

23 073
3-123



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ

3260

Г.И. Забиякин

МНОГОТРАКТОВЫЙ СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЙ
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР

Автореферат диссертации на соискание
ученой степени доктора технических наук

Дубна 1967

3260

Г.И. Забиякин

**МНОГОТРАКТОВЫЙ СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЙ
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР**

Автореферат диссертации на соискание
ученой степени доктора технических наук

**Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА**

Современный уровень развития экспериментальных методов ядерной физики характерен тем, что, с одной стороны, усложняется, становится более комплексной сама методика проведения экспериментов и используемая при этом регистрирующая аппаратура, с другой стороны, как следствие этого, почти лавинообразно увеличивается поток экспериментальной информации, который в подавляющем большинстве случаев не может быть обработан без применения новейших достижений вычислительной техники.

Все это обуславливает необходимость коренных изменений в способах и средствах регистрации и обработки экспериментальной информации путем перехода к развитым системам накопления и обработки данных, к комплексной автоматизации основных процессов проведения физических экспериментов и широкому использованию вычислительной техники. Именно методы и средства вычислительной техники являются той основой, на которой может и фактически происходит в буквальном смысле перевооружение экспериментальной ядерной физики и обновление многих методических приемов.

Вышесказанное в полной мере относится и к спектрометрическим методикам и, в частности, к способам регистрации и обработки информации в экспериментальных исследованиях, проводимых в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ на импульсном быстром реакторе (ИБРе) и электростатическом ускорителе (ЭГ -5).

Автором диссертации совместно с сотрудниками руководимой им группы было предложено создать в Лаборатории нейтронной физики комплекс регистрирующей и обрабатывающей аппаратуры - измерительный центр, рассчитанный на проведение многотрактных спектрометрических измерений и обработку экспериментальной информации. Разработка и создание такого многотрактового измерительного центра проводилась под руководством и при непосредственном участии автора. Выполненные при этом исследования, некоторые методические вопросы, наконец, созданный комплекс регистрирующей и обрабатывающей элект-

ной аппаратуры, который на протяжении ряда лет успешно используется почти во всех экспериментальных спектрометрических измерениях в ЛНФ, а также новый комплекс измерительно-обрабатывающего центра, разработанный на базе вычислительной машины, явились основой представляемой диссертации. Диссертация фактически является обобщением многолетнего опыта автора и работ, выполненных под непосредственным руководством автора (1957-67гг.) по разработке и созданию специальной многоканальной регистрирующей аппаратуры и развитию отдельных методических вопросов спектрометрии.

Реферлируемая работа включает в себя две части.

В первой части (главы I-IV) рассматривается круг вопросов, связанных с методикой проведения спектрометрических измерений и методами построения спектрометрических измерительных центров, а также вопросы создания многотрактового измерительного центра с фиксированной программой работы и центра с ЭВМ.

Вторая часть является дополнением к основной части диссертации. В ней описаны оригинальные узлы и блоки многотрактового измерительного центра, созданные на основе исследований, изложенных в первой части диссертации (Приложение 1), а также рассматриваются вопросы использования ЭВМ "Минск-2" в задачах регистрации и обработки спектрометрической информации (Приложение 2). Обзор вопросов развития многоканальных регистрирующих устройств и применения ЭВМ в задачах физики низких энергий включен в диссертацию в качестве Приложения 3.

Краткое содержание диссертации по главам излагается ниже.

Глава 1. Спектрометрический тракт, вычислительные машины и измерительные центры

В первой главе кратко рассмотрены основные методы построения спектрометрического тракта, начиная от детектора до вычислительной машины включительно. Отмечены тенденции развития регистрирующей аппаратуры при многоканальных и многомерных измерениях. Показано, что наряду с совершенствующимися основными спектрометрическими характеристиками многоканальных регистрирующих

устройств и переходом к более комплексным измерениям все шире внедряются на различных этапах регистрации и обработки спектрометрической информации вычислительные машины и прежде всего универсальные ЭВМ^{1/1}. При этом наиболее существенные новые методические возможности появляются на этапах обработки (текущей и окончательной) некоторого предварительно накопленного объема спектрометрических данных и возможности "совместной" обработки этих данных человеком и машиной.

