

ЭВМ

**В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ
ФИЗИКЕ**



1968 г.



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ И АВТОМАТИЗАЦИИ

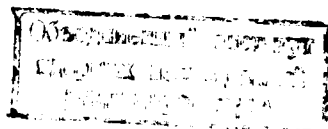
10 - 4231

Г.И.Забиякин

ЭВМ В ЗАДАЧАХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКИ

Лекция, прочитанная в Школе ОИЯИ по применению электронных
вычислительных машин в задачах экспериментальной физики

г. Алушта, Крым, СССР, 5-19 мая 1968г.



Дубна 1968

7730/2
нр

Широкое внедрение электронных вычислительных машин в различные звенья физического эксперимента за последние годы вызвало определенный интерес со стороны физиков-экспериментаторов к вопросам вычислительной техники и программированию. Персонал физических лабораторий при подготовке экспериментов или обработке экспериментальных данных вынужден (в большинстве случаев самостоятельно) осваивать технику ЭВМ и методы работы на вычислительных машинах.

При всем многообразии материала как по самим вычислительным машинам, так и по вопросам программирования в процессе такой работы возникают естественные трудности, связанные, главным образом, с ограниченностью литературы, рассчитанной на физика-экспериментатора или на лиц, занимающихся развитием методических вопросов экспериментальной физики. Если учесть при этом, что методика использования ЭВМ в экспериментальной физике быстро совершенствуется, то будет понятен интерес со стороны физических институтов к летней школе Объединенного института ядерных исследований - "Применение ЭВМ в задачах экспериментальной физики".

Школа проводилась Лабораторией вычислительной техники и автоматизации ОИЯИ (директор - член-корреспондент АН СССР проф. М.Г.Мещеряков) в г. Алуш-те (Крым) с 5 по 19 мая 1968 года.

Программа школы наряду с основополагающими вопросами включала также лекции по некоторым конкретным современным методикам. Для чтения лекций были приглашены ведущие специалисты из Объединенного института ядерных исследований, институтов стран-участниц ОИЯИ, а также коллеги из европейских исследовательских центров - ЦЕРНа (Швейцария) и Сакле (Франция).

Не имея возможности опубликовать весь материал, ректорат Школы подготовил к изданию отдельные лекции, сохранив, в основном, их в том виде, в котором они были представлены авторами.

Лиц, интересующихся лекциями в полном объеме, мы адресуем в библиотеку ОИЯИ, где находится полный сборник прочитанных в школе лекций: "Применение ЭВМ в задачах экспериментальной физики".

Ректор Школы
доктор технических наук

Г.ЗАБИЯКИН

Отпечатано методом ксерокс-ротапринт с материалов, подготовленных ректоратом Школы.

Программа школы ставит своей задачей рассмотрение некоторого круга вопросов экспериментальной физики, где техника электронных вычислительных машин определяющим образом влияет на методику эксперимента. В связи с этим имеет смысл взглянуть с общих позиций на некоторые методические направления экспериментальной физики, в которых вычислительные машины завоевали уже прочные позиции, и попытаться охарактеризовать основные методические приемы применения ЭВМ. Мы не будем оставлять в стороне и некоторые проблемные вопросы с целью привлечь к ним интерес как пользователей, так и лиц, занимающихся развитием методических вопросов.

I. Почему ЭВМ?

Говоря об общих предпосылках, определивших широкое внедрение ЭВМ в экспериментальную практику, можно отметить два основных момента.

I. Усложнение эксперимента является характерной чертой современной экспериментальной ядерной физики и физики элементарных частиц. Становится более комплексной сама методика проведения эксперимента и используемая при этом регистрирующая аппаратура. Как следствие этого, почти лавинообразно увеличивается поток экспериментальной информации, которая в подавляющем большинстве случаев не может быть обработана без применения новейших достижений вычислительной техники. Современные методы проведения экспериментов обуславливают коренные изменения в способах и средствах регистрации и обработки экспериментальной информации путем перехо-

да к развитым системам накопления и обработки данных, к автоматизации основных процессов проведения физических экспериментов. При этом широко используются средства вычислительной техники. Именно методы и средства вычислительной техники являются той основой, на которой фактически происходит в буквальном смысле перевооружение экспериментальной техники и обновление многих методических приемов.

Помимо усложнения эксперимента и увеличения экспериментальных данных, что, в конечном счете, можно характеризовать как увеличение количества получаемой информации в условную единицу времени, нельзя не учитывать и стоимостных факторов.

2. Возрастает стоимость самой единицы времени проведения эксперимента. Физические установки становятся более сложными и дорогими. В качестве свежего примера можно упомянуть ускоритель на 70 Гэв Института физики высоких энергий, сооружение которого оценивается многими миллионами рублей. Ту же тенденцию можно заметить в развитии экспериментальной аппаратуры. Пузырьковые камеры, создаваемые для работы на этом ускорителе ("Мирабель" и "СКАТ"), превращаются в большие и сложные технические комплексы. Стоимостные соображения, связанные с удорожанием единицы времени эксперимента, обуславливают поиск путей более эффективной обработки получаемой информации, оценки полезности этой информации в ходе самого эксперимента и организации эксперимента с таким расчетом, чтобы максимально увеличить ценность собираемых данных.

Автоматизация и особенно комплексная автоматизация всего эксперимента, которая наиболее полно может быть решена на основе использования техники вычислительных машин, открывает определенные

перспективы в решении этих вопросов. Говоря о комплексной автоматизации физического эксперимента, следует понимать взаимосвязанную автоматизацию процессов управления источником частиц (ускоритель, реактор), процессов регистрации исследуемого физического явления в детекторах (камера, счетчики и т.д.) и, конечно, процессов сбора, обработки и анализа получаемых данных, которые являются конечным результатом эксперимента, оправдывающим его постановку.

2. Вычислительные задачи

В историческом плане использование ЭВМ в задачах экспериментальной физики относится к тому времени, когда на этих машинах решались различные вычислительные задачи. Первые цифровые вычислительные машины (часто их называют машинами первого поколения) в силу своих ограниченных возможностей и, что не менее важно, ограниченного математического обеспечения, не могли удовлетворить разнообразным требованиям, возникающим при обработке экспериментальной информации. Круг задач, решаемых с помощью машин, был ограничен, ограниченным был и круг экспериментаторов, использующих эти машины.

С развитием техники вычислительных машин, увеличением их быстродействия, а также освоением коллективами физических лабораторий техники программирования растут вширь и вглубь вычислительные работы на машинах, связанные с математической обработкой экспериментальных и теоретических результатов. Роль ЭВМ как "универсального вычислителя" в физических лабораториях возрастает. Становится невыносимо проводить физические исследования без использования этого "вычислителя" при подготовке эксперимента и обработки полученных в ходе эксперимента результатов.

Развитие средств вычислительной техники от ее зарождения до сегодняшних дней стимулировало и продолжает стимулировать методику вычислительных работ. Все новые выпускаемые на рынок большие вычислительные машины становятся немедленным достоянием крупных физических центров, влияя определяющим образом на методику эксперимента, особенно в части обработки экспериментальных результатов.

