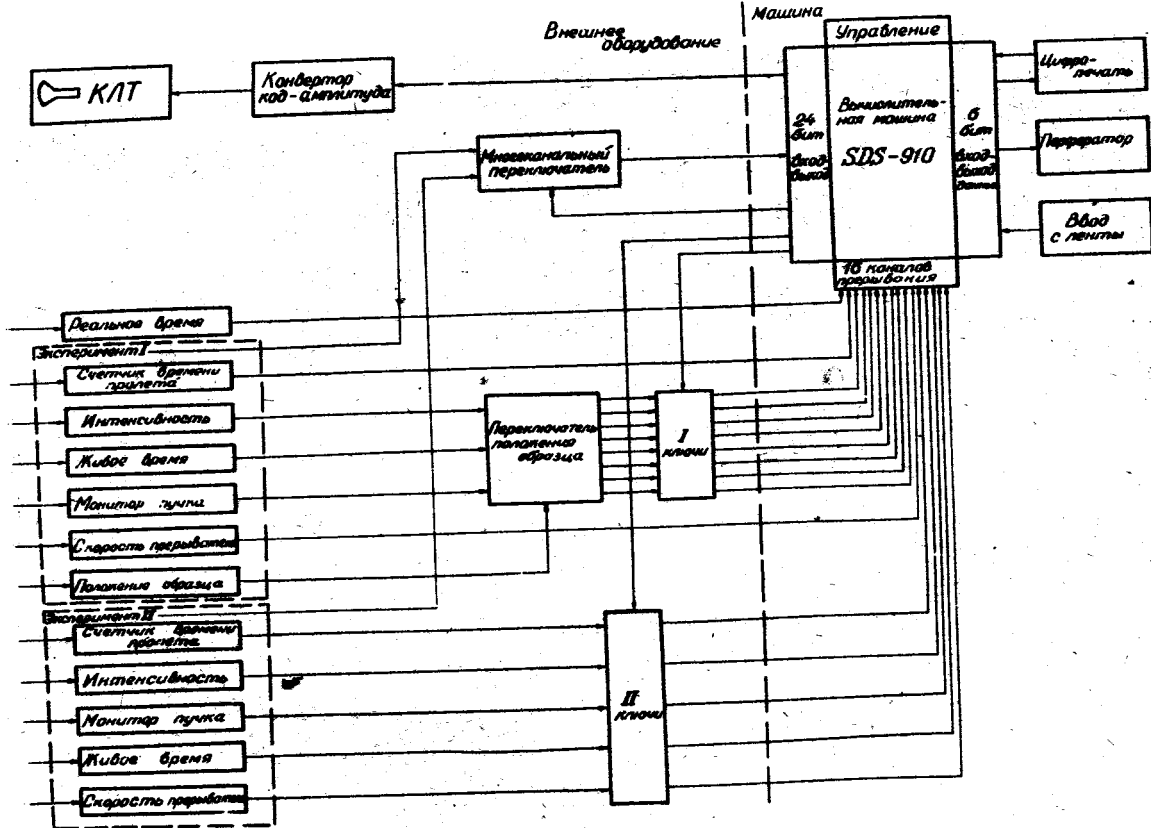




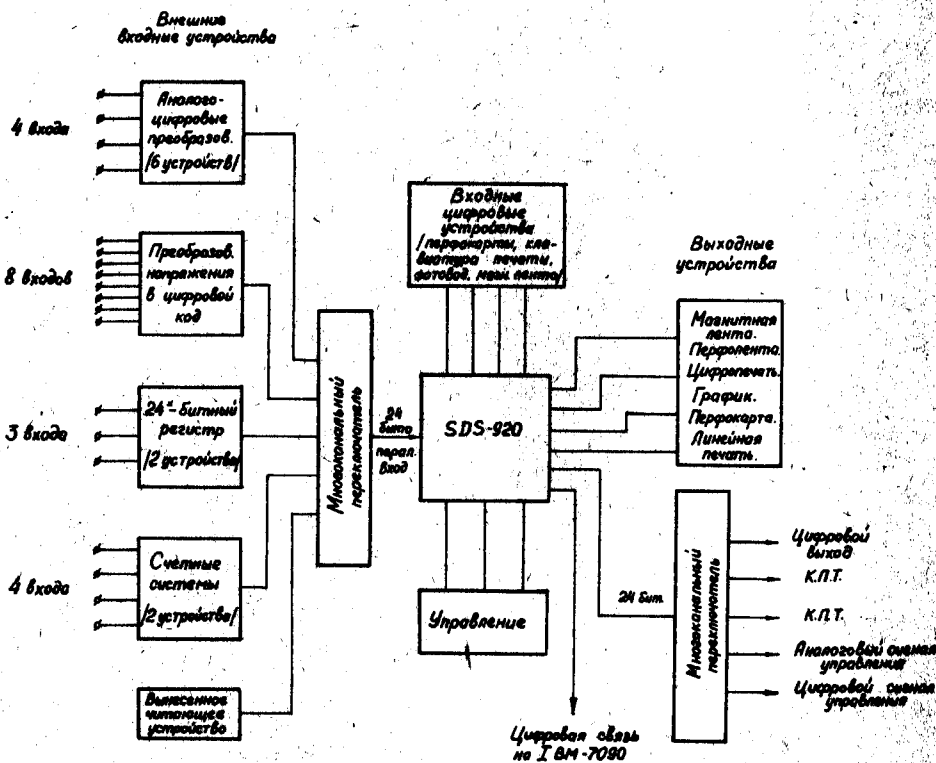
Р и с. 6. Схема лабораторного измерительного центра (ЛИЦ).