Включение в спектрометрический тракт узлов с запоминаемой программой работы выдвигает, в свою очередь, в качестве одного из определяющих факторов проблему математического обеспечения ЭВМ. При создании новых методик регистрации и обработки данных основная тяжесть переносится на создание программ выполнения необходимых операций на ЭВМ.

Усложнение электронной аппаратуры спектрометрических методик выдвинуло вопрос о рациональных путях конструирования этой аппаратуры применительно к условиям той или иной физической лаборатории. Иначе говоря, наряду с использованием традиционных приборов (типа многоканальных анализаторов) возникла необходимость в создании единых централизованных комплексов электронного оборудования - измерительных центров, - обеспечивающих основные задачи регистрации и обработки спектрометрической информации на крупных физических установках (реактор, ускоритель и т.д.).

Многотрактовые измерительные центры, предназначенные для одновременной регистрации и обработки данных нескольких спектрометрических измерений, являются в этом плане наиболее комплексным решением вопроса проведения спектрометрических измерений. Первым шагом в этом направлении явилось создание специализированных комплексов с фиксированной программой работы, связанных непосредственно линией связи с универсальными ЭВМ (именно это направление развития центров измерений является в настоящее время характерным для лабораторий нашей страны). Следующим шагом в создании многотрактовых центров является непосредственное включение ЭВМ в тракт регистрации и обработки путем создания на базе блоков памяти ЭВМ специализированных информационных каналов, обеспечивающих независимую от основной программы машины регистрацию спектрометрической информации. (В этом направлении происходит дальнейшее развитие измерительного центра ЛНФ).

Задачи регистрации, текущей и конечной обработки данных предусматривают

выполнение на ЭВМ целого ряда зачастую различных по своей структуре и сложности операций. Это обуславливает особые требования к мультипрограммному режиму работы машины, режимам с разделением времени и т.д., а также разработку и создание комплексов из нескольких машин с иерархической системой связей и программным решением проблем оптимального распределения вычислительных мощностей между задачами.

Глава II. Многоканальный измерительный центр и вопросы спектрометрии

Во второй главе анализируются отдельные узловые вопросы построения многоканального спектрометрического измерительного центра. После краткого формулирования предпосылок создания на ИБРе многоканального измерительного центра подробно рассматриваются требования к основным его узлам.

1. Проанализирован вопрос о выборе блоков основной памяти. Показано, что поскольку измерительный центр рассчитывается на проведение как многоканальных, так и многомерных измерений с большим числом каналов (сотни тысяч и более), то в качестве блоков основной памяти центра при многомерных измерениях целесообразно использовать блоки с магнитной лентой. Другие известные виды памяти, а также другие методы (например, ассоциативные методы запоминания, методы выборочной регистрации), эффективные для частных задач, практически не могут обеспечить широкий круг задач центра. Показано, что вторым типом блоков основной памяти измерительного центра, обеспечивающих многоканальные измерения с числом каналов до нескольких тысяч и сортировку информации с магнитной ленты, целесообразно выбрать ферритовые ЗУ.

В реферируемой работе проведен анализ вопросов построения многомерных регистрирующих систем с магнитной лентой, сформулированы основные положения и рекомендации.

При записи регистрируемых событий на ленту затруднен контроль за регистрируемой информацией и, следовательно, за ходом эксперимента. Для решения этих затруднений предложено включить в тракт регистрации контрольное запоминающее устройство (КЗУ), работающее параллельно с каналом записи

на магнитную ленту^{/2,3/}. Проанализированы основные требования к подобному КЗУ (число каналов, методы подключения и т. д.).

Подробно рассмотрены вопросы, определяющие требования к регистрирующей и обрабатывающей аппаратуре, которые вытекают из требований проведения поканальной сортировки зарегистрированной на магнитной ленте информации. Показана зависимость между временем сортировки, объемом обрабатываемых данных и такими параметрами регистратора, как скорость транспортировки ленты, плотность записи, коэффициент заполнения ленты и т.д.^{/2-4/}. Сформулированы основные закономерности, определяющие конструирование подобных систем. При разработке методов многомерного анализа с использованием магнитной ленты, которая проводилась под руководством автора, были проанализированы методы вероятной оценки потерь и эффективного контроля блоков с магнитной лентой, предполагающие использование временного и амплитудного анализа для исследования сигналов, считываемых с магнитной ленты. Эти методы были развиты до практически применимых для изучения характеристик блоков памяти с магнитной лентой^{/8/}.