Тенденции в развитии вычислительных средств с использованием ЭВМ в физических институтах можно охарактеризовать следующими положениями:

- В крупных физических институтах, в исследовательских национальных и международных центрах создаются мощные вычислительные комплексы (центры), включающие одну или несколько больших вычислительных машин.

- Тип машин определяется средствами и возможностями страны. Как правило, это машины высшего класса.

- Используются универсальные цифровые вычислительные машины с развитым программным обеспечением.

- Характерной чертой для западных лабораторий является то, что наряду с вычислительной машиной Институт приобретает и развитое современное математическое обеспечение. В рамках физического института происходит лишь развитие этого обеспечения, применительно к местным условиям.

Приведем в качестве примера сведения о центральных вычислительных комплексах крупнейших физических исследовательских центров (таблица I и 2).

Таблица 1

Центр	Машины центрального вычислительного комплекса
ЦЕРН	СДС-6600, СДС-6400, СДС-3800
ОИЯИ	БЭСМ-6, БЭСМ-4, СДС-1604А
Брукхейвенская национальная лаборатория (США)	СДС-6600, СДС-6600, IBM-7094, РДР-6
Сакле (Франция)	СДС-6600, IBM-360/75, IBM-7094

Таблица 2

Основные параметры ЭВМ

Параметры	СДС-6600	СДС-6400	СДС-3800	IBM-360/75	IBM-7094
Память					
Ферриты	128 тыс.	64 тыс.	32 тыс.	64 тыс.	32 тыс.
диски	да	да	нет	да	да
магн. лент	да	да	да	да	да
Длина слова	60 в центр. 12 в периф.	60 в центр. 12 в периф.	48	64	36
Цикл памяти	0,1 мксек	0,1 мксек	0,7	0,75	1,4
Относительная производительность	9	4	2,5		1

3. ЭВМ в процессе регистрации экспериментальной информации

Наряду с традиционным использованием универсальных цифровых вычислительных машин для различных вычислительных задач в начале текущего десятилетия возникло новое методическое направление экспериментальной физики, предусматривающее использование ЭВМ с программной организацией работы непосредственно в процессе проведения физического эксперимента для накопления и обработки получаемых данных.

I. Предпосылки использования ЭВМ для этих целей были продиктованы следующими соображениями. С одной стороны, усложнялась электронная экспериментальная аппаратура, создаваемая для регистрации определенного класса информации. Часто такая аппаратура строилась по тем же принципам, что и вычислительные машины, и включала отдельные элементы и блоки вычислительных машин (ферритовые блоки памяти, накопители на магнитной ленте и т.д.). При этом экспериментальная аппаратура рассчитывалась на ограниченное число режимов работы, специфичных для данного класса экспериментов. Программа работы такой аппаратуры обычно была фиксирована и могла изменяться путем переключения соответствующих органов управления. Наиболее характерной экспериментальной аппаратурой, приближающейся по своей конструкции и логике построения к ЭВМ, были многоканальные амплитудные и временные анализаторы. Расширение функций таких приборов по обработке экспериментальных данных было связано, главным образом, с усложнением логических и арифметических блоков этих приборов. Естественным шагом, подготовленным опытом ядерной радиоэлектроники, явилось то, что вместо специализированной регистрирующей и обрабатывающей электронной аппаратуры в ряде случаев использовались малые ЭВМ.

Другая сторона, в значительной степени способствовавшая бурному внедрению ЭВМ в экспериментальную физику, была обусловлена тем, что промышленность ряда стран к тому времени начала выпускать сравнительно небольшие универсальные ЭВМ с программной организацией работы, при этом стоимость машин приближалась к стоимости специализированных регистрирующих приборов.

Первые же попытки использования ЭВМ непосредственно в качестве экспериментального регистрирующего оборудования дали обнадеживающие результаты и показали, что они не только удовлетворительно справляются с рядом отработанных методических приемов сбора экспериментальной информации, но и открывают новые возможности в самой методике регистрации и обработки экспериментальных данных. Последнее связано с тем, что благодаря развитой логике и программной организации работы ЭВМ позволяют проводить во время накопления данных их логический отбор и различную обработку, что значительно расширяет экспериментальные возможности, позволяет контролировать эксперимент по результатам более полной обработки.

В настоящее время уже не обсуждается вопрос, который совсем недавно был предметом дискуссий, в том числе на представительных национальных и международных конференциях — в каком направлении следует развивать цифровую регистрирующую аппаратуру: по пути устройств с фиксированной программой работы или же по пути ЭВМ с запоминаемой программой. И хотя регистрирующие устройства с фиксированной программой не утратили своего значения в типовых задачах спектрометрии, техника ЭВМ прочно завоевала позиции в экспериментальной физике. ЭВМ стала одним из основных экспериментальных приборов в бесфильмовой методике физики высоких энергий и различных задачах спектрометрии.

2. Схема эксперимента с включением ЭВМ в тракт регистрации экспериментальной информации может быть в общем случае представлена рисунком I. Информация об исследуемом физическом процессе, собираемая с помощью детекторов излучения (частиц) — полупроводниковые и сцинтилляционные счетчики, искровые камеры и др. — преобразовывается этими детекторами в электрические сигналы. Параметры таких сигналов (амплитуда импульса, время его появления, сам факт появления или отсутствия сигнала) характеризуют тот или иной исследуемый физический параметр.

После усиления и специального отбора (совпадение, антисовпадение и т.д.) параметры регистрируемых сигналов преобразовываются в цифровую форму в блоке преобразования. Часто процесс преобразования в цифровой код называют КОДИРОВАНИЕМ. Представление в цифровом коде координат искры в искровой камере, амплитуды импульса при амплитудном анализе, времени появления импульса при временных измерениях — все это примеры кодирования. Полученный в результате кодирования цифровой код вводится в вычислительную машину для накопления. Накопление данных может проводиться как без предварительной обработки в ЭВМ, когда все поступающие данные записываются в оперативную память ЭВМ или на магнитную ленту, так и с предварительной обработкой в ЭВМ (сортировкой по каналам спектра, отбраковкой по заданным признакам и т.д.).

Результаты обработки должны быть представлены экспериментатору в удобной и понятной для него форме с целью КОНТРОЛЯ за экспериментом, а также использованы (прямо или через осмысливание человеком) для воздействия на все звенья эксперимента (обратная связь). Здесь мы сталкиваемся с УПРАВЛЕНИЕМ экспериментальным оборудованием (или экспериментом) с помощью ЭВМ.