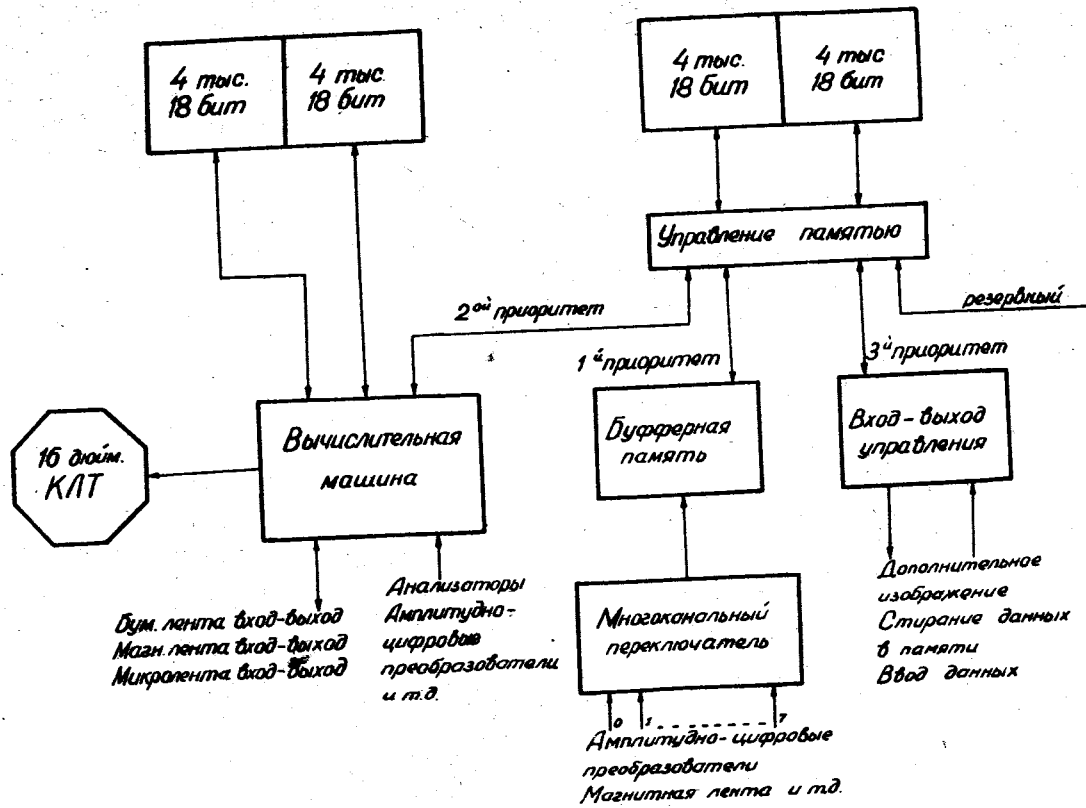
Р и с. 7. Схема центрального измерительно-регистрающего узла (ЦИРУ).



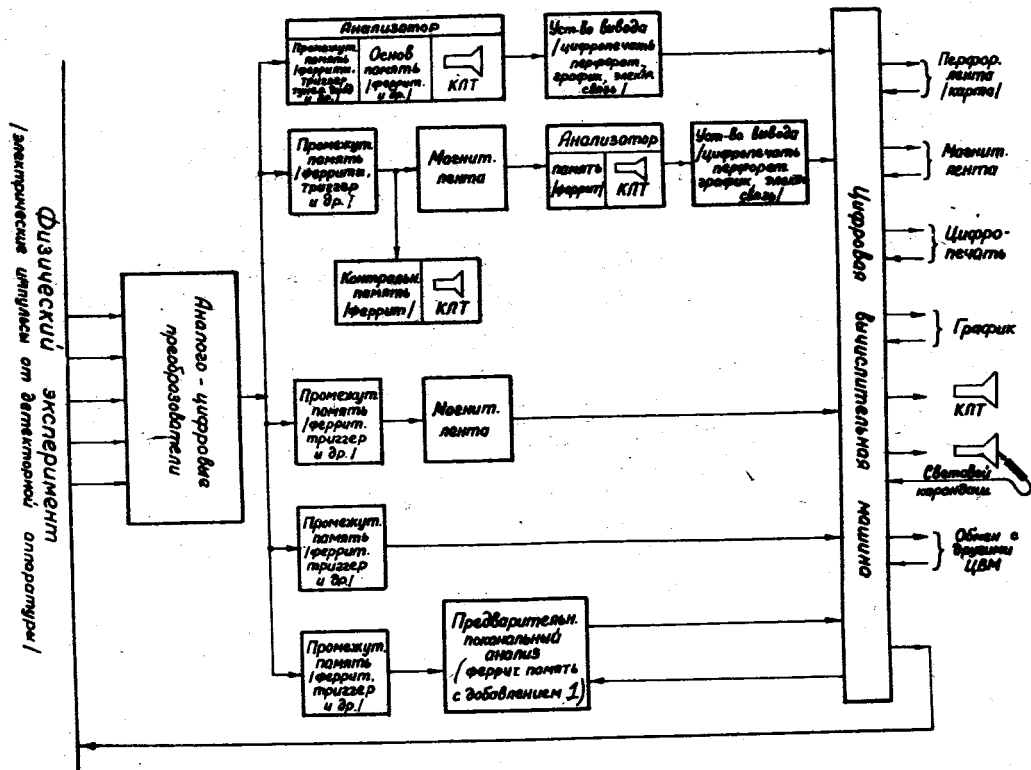
Р и с. 8. Схема проведения двух экспериментов по времени пролета.



Р и с. 8. Измерительный центр Брукхейвской лаборатории (США).



Р и с. 10. Электронный центр анализа данных (ЕДАС).



Р и с. 11. Методы многоканального анализа.