Разработанные вопросы построения многомерных систем регистрации с магнитной лентой легли в основу созданных под руководством и при участии автора первых в нашей стране многодорожечных систем регистрации. Три таких системы эксплуатировались в измерительном центре ЛНФ^{/2,5-8/}. В Приложении I приведено описание созданных блоков основной памяти с магнитной лентой.

2. В диссертации проведен анализ вопросов потерь при регистрации (просчётов) в случае применения блоков промежуточной памяти перед блоками основной памяти. Рассмотрены два основных режима работы, определяемые характером поступающей информации: непрерывный и импульсный. Впервые детально разобран импульсный режим, который является характерным для условий работы измерительного центра. Цикл работ, посвященных оценке потерь за счёт блоков промежуточной памяти, был проведен под руководством автора и при его участии^{/10-14/}. Для характеристики импульсного режима принята величина среднего числа импульсов, регистрируемых в течение интервала измерения. Количественные зависимости между параметрами блока промежуточной памяти и средней импульсной нагрузкой получены методом статистического моделирования процесса (Монте-Карло) на ЭВМ^{/12/}. Получены зависимости для двух случаев. Первый относится к оценке числа циклов, когда промежуточная память переполняется, а второй - к оценке суммарных потерь регистрации (просчётам).

Проанализирован более общий случай работы промежуточной памяти /14/, когда к началу следующего цикла не происходит полной очистки блока промежуточной памяти. Помимо "разравнивания" информации блоком промежуточной памяти внутри регистрируемого периода в этом случае осуществляется также "разравнивание" информации между циклами (двойное разравнивание). Количественные зависимости потерь при регистрации от параметров блока промежуточной памяти и загрузок получены путём моделирования (в качестве элемента модели использовался реверсивный счётчик). Полученные результаты позволили связать два крайних случая: непрерывный и импульсный режимы поступления информации, которые ранее анализировались отдельно.

Результаты проведенного анализа легли в основу конструирования блоков промежуточной памяти для измерительного центра ЛНФ. Показана целесообразность использования в условиях многотрактового измерительного центра двух модулей блоков промежуточной памяти. При работе с магнитной лентой число элементов запоминания в блоке промежуточной памяти должно быть выбрано значительно большим, чем при работе с ферритовыми блоками основной памяти. Рассмотрены также варианты комбинированного использования блоков промежуточной памяти, позволяющие учесть особенности потока информации. Конструктивные особенности созданных блоков промежуточной памяти измерительного центра описаны в Приложении 1.

3. В диссертации рассмотрены отдельные вопросы построения блоков аналого-цифрового преобразования, а также сформулированы основные требования к этим блокам с учётом проведения спектрометрических измерений в условиях измерительного центра.

Подробно анализируются условия оптимального выбора ширины каналов блока время-цифрового преобразования. Показано, что ширина каналов должна быть выбрана так, чтобы, во-первых, не увеличивать существенно полного разрешения спектрометра, во-вторых, достаточно точно описывать форму резонанса в измеряемом спектре, в-третьих, быть достаточно большой, чтобы не сужать исследуемый временной интервал. Показано, что по диапазону целесообразно ширину каналов делать переменной, так, чтобы начиная с некоторого момента ширина каналов могла меняться примерно по квадратичной зависимости. Квадратичная зависимость справедлива для случая измерений с легкими ядрами, для

тяжелых ядер-близка к кубической. Результаты анализа нашли отражение в конструкции блока время-цифрового преобразования измерительного центра (блоки описаны в Приложении 1.).