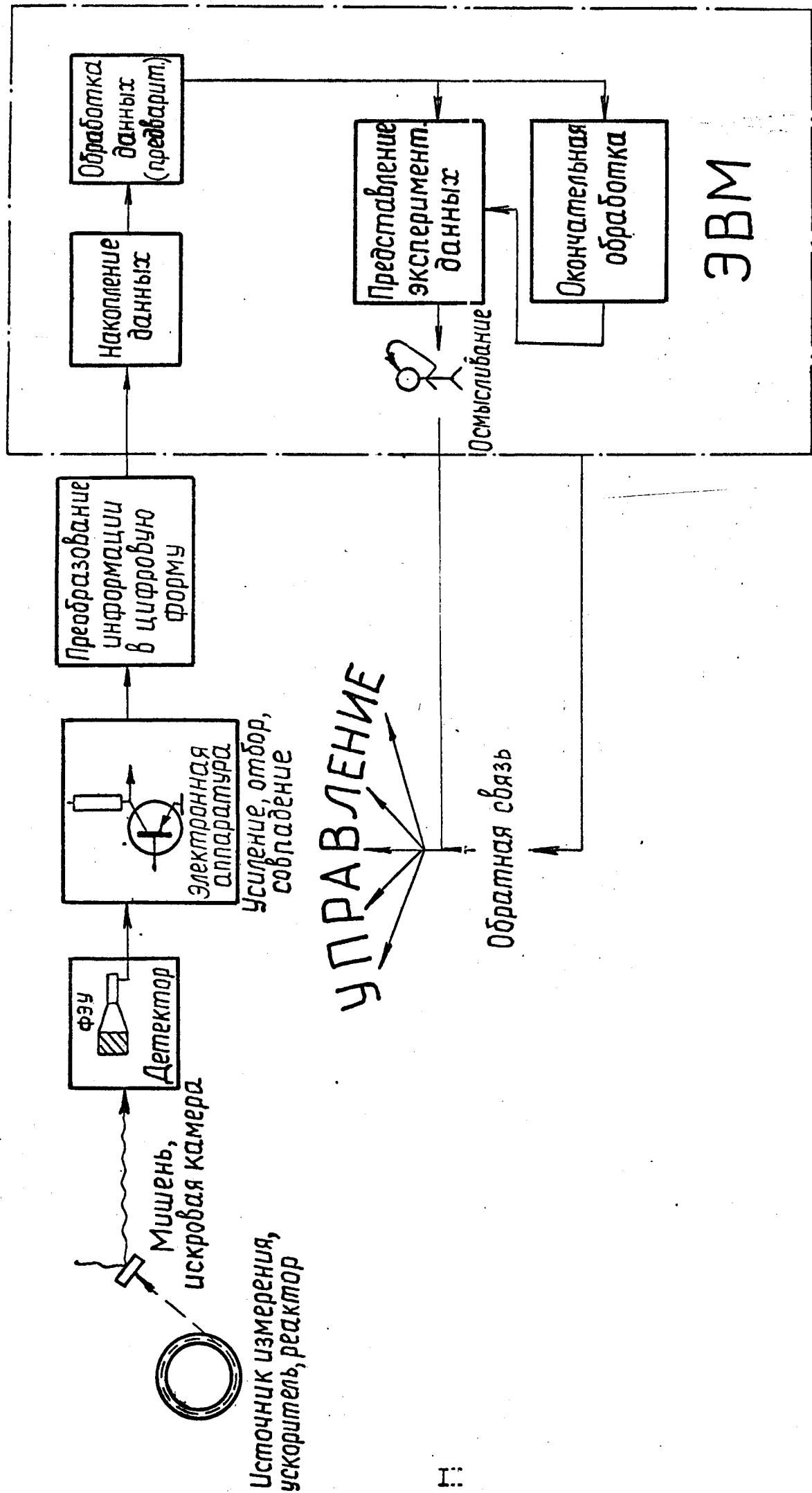


Рис. 1

3. Режим работы ЭВМ "На линии" и "Вне". Включение ЭВМ непосредственно в тракт регистрации экспериментальных данных для накопления или обработки этих данных в процессе самого эксперимента будем называть режимом работы ЭВМ "На линии" с экспериментальной аппаратурой (*on-line*).

В тех случаях, когда обработка экспериментальных данных проводится после окончания эксперимента, т.е. вне кольца экспериментального оборудования, результаты обработки физик получает через некоторое время. Тогда обратная связь может быть "запаздывающей", а в ряде случаев и не эффективной с точки зрения использования результатов обработки в ходе самого опыта. Режим работы ЭВМ вне кольца экспериментального оборудования будем называть режимом "ВНЕ" эксперимента (*off-line*).

Заметим, что в подавляющем большинстве случаев используются в режиме "на линии" цифровые ЭВМ. Как правило, это универсальные машины, относящиеся к классу малых или средних. Класс машин определяется, в основном, стоимостными соображениями. Здесь можно заметить две противоположные тенденции. Дело в том, что в силу универсальности ЭВМ на них можно проводить одновременно с накоплением данных и их обработку. Это ускоряет получение результатов, улучшает контроль за экспериментом и ускоряет реакцию на возможные отклонения самого эксперимента от первоначального плана. Однако стремление расширить обработку в ходе эксперимента требует увеличения памяти ЭВМ, ее быстродействия, а также создания специальных программ и более сложного математического обеспечения машины. Удовлетворение этих требований практически оказывается возможным лишь на больших ЭВМ, на которых задача обработки осуществляется быстрее.

Естественно, что в зависимости от конкретных условий решение проблемы сводится к компромиссу. На ЭВМ, используемых "на линии", проводится обычно лишь частичная, необходимая для контроля за опытом **ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА** регистрируемых данных. Часто экспериментальные данные записываются на магнитную ленту, которая затем переносится на более мощные машины для проведения **ОКОНЧАТЕЛЬНОЙ** обработки. В ряде случаев данные транслируются между машинами по специальным электрическим линиям связи.

Значение выражений "предварительная обработка" и "окончательная обработка" чисто условные. Можно условиться под предварительной обработкой понимать такую обработку экспериментальных данных, которая необходима для контроля за ходом эксперимента. К окончательной обработке можно отнести процессы обработки, связанные с физической интерпретацией результатов, вычислением физических параметров и т.д. Заметим, что достоверность и полезность полученной в опыте информации могут быть выяснены лишь после окончательной обработки.

В таблице 3 приведены основные характеристики некоторых западных ЭВМ, которые нашли применение в экспериментальной практике и которые относятся к классу малых машин (стоимость до 150 тыс. долларов). Вместе с тем следует заметить, что и более дорогие ЭВМ (стоимостью до 1 млн. долларов) находят применение в экспериментальной практике в режиме "на линии".

4. Ввод данных. Как мы видим, в общем случае использование ЭВМ "на линии" предусматривает ввод закодированных данных в машину. Оставляя в стороне детальное рассмотрение вопросов кодирования, остановимся несколько подробнее на вопросах ввода экспериментальных данных в ЭВМ.

Тип ЭВМ	Память (тыс. слов)	Длина слова (бит)	Цикл обра- щения к па- мяти	Время сложе- ния (мксек)	Внешнее прерывание	Уровни прио- ритетов	Буферный канал
ISA-210	4-8	21	2	6	64	2	1
ISA-2100	4-32	21	2	4	64	2	1
СДС-8090							
СДС-160А	4-32	12	6,4	12,8	64	16	1
СДС-3100	4-32	24	1,75	3,5	32	15	1
IBM 360/30	2-16	32	16	39	6	1	1
SDS 910	2-16	24	16	16	896	896	1
SDS 920	4-16	24	16	3,5	896	896	1
SDS 930	4-32	24	3,85	3,85	896	896	1
РДР -1	4-64	18	5	10	16	16	1
РДР -4	4-32	18	8	16	16	16	1
РДР -7	4-128	32	0,85	1,7	947	947	8
РДР -8	4-32	12	1,5	3	1	1	7
РДР -8	2-32	12	8	36	1	1	7
РДР -9	8-32	18	1,0	2	8	8	8

Как уже было отмечено, ЭВМ первого поколения предназначались в основном для вычислительных работ. В связи с этим во многих ЭВМ не было предусмотрено специальных режимов ввода цифровой информации от внешних относительно машины объектов. Из-за этого перед физиками, использующими ЭВМ, возник вопрос организации на таких машинах ввода цифровых данных. Известны работы по организации ввода на машинах М-20, "Минск", БЭСМ-4 и др., выполненные в физических институтах. Современные ЭВМ, как правило, имеют возможность вводить данные от нескольких внешних объектов.

В силу программной организации работы сама машина принципиально может использоваться одновременно для выполнения нескольких задач, последовательно и достаточно быстро меняя объекты, с которыми она работает, и программы работы. Ввод данных и их обработка в машине могут чередоваться, так что практически можно организовать одновременное выполнение программ обработки и программ приема данных. Такая организация работы характерна для ЭВМ с однопрограммной работой. Более сложно организованные ЭВМ (как правило, большие) имеют структуру, обеспечивающую одновременное выполнение нескольких программ - работа в мультипрограммном режиме.

Управление вводом экспериментальных данных на большинстве используемых ЭВМ осуществляется одним из следующих путей.

Программное управление. По сигналу от экспериментальной аппаратуры прерывается текущая программа работы ЭВМ, и машина переходит на выполнение программ приема цифровых кодов. Могут быть использованы и более сложные формы обслуживания - обслуживание нескольких объектов с приоритетом и т.д. При программном управлении процесс прерывания, смена программы, восстановление прерванного режима являются дополнительными факторами, требующими определенного времени

ЭВМ для их выполнения. В конечном итоге это приводит к нежелательным ограничениям на скорости набора экспериментальных данных.

Вместе с тем, благодаря программному управлению, появляется гибкость в обработке на ЭВМ каждого поступающего события по соответствующей программе, проведения сортировки и т.д.

Вторым, получившим распространение, способом ввода является ввод через КАНАЛ данных, которым оснащено большинство современных ЭВМ. Канал данных позволяет вводить и выводить информацию из памяти (оперативной) ЭВМ без остановки основной программы работы машины. Прерывание работы необходимо в этом случае лишь для организации связи ЭВМ - внешний объект. Скорость приема данных по такому автономному каналу близка к предельной скорости работы блока памяти. Накопление массива данных и передача этого массива в другие блоки машины (например, перезапись на магнитную ленту) может происходить поочередно: накапливаться в одной части памяти, а переписываться из другой, а затем наоборот. Это может ускорить прием и обработку данных, особенно тогда, когда данные поступают прерывисто (импульсный режим работы регистрирующего устройства).

Наличие канала и системы прерывания решает практически задачу ввода цифровой экспериментальной информации в ЭВМ. После решения этой задачи на первый план выдвигаются проблемы организации хранения и обработки данных в машине. Решение этих проблем в большей мере падает на задачи программирования.

5. Программная организация работы ЭВМ открывает широкие и разнообразные возможности комбинирования различных приемов накопления и обработки данных в пределах технических возможностей используемой ЭВМ (емкость блоков памяти, их быстродействие, наличие блоков с магнитной лентой, дисков и т.д.), а также программных возможностей,

заложены в машину (система команд, трансляторы и другое математическое обеспечение). Хотя программная организация работы ЭВМ и открывает возможности большого разнообразия в обращении с введенными в машину данными, однако они не беспредельны. На выполнение программ требуется определенное время. Это накладывает ограничение на возможность обработки регистрируемых данных. При большом потоке экспериментальной информации она, как правило, записывается на магнитную ленту. В процессе эксперимента проводится лишь предварительная обработка или обработка части регистрируемых данных.

6. Новые направления в методике эксперимента с ЭВМ. Наряду с совершенствованием методических приемов регистрации экспериментальной информации, которые в конечном счете сводятся к наиболее раннему отбору полезной информации и ограничению поступаемых в ЭВМ данных (например, нелинейное кодирование, создание цифровых окон, ассоциативные методы регистрации и др.) продолжают поиски методов, имеющих своей целью внедрение новых решений в структурную схему регистрирующей аппаратуры. Можно упомянуть одно из направлений, которое предусматривает комбинацию в одной системе программноорганизованной аппаратуры (какой является ЭВМ), и специализированной аппаратуры с фиксированной программой работы. Применение последнего позволяет до минимума сократить время на выполнение отдельных типовых программ регистрации и первичной обработки.

По сути дела автономный канал ЭВМ является примером такой комбинации. Другим примером в области спектрометрии являются операции добавления единицы по заданному адресу. Это наиболее массовая операция при наборе спектра. Выполнение ее в виде специальной автономной команды в общем комплексе ЭВМ позволит значительно повысить быстродействие регистрирующей аппаратуры и освободить основной

процессор для выполнения функций обработки. Могут быть приведены и другие примеры рационального разделения "труда" между программно-организованной частью и аппаратурой с фиксированной программой в общем комплексе экспериментального тракта.

7. Измерительные центры. На крупных физических установках (ускоритель, реактор) проводятся обычно несколько экспериментальных исследований. Несмотря на методические особенности отдельных экспериментов, многие из них предусматривают однотипные приемы сбора, а нередко и обработки регистрируемых данных. В этом плане ЭВМ с программной организацией работы может оказаться основой, вокруг которой формируются целые комплексы регистрирующей и обрабатывающей аппаратуры для нескольких экспериментов. Такие комплексы физических лабораторий получили название **ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ЦЕНТРОВ**.

Тенденцию в создании измерительных центров можно проследить как в лабораториях физики высоких энергий, так и в лабораториях физики низких энергий.

Первоначально давались довольно оптимистические оценки возможности использования ЭВМ одновременно для накопления и обработки экспериментальных данных для большого числа разнообразных экспериментов. Однако в процессе накопления опыта применения ЭВМ оказалось, что использование одной ЭВМ в нескольких задачах для накопления и обработки информации связано со значительными трудностями. Требуется создание довольно сложных программ организации работы ЭВМ, при этом частая сменяемость программ снижает эффективное время машины. Появляются трудности психологического характера, связанные с "недоверием" экспериментатора к аппаратуре, которая используется не только в его эксперименте и каким-то (часто самым незначительным) образом может влиять на этот эксперимент. Однако развитие

самих ЭВМ в направлении мультипрограммности работы, создании широких возможностей для связи с внешними объектами, системы прерывания, развитой системы математического обеспечения и т.д. дает основание отметить перспективность этого методического направления в экспериментальной физике.