Проанализированы вопросы влияния линии кабельной связи на характеристики спектрометрического тракта. Показано, что при соблюдении определенных условий при высокоточных амплитудных измерениях может быть использована трансляция сигналов в аналоговой форме по коаксиальным линиям связи вплоть до нескольких километров. Показано также, что система стабилизации должна охватывать линию связи, поскольку температурные изменения могут вызвать существенные искажения спектра. Проанализированы искажения спектров, которые могут быть вызваны кабельной линией. Проверена оценка этих искажений для случая прямоугольных импульсов с учётом мертвого времени входа анализатора. Показано, что недооценка кабеля при высокоточных измерениях может привести к появлению в спектре ложных пиков, полученных за счёт наложения регистрируемых импульсов на выбросы, обусловленные кабелем.

Разработка методов высокоточного амплитудного анализа в условиях измерительного центра, которая проводилась под руководством автора, обусловила проведение исследований вопросов стабильности и точности амплитудно-цифрового преобразования. Были проанализированы основные параметры двух систем стабилизации амплитудного спектрометрического тракта (системы с накоплением в интеграторе разностей скоростей счёта в "окнах" на левом и правом склонах реперного пика и системы, в которой в качестве сигнала ошибки используется разность кодов реперного импульса и кода, соответствующего полной емкости сервосчётчика). Проведено сравнение этих двух систем, сформулированы рекомендации по их применению, которые легли в основу созданных блоков центра /28/ (блоки кратко описаны в Приложении 1.).

4. Проанализированы основные требования к устройствам вывода данных многограптового измерительного центра. Сформулированы принципы построения системы вывода данных в таком центре.

Глава III. Многотрактовый спектрометрический измерительный центр с автономными блоками памяти

В третьей главе кратко описан многотрактовый измерительный центр ЛНФ, который был создан в Лаборатории нейтронной физики ^{/15-18/} и который является первым измерительным комплексом подобного типа. В центре были реализованы основные рекомендации, вытекающие из проведенных исследований отдельных вопросов спектрометрического тракта и многотрактовых измерительных систем.

Комплекс оборудования измерительного центра позволяет проводить одновременно до 10 независимых спектрометрических измерений с накоплением информации в блоках основной памяти на ферритовых МОЗУ и магнитной ленте. Блок-схема многотрактового спектрометрического измерительного центра приведена на рис. 1.

Измерительный центр предназначен для сбора и обработки информации, получаемой в экспериментах на реакторе ИБР и электростатическом ускорителе ЭГ-5. Детекторы и детекторная электронная аппаратура располагаются в экспериментальных павильонах вдоль нейтропроводов. Предварительный отбор полезной информации производится комплексом электронной аппаратуры, собираемой в основном из специально разработанных и стандартизированных в рамках лаборатории блоков детекторной аппаратуры ^{/19-20/}.

Электрические сигналы, характеризующие регистрируемое событие, по высокочастотным кабельным линиям передаются в центр, где расположена основная регистрирующая аппаратура и пульты управления. Входной коммутатор позволяет направлять детекторные сигналы на один или несколько блоков аналого-цифрового преобразования. Созданные для измерительного центра блоки время-цифрового (В) и амплитудно-цифрового (А) преобразования обеспечивают проведение временных и амплитудных измерений, а также многомерных измерений типа амплитудно-временных, время - номер детектора и др.

Для согласования блоков преобразования с блоками основной памяти используются блоки промежуточной памяти, обеспечивающие "разравнивание" статистически поступающей информации. Создано и используется два типа блоков промежуточной памяти. Первый тип блоков промежуточной памяти используется в основном с блоками МОЗУ, второй - с блоками магнитной ленты. Возможно также комбинированное включение этих блоков.

В качестве блоков основной памяти используются как созданные под руководством автора блоки МОЗУ и блоки с магнитной лентой, так и блоки МОЗУ от промышленных анализаторов и вычислительных машин. Многомерные измерения с большим числом каналов проводятся на специально разработанных оригинальных устройствах регистрации с магнитной лентой с контрольными запоминающими устройствами на ферритах (КЗУ). Используется 20-дорожечная запись на ленту. Скорость ленты регулируется в зависимости от интенсивности поступающей информации. Обработка зарегистрированной на ленте информации проводится с помощью одного или нескольких МОЗУ центра.