4. ЭВМ в процессе обработки фотографических снимков

Фотографическое изображение как средство регистрации экспериментальных данных обладает огромной информационной емкостью. Именно этим обусловлено широкое использование фотографических методов регистрации, особенно в задачах физики высоких энергий. С другой стороны, именно информационная емкость фотографий определяет трудности, возникающие при съеме этой информации со снимка.

I. Процесс обработки снимков, получаемых при экспонировании пузырьковых и искровых камер, можно подразделить на три основных этапа:

а) Просмотр фотографий, как правило, не связан с измерениями и предусматривает оценку физиком или лаборантом полезности зарегистрированного события по определенным заданным критериям.

В ряде случаев из нескольких сот отбирается лишь несколько событий. Автоматизация процесса просмотра идет в направлении создания просмотрных столов с большим и хорошо освещенным полем, на котором проектируется изображение с пленки, создания удобств оператору при работе с большим объемом пленки и т.д.

б) На этапе измерения фиксируются координаты отдельных точек треков и другие служебные метки. Эти данные вводятся в вычислительную машину. Три основных класса приборов получили распространение

в экспериментальной практике для выполнения измерений:

- проекционные микроскопы и измерительные столы, предоставляющие неавтоматические измерительные приборы, работа на которых проводится оператором вручную (измерительные микроскопы с отсчетной системой - ЦУОС - относятся в соответствии с этой классификацией к неавтоматическим устройствам).

- полуавтоматические измерительные устройства, работа на которых предусматривает участие оператора в измерительных операциях, например, задание ручным способом для выполнения определенных вспомогательных функций начальной точки измерения (вершины события в "Спиральном измерителе" - SR) либо направления движения измерительной части вдоль измеряемого трека (в измерительном проекторе - SMP) и т.д. Точные измерения координат треков производятся в таких устройствах автоматически.

- автоматические измерительные устройства, которые без участия оператора производят измерение координат, и запись этих координат в ЭВМ.

в) Восстановление на основе полученных измерений картины зарегистрированного в эксперименте взаимодействия и его анализ является третьим этапом обработки снимков.

2. Неавтоматические измерительные устройства первого поколения фиксировали данные измерения для ввода в ЭВМ на перфоленте, перфокартах, реже - на магнитной ленте. Возможные ошибки оператора могли быть обнаружены лишь при соответствующей обработке материала на ЭВМ, т.е. спустя достаточно продолжительное время. Исправление этих ошибок, особенно, если оно связано с поиском нужного кадра на пленке и перемерами первоначального материала, связано с большими непроизводительными потерями.

Значительно большей производительности удается достичь на измерительных устройствах, связанных непосредственно с ЭВМ. Машина в этом случае не только накапливает данные измерений, но и производит первоначальный контроль этих данных. Сравнительно легко и быстро обнаруживаются ошибки операторов. Поскольку сигнал от ЭВМ к оператору поступает практически сразу же после сделанной ошибки, то исправление последней может быть произведено на установленном для измерения кадре пленки. Сокращается также парк механических малонадежных устройств, участвующих в процессе измерений.

Для контроля достоверности информации с проекторов или измерительных столов практически могут быть использованы любые вычислительные машины, имеющие канал ввода цифровых данных. Однако из экономических соображений наиболее часто используют малые или средние ЭВМ (БЭСМ-4, Минск-22, IBM-360/30, САЕ-510 и др.). При этом одна ЭВМ обслуживает несколько измерительных устройств. На ЭВМ обычно проводится лишь начальная обработка получаемых данных - контроль и частичная обработка в плоскости кадра. Для связи оператора с ЭВМ обычно используются печатающие машинки либо несложные световые табло с ограниченным (порядка 10) числом инструкций, представляемых оператору в буквенной или условной форме (в цифрах).

3. Полуавтоматические и автоматические измерительные устройства. В полуавтоматических и автоматических устройствах измерения фотографий ЭВМ является неременной составной частью измерительного комплекса, обеспечивая не только сбор и контроль на достоверность получаемой информации, но также и элементы управления устройством.

Большинство автоматических и полуавтоматических измерительных устройств используют световое пятно малого диаметра (10-25 микрон) для последовательного просвечивания измеряемого кадра (сканирование снимка). Момент пересечения этим пятном трека фиксируется как координаты данной точки трека. Эти координаты заносятся в ЭВМ, которая непрерывно контролирует получаемые данные и на основе обработки их выдает сканирующему устройству в цифровом виде те или иные управляющие сигналы.

Существует несколько типов сканирующих измерительных устройств, которые различаются: по способу формирования сканирующего пятна (оптико-механическая развертка в НРД и SR, электронно-оптическая развертка в устройствах с электронно-лучевыми трубками); типу сканирования (всего кадра, наподобие телевизионного раstra, или задаваемой от ЭВМ его части); величину сканирующего кадра и т.д.

Подчеркивая роль ЭВМ в измерительных сканирующих устройствах, нужно отметить одну важную тенденцию в развитии таких устройств. Дело в том, что целый ряд функций по управлению оптико-механической или электронно-оптической частью измерительного автомата могут быть переданы ЭВМ, вместо того, чтобы изготавливать специальные электронные блоки для выполнения этих функций. Таким образом, программно организованная ЭВМ в таких устройствах становится составной частью прибора, выполняя функции блока памяти для хранения оперативной информации, а также некоторые логические функции, и утрачивая по существу функции вычислителя как такового. Наибольшее применение в таких задачах находят малые ЭВМ, имеющие относительно быструю память (1 мксек, несколько тысяч слов), несложное арифметическое устройство и ограниченный ассортимент внешних устройств. Последними двумя факторами определяется невысокая стоимость таких ЭВМ (примером может служить машина РДР-9).

4. Завершающий этап процесса обработки снимков включает подсчет результатов измерений на ЭВМ. Вначале тем или иным способом отсеиваются фоновые данные и обобщаются истинные измерения нужных треков (программы "сжатия" данных и "фильтрации").

Экспериментальная практика выработала ряд общих приемов обработки камерных фотографий. Эти приемы отображаются в комплексе стандартизованных для большого круга задач программ обработки, приспособленных к ЭВМ, имеющим транслятор с ФОРТРАНа. Комплекс программ, получивший распространение в Европе, предусматривает геометрическую реконструкцию события, зарегистрированного на снимке и измеренного с помощью измерительного устройства (*THRESH*), кинематический расчет, имеющий целью определить физические параметры участвующих во взаимодействии частиц (*GRIND*) и, наконец, программа статистического анализа данных (*SLICE, SUMX*). Подготовка этих программ является большой и очень трудоемкой работой. Так, составление рабочей программы для машины IBM-7094, связанной с НРД, потребовало порядка 25 человеко-лет работы программистов-математиков. Каждая из названных выше программ обработки требует для размещения несколько десятков тысяч слов памяти ЭВМ.

На этапе обработки используются, как правило, наиболее мощные из доступных ЭВМ с большой оперативной памятью (десятки тысяч слов), памятью большой емкости на дисках и т.д. Так, например, одно устройство НРД полностью может загрузить работой такую машину, как IBM-7094.

Однако не все лаборатории имеют возможность использовать крупные вычислительные машины для управления измерительными автоматами и для полной обработки данных в процессе их получения. Наряду

с работой таких автоматических сканирующих устройств (НРД и „Luciole”) с большими машинами - (СДС-6600, IBM-7094 и т.д.), на которых производится накопление данных, контроль и управление сканирующего устройства, а также полная обработка полученной информации, находят применение разомкнутые системы обработки, в которых автоматические устройства работают с малыми ЭВМ (такими, как например, СДС-160А), выполняющими минимальные функции управления, контроля и записывающие данные на магнитную ленту, которая затем транспортируется для обработки на более крупные ЭВМ. Такие системы, естественно, менее производительны, хотя и позволяют включить в процесс обработки снимков, полученных на крупных установках, широкий круг лабораторий, университетов, отдельных групп и т.д.

5. Методика обработки снимков с искровых камер имеет некоторые отличия от методики обработки снимков с пузырьковых камер. Снимки с искровых камер, как правило, менее загружены фоном, требуемая точность измерения за счет более широкого следа меньше, контрастность фотографий выше и т.д. Все это обуславливает возможность упростить и удешевить измерительные устройства, предназначенные для обработки фотографий лишь с искровых камер. В ряде случаев весь процесс обработки, начиная с отбраковки событий, удается выполнять автоматически на сканирующем автомате, управляемом ЭВМ, т.е. без предварительного просмотра снимков оператором.

Помимо специальных устройств измерения могут использоваться для измерений снимков с икровых камер также некоторые сканирующие устройства, предназначенные для обработки снимков с пузырьковых камер. В качестве примера можно упомянуть НРД, часто используемое для этих целей.

6. Полностью автоматизированные системы обработки. Существующие системы обработки снимков, как правило, предусматривают то или иное участие человека на этапе просмотра и измерения, хотя отдельные операции в этом процессе осуществляются автоматически. Уже несколько лет ведутся разработки полностью автоматизированных систем обработки фотографий, которые по замыслу должны исключить человека в этом процессе. Основой таких систем являются устройства сканирования снимков и ЭВМ, снабженные развитой системой программ, включающей программы автоматического опознавания событий. Хотя это направление в общем плане автоматизации процессов обработки фотографий и является многообещающим, на настоящем этапе осуществление подобных систем наталкивается на трудности создания программ работы таких систем и на недостаточные возможности (быстродействие, память) ЭВМ. В процессе развития систем обработки с распознаванием не только стремятся использовать универсальные ЭВМ (PEPR-проект), но и создать специализированные вычислительные машины (ILLIAC-III) либо создать дополнительные специализированные блоки к универсальным ЭВМ, предназначенные для выполнения некоторых операций при обработке снимков с пузырьковых камер (SATR-проект).

7. Разделение труда между человеком и ЭВМ в системе обработки снимков. Трудности, которые возникают при создании полностью автоматизированных систем обработки, обусловленные, главным образом, проблемами больших ЭВМ и созданием соответствующих программ, вызвали поиски решений проблемы обработки большого количества снимков несколько в другом направлении. Дело в том, что целый ряд вопросов, особенно необычных или сложных как при измерениях, так и при опознавании, человеку проще решить самому, нежели "научить" ЭВМ осуществлять решение. С другой стороны, ряд рутинных операций, встречающихся в процессе обработки, ЭВМ выполняет быстрее. Возникает воп-

рос о целесообразном распределении обязанностей между человеком и ЭВМ в процессе обработки фотографий.

Мы уже отмечали, что в автоматических устройствах измерений (например, НРД) основные функции управления сканированием возлагаются на ЭВМ. Программы при этом получаются достаточно сложными, требуются быстродействующие ЭВМ с большой оперативной памятью (общая тенденция - использовать для автоматических измерительных устройств наиболее мощные из доступных ЭВМ, например, СДС-6600, IBM-7094 и др.). Желательно, чтобы программа была способна проанализировать и принять решение в большинстве встречаемых случаев.

Развитие и совершенствование таких систем происходит главным образом за счет совершенствования (и усложнения, естественно) программной стороны. Наглядным примером этого может служить развитие программ для НРД. Если в первоначальных вариантах требовалось предварительное задание "коридора" вдоль измеряемых треков (оно проводится путем ручного измерения на измерительных столах 3 точек вдоль каждого трека), в которых автомат осуществляет точное измерение координат, то последующее совершенствование программ позволяет задавать ручным способом лишь координату вершины взаимодействия (*„Minimum Guidance"*). Таким образом, человек готовит данные автомату и не участвует в дальнейшем процессе измерения.

Развивается и другое направление, в котором определенная роль в процессе измерения отводится человеку как звену измерительной системы "сканирующий автомат - ЭВМ". Человек в этом случае берет на себя решения тех вопросов, с которыми в целом ЭВМ либо не может справиться, либо справляется ценой значительного усложнения программ.

Для участия человека в процессе автоматической работы сканирующего автомата предусматриваются специальные методы быстрого и

удобного для восприятия человеком представления данных, с которыми оперирует ЭВМ. Благодаря этому оператор может вмешиваться в процессе измерений в работу всего комплекса, задавая машине дополнительные первоначальные данные („SR“, „SMP“ и др.), либо в более сложных случаях оперативно (!) помочь машине принимать решения в нетривиальных случаях. Главной особенностью таких систем является то, что программы анализа, оценивающие ситуацию и управляющие на основе этого процессом измерения, могут быть значительно сокращены. Сокращается также время работы ЭВМ на выполнение анализа непонятной для машины ситуации. Даже при самой простой, но не предусмотренной программой ошибке, требуется при полностью автоматизированной измерительной системе последовательное выполнение чуть ли не всего арсенала программ.

Включение человека в тракт измерения (при выполнении большинства операций автоматическим способом с помощью ЭВМ) позволяет использовать при работе со сканирующими устройствами относительно небольшие ЭВМ (например, РДР-7 и РДР-9). Представляет интерес в этом плане опыт работы автоматического сканирующего автомата с электронно-лучевой трубкой POLLY (Аргонская лаборатория, США), используемого для обработки фотографий с пузырьковых камер и предусматривающего специальные средства с широкими возможностями для визуального представления данных оператору. За счет сокращения объема программ и передачи ряда решений оператору автомат успешно эксплуатируется с относительно небольшой машиной РДР-7 (8 тыс. слов памяти), а производительность такого прибора приближается к производительности НРД.