Электронный выходной коммутатор обеспечивает подключение любого МОЗУ на устройства вывода: быстрая цифровая печать, перфоратор, графикопостроитель и устройство обмена информацией с ЭВМ. Ряд операций вывода информации автоматизирован. Краткое описание блоков вывода информации измерительного центра приводится в Приложении 1.

В процессе создания системы связи измерительного центра с вычислительными машинами были проведены исследования нескольких систем связи многоканальной регистрирующей аппаратуры с ЭВМ ^{/2,21-24/}. На первом этапе работ была осуществлена передача данных в машину "Киев". Это был первый опыт связи многоканальных измерительных систем с универсальными ЭВМ в нашей стране. В последующих разработках была осуществлена система передачи данных в машину из измерительного центра с автономной записью информации на магнитную ленту машины без прерывания основной программы последней ^{/22,23/}. После установки в ОИЯИ машины "Минск-2" и создания на ней системы связи на несколько объектов передача экспериментальных данных из измерительного центра была переведена на эту машину. Специально созданное устройство передачи ^{/24/} обеспечивает вывод данных из МОЗУ измерительного центра и передачу данных вместе с дополнительной служебной информацией (характер и номер передаваемой информации, количество передаваемых чисел) и контрольным признаком. Применен метод контрольного суммирования, который обеспечивает контроль вывода данных из измерительных систем и эффективный автоматический контроль передачи и ввода этих данных в машину.

Особенностью разработанного метода связи является высокая скорость вывода данных и ввода их в ЭВМ - 4000 каналов в сек. Совмещение вывода с передачей и вводом данных в машину позволило исключить ряд промежуточных,

ранее неизбежных, операций и решить проблемы значительного ускорения и автоматизации этапов вывода и ввода данных. Автоматический контроль с автоматическими повторениями в случае сбоя операций вывода-ввода практически исключили возможность потери передаваемой в машину информации. Начиная с 1963г., практически вся экспериментальная информация, подлежащая машинной обработке, транслируется из измерительного центра в ЭВМ.

С целью дальнейшего сокращения задержек в получении результатов обработки и реализации возможности оперативной обработки данных в процессе эксперимента осуществлена двухсторонняя связь систем измерительного центра и машины "Минск-2". Время передачи данных в машину и прием результатов обработки из машины составляет несколько секунд. К этому времени добавляется время собственно обработки в ЭВМ. Имеется возможность в ходе эксперимента получать результаты обработки данных. Кратко описана система связи, которая обеспечивает передачу в машину набираемой на клавиатуре информации о требуемом режиме работы (связи и обработки), необходимой для обработки данных дополнительной информации и данных, выводимых из систем измерительного центра. Это же устройство обеспечивает прием из ЭВМ результатов обработки и сведений о выполнении заданной программы или о причинах, не позволяющих машине выполнить заданную программу. Обмен информацией контролируется программным и схемным методами. Устройство совместно с машиной обеспечивает автоматическое повторение всех операций связи для устранения влияния случайных сбоев в системе. Данные из измерительных систем и другая передаваемая информация, так же как и информация, принимаемая из машины, могут быть записаны в запоминающее устройство МОЗУ - 4096, из которого данные могут быть выведены на печать, осциллограф и т.д., либо переданы в ЭВМ.

Применение новых методов связи измерительных систем и обрабатывающих машин поднимает на более высокий уровень методику эксперимента, открываются новые возможности для комплексной автоматизации проведения физических экспериментов. Измерительные системы, связанные в единый комплекс с вычислительными машинами, применяются в экспериментах ядерной физики низких энергий несколько лет, однако имеющийся опыт дает далеко не исчерпывающий ответ на вопросы, поставленные в последнее время в связи с возрастающей необходимостью дальнейшей автоматизации и "машинизации" физического

эксперимента. Сочетание специализированной измерительной аппаратуры, малых вычислительных машин (с развитой системой входных-выходных каналов с приоритетным прерыванием) и высокопроизводительных (обрабатывающих, информационных) машин, охваченных каналами связи и непосредственно обменивающихся информацией, является наиболее эффективным способом удовлетворить разнообразные и нередко противоречивые требования быстро развивающейся методики физического эксперимента.