5. Управление физическими установками

Рассматривая роль вычислительных машин в экспериментальной физике, следует отметить еще одну область внедрения ЭВМ - включение машины в процессы управления крупными физическими установками, такими, как реактор, ускоритель, пузырьковые камеры и т.д. Здесь можно выделить три основные функции ЭВМ:

1) Машина - регистратор и советчик, когда с помощью ЭВМ осуществляется сбор и контроль большого числа параметров, характеризующих состояние реактора, ускорителя, камеры и т.д. (ток магнита, температура, интенсивность пучка и т.д.). Контроль параметров, предупреждение о нежелательных или аварийных ситуациях, документация режима может осуществляться даже небольшими универсальными ЭВМ либо другими специализированными ЭВМ, предназначенными для автоматического сбора подобной информации на промышленных объектах.

2) Управляющие ЭВМ являются следующим шагом в процессе автоматизации управления. Последние работы в этой области свидетельствуют о довольно широком и разнообразном фронте внедрения ЭВМ как для управления реакторами, так и для поддержания режима больших ускорителей.

Использование ЭВМ в процессе управления физической установкой принципиально не отличается от подобной роли их в управленческих операциях других промышленных объектов, хотя датчики информации и исполнительные механизмы имеют свою специфику.

3) Комплексная автоматизация эксперимента на базе ЭВМ является, пожалуй, наиболее заслуживающей внимания перспективой автоматизации проведения физических исследований. Здесь управление режимом ускорителя или реактора, регистрация экспериментальной инфор-

мации и ее первичная обработка проводятся под управлением машины (или связанных между собой машин). Попытки комплексной автоматизации эксперимента осуществлены на относительно небольших экспериментальных установках, таких, например, как ускоритель Ван-де-Грааффа. В Аргонской национальной лаборатории на таком ускорителе (3 Мэв) используется машина СДС-160А. Машина используется для регистрации экспериментальной информации, обработки этой информации и для управления режимом ускорителя. Все данные (экспериментальные и данные о режиме ускорителя) преобразовываются в цифровую форму и вводятся в ЭВМ, которой поручаются функции накопления и анализа этих данных, а также в соответствии с заданной программой эксперимента выдачи командных кодов для управления. Коды преобразовываются в аналоговые величины (напряжение, положение регулятора), поддерживающие нужный режим ускорителя.

Автоматизация более крупных установок и тем паче комплексная автоматизация эксперимента на этих установках являются предметом исследований сегодняшнего дня.

6. Системы машин крупных физических центров

Из предыдущего изложения видно, что использование ЭВМ в экспериментальной физике достаточно разнообразно. И хотя более крупные и быстродействующие ЭВМ могут, принципиально, более отвечать требованиям, возникающим при регистрации и обработке экспериментальных данных, использование таких машин связано с относительно большими затратами (большие машины стоят несколько миллионов долларов).

С другой стороны, мы видим, что малые и средние ЭВМ являются удобным экспериментальным прибором для целого ряда экспериментов.

Практически в физических лабораториях находят широкое применение все типы цифровых вычислительных машин от малых до самых больших. При этом в цепи обработки экспериментальных данных зачастую используется не одна, а несколько ЭВМ. Мы уже отмечали, что окончательную обработку предпочтительно проводить на больших машинах, процесс же регистрации и предварительная обработка могут выполняться менее мощными ЭВМ.

Обмен информацией между ЭВМ возможен с использованием магнитной ленты, запись на которую производится в стандартном для всех машин коде. В западных странах в качестве стандартного при обмене используется 7-дорожечная запись на полдюймовую магнитную ленту (код IBM). Обычно, если в ЭВМ используется отличная от этого стандарта форма записи на ленту, то машина снабжается дополнительным специальным блоком записи со стандартным кодом, который обеспечивает обмен магнитными лентами с другими машинами.

Применение магнитной ленты для обмена информацией между несколькими машинами в физических лабораториях имеет ряд ограничений. Эти ограничения вызваны неизбежной задержкой в получении результата обработки экспериментальных данных, связанной с транспортировкой ленты между машинами. Кроме того, всегда остается определенная вероятность потери информации из-за порчи магнитной ленты при транспортировке и вводе данных в ЭВМ. Задержка обработки и сравнительно невысокая надежность магнитной ленты обусловили создание комплекса связанных между собой вычислительных машин физических центров - СИСТЕМУ МАШИН.

В большинстве случаев структурно система машин строится по принципу связи центра с несколькими периферийными ЭВМ. Функции центральной машины выполняет обычно наиболее мощная из наличных

ЭВМ (или несколько больших ЭВМ). Периферийные машины по своему типу и классу могут быть различны. Как правило, они располагаются вблизи экспериментального оборудования у ускорителей, реакторов и т.д. Связь различных по типу ЭВМ между собой не вызывает принципиальных затруднений, поскольку обмен происходит, как правило, целыми массивами информации. Согласование форматов машинных слов происходит либо в специальных блоках в тракте связи, либо программным путем выполняется в самой машине.

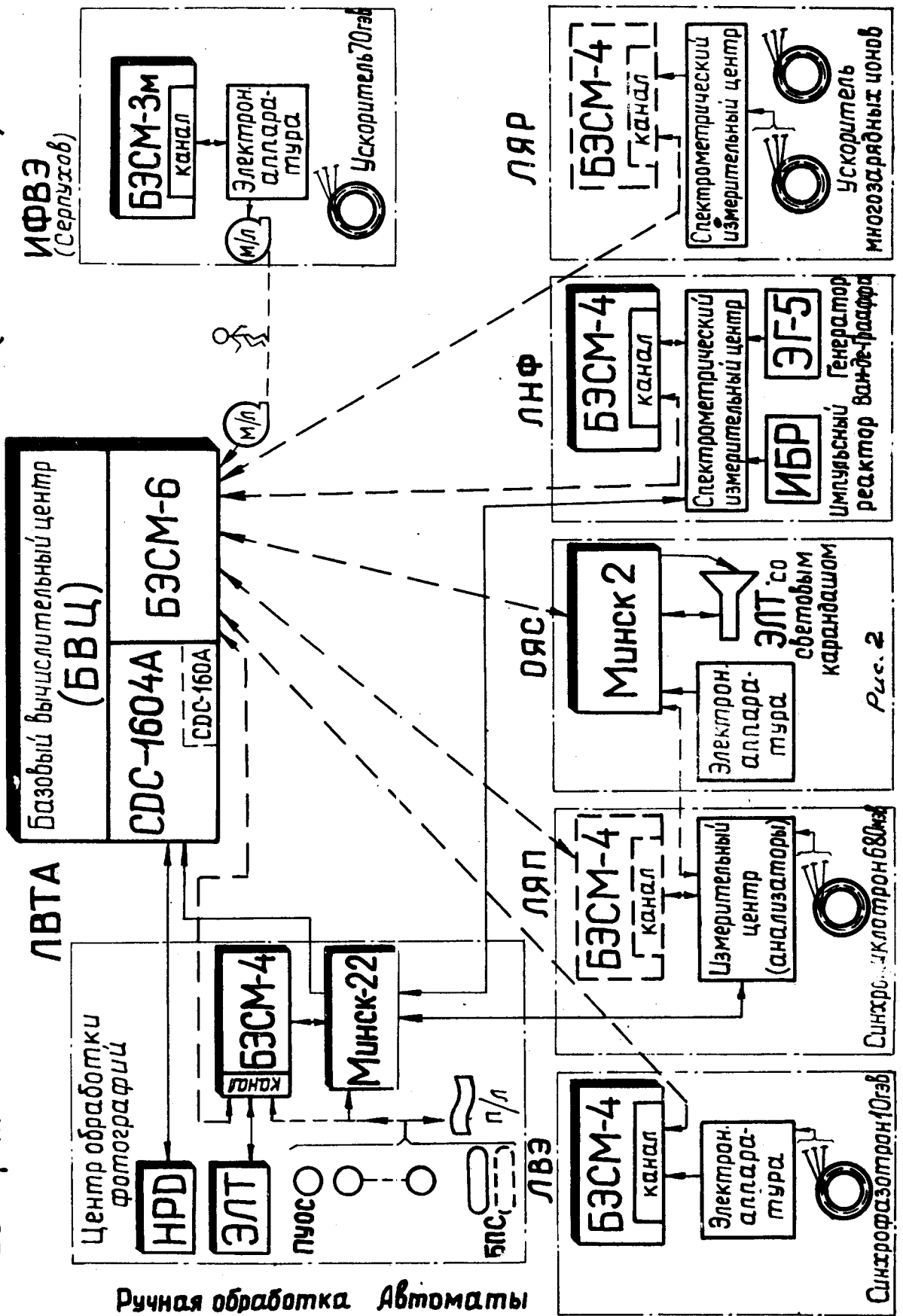
Наличие в физическом центре нескольких взаимосвязанных между собой вычислительных машин позволяет поставить вопрос о дифференцированном и целесообразном разделении функций по сбору и обработке экспериментальной информации между различными машинами. Эти функции ложатся на программное обеспечение уже не одной ЭВМ, а системы вычислительных машин.

Другой аспект подхода к системе ЭВМ физических центров заключается в создании системы обращения большого числа пользователей к имеющимся в центре вычислительным мощностям. Эта задача решается путем создания системы выносных пультов, включающих печатающую машинку, несложное вводное устройство данных в ЭВМ, а в ряде случаев и устройство визуального представления данных из ЭВМ. Благодаря режиму разделения времени на ЭВМ появляется возможность обращения к машине одновременно со своих индивидуальных пультов нескольким пользователям. При этом результаты обработки на ЭВМ пользователь получает незамедлительно.

Организация ЭВМ в систему машин для дифференцированной работы в процессе сбора и обработки экспериментальных данных, а также система выносных пультов пользователей позволяют существенно повысить производительность ЭВМ в общем цикле физического эксперимента и поднять значимость вычислительных машин как экспериментального оборудования.

На рис. 2 приведена схема создаваемого в ОИЯИ измерительно-

Измерительно-вычислительный комплекс ОИЯИ (ИВК ОИЯИ)



Ручная обработка Автоматы

вычислительного комплекса. Многие из отмеченных выше положений можно проследить на примере этого комплекса.

7. Дополнительные замечания к теме лекции

Широкое внедрение ЭВМ в экспериментальную физику потребовало решения целого ряда методических, технических и организационных вопросов, которые в ряде случаев являются частью общей проблемы "взаимоотношений" человека и машины. Помимо уже отмеченной роли ЭВМ в основных методических экспериментальных направлениях (работа на линии, обработка фотографий, управление крупными физическими установками) кратко остановимся еще на некоторых вопросах организации экспериментальной работы.

I. Прежде всего следует подчеркнуть возникшую перед экспериментальной физикой проблему программирования. Поскольку все операции на ЭВМ должны программироваться, то перед всеми пользователями машин встает задача овладеть программированием. Физики-экспериментаторы осваивают программирование, как инструмент своей повседневной деятельности. Вместе с тем появляется новая категория экспериментаторов в физических лабораториях - специалисты по программированию, которые, специализируясь в некоторой области экспериментальной физики, развивают методы обработки экспериментальной информации на ЭВМ.

Можно сказать, не боясь преувеличения, что вопросы программного обеспечения задач обработки экспериментальных данных стали одной из основных проблем в экспериментальной методике. И если раньше, в век ламповой техники, создание экспериментальной аппаратуры регистрации являлось первостепенной методической задачей, а поддержание этой аппаратуры в рабочем состоянии требовало от экспериментатора постоянной заботы, то с внедрением более надежной полупроводниковой техники и ЭВМ в экспериментальную методику на

первый план выдвигаются проблемы программирования обработки данных и организация работы ЭВМ и другого оборудования.

Меняются, становятся более доступными для человека методы программирования. Программирование в кодах машины в большинстве случаев заменяется программированием на символических языках. В физических лабораториях наибольшее распространение получил язык ФОРТРАН. Благодаря этому ЭВМ стала доступной для широкого круга экспериментаторов и инженеров, работающих в различных областях экспериментальной физики.

2. Нельзя не остановиться на еще одном новом методическом направлении, связанном с работой ЭВМ в физических лабораториях. Речь идет о развитии методов удобного общения между человеком и машиной. Наряду с получившим распространение методом управления ЭВМ с помощью печатающей машинки, обеспечивающей возможность "разговора" между ЭВМ и человеком, за последние годы получают все большее распространение методы визуального представления текстовой и графической информации из машины. Большую наглядность и несравненно более высокую производительность обеспечивает осциллограф со световым карандашом в задачах обработки спектрометрической информации (одна из таких систем - созданная в ОИЯИ с машиной "Минск-2"). Начинают внедряться методы визуального представления информации из ЭВМ и управления машиной с помощью светового карандаша (или управляемого светового пятна) при обработке камерных фотографий. С этой целью создаются специальные системы с использованием ЭВМ.

3. В заключение остановимся кратко на организационных вопросах, связанных с эксплуатацией ЭВМ в физических лабораториях. Усложнение самих ЭВМ, а также повышение надежности их элементов.

и машин в целом вызывают необходимость пересмотреть старые методы эксплуатации машин. Повышаются требования к квалификации технического персонала на ЭВМ и усложняются методы профилактических и ремонтных работ. В связи с этим более рациональной формой технического обслуживания ЭВМ становится такая форма, когда фирма-изготовитель берет на себя техническое обслуживание машин физических лабораторий.

х х х

Рассмотренные примеры применения ЭВМ в задачах экспериментальной физики сложились как самостоятельные методические направления в течение последних 4 + 5 лет. Эти направления продолжают развиваться и совершенствоваться: от отдельных машин в эксперименте к системе машин физического исследовательского центра с обеспечением легкого доступа всех пользователей к имеющимся вычислительным мощностям в процессах управления экспериментом, накопления и обработки экспериментальных данных. Вычислительная техника открывает широкие возможности для экспериментальной физики, однако использование этих возможностей связано с освоением всех аспектов, определяющих и регламентирующих эффективную работу такой техники. К ним относятся

- техническая оснащенность
- система программного обеспечения имеющейся техники
- целый ряд психологических моментов, связанных с переходом на новую технику и, наконец,
- организационная подготовка персонала.

Рукопись поступила в издательский отдел

29 декабря 1968 года.