Глава IV. Многотрактовый спектрометрический измерительный центр на базе ЭВМ

Четвертая глава диссертации посвящена вопросам создания многотрактовых спектрометрических измерительных центров с непосредственным использованием универсальных вычислительных машин в процессе регистрации и обработки экспериментальной информации. Эти вопросы являются естественным продолжением развитых в предыдущих главах диссертации вопросов, касающихся методов построения многотрактовых спектрометрических измерительных центров и использования возможностей универсальных ЭВМ в спектрометрическом тракте.

Рассмотрены основные требования, предъявляемые к ЭВМ при работе ее в системе многотрактового измерительного центра. Включение электронной вычислительной машины непосредственно в комплекс регистрирующей физической аппаратуры обусловлено рядом факторов, основные из которых следующие: ЭВМ, имеющая канал приема цифровых данных, способна выполнять основные функции спектрометрической регистрирующей аппаратуры; ЭВМ способна в силу развитой системы программ проводить достаточно разнообразную и сложную математическую обработку регистрируемых данных; ЭВМ может обеспечить более эффективный "контакт" между экспериментатором и самим экспериментом, включая визуальное представление результатов эксперимента; наконец, ЭВМ принципиально способна выполнять целый ряд функций управления и контроля за экспериментальным оборудованием в ходе эксперимента, а также определять наиболее оптимальный его ход.

Проанализированы основные требования к ЭВМ, вытекающие из условий

работы машины в системе регистрирующего тракта. Показано, что для характеристики ЭВМ и сравнения машин с позиций использования их в спектрометрических измерениях должны быть сформулированы несколько иные критерии. Кратко рассматриваются эти критерии.

Детально проанализирован вопрос о возможности использования универсальной ЭВМ в условиях многотрактового измерительного спектрометрического центра. Показано, что использование малых и даже средних ЭВМ одновременно для обеспечения нескольких спектрометрических измерительных трактов встречает трудности, связанные, прежде всего, с требованием высокого быстродействия машины, необходимостью большого объема оперативной памяти и практической невозможностью одновременно выполнить операции регистрации, обработки и представления результатов при функционировании нескольких (больше двух-трех) измерительных трактов.

На основании проведенного анализа предложена иная структурная схема многотрактового измерительно-обрабатывающего центра, которая предусматривает организацию на основе МОЗУ машины (или на основе дополнительных к основному комплексу машины МОЗУ) нескольких автономных спектрометрических информационных каналов для регистрации данных, а также для выполнения наиболее типовых операций и, прежде всего, операций поканальной сортировки. В этом случае как бы происходит разделение типовых операций, свойственных устройствам регистрации спектрометрической информации (и не свойственных универсальным ЭВМ), и операций математической обработки цифровой информации, которые свойственны универсальным вычислительным машинам.

За счёт фиксированной программы выполнения отдельных операций регистрации и сортировки относительно легко выполняются требования обеспечения быстродействия регистрации, с другой стороны, полностью сохраняются достаточно разносторонние возможности обработки на ЭВМ экспериментальных данных.

Другой важной особенностью описываемой системы является предложение более эффективно использовать блок памяти регистрирующего МОЗУ за счёт изменяемого разбиения относительно большого МОЗУ универсальной ЭВМ на отдельные поля в соответствии с требованиями каждого из измерительных трактов. Это дает возможность снизить требования к общей емкости блоков основной памяти в измерительном центре.

Проведен анализ основных спектрометрических характеристик такой регист-

рирующей системы и сформулированы рекомендации по выбору параметров отдельных узлов в подобной структуре многотрактового измерительного центра. На основе этого разработан многотрактовый измерительный спектрометрический центр, учитывающий условия работы ЛНФ. Под руководством автора реализована многотрактовая регистрирующая система на машине "Минск-2". Основой системы является машина "Минск-2", дополненная 2 блоками МОЗУ, однотипными с используемыми в самой машине (рис. 2) (в эксплуатации находится один из таких блоков, второй - временно занят на связи измерительного центра ЛНФ с ЭВМ - см. рис. 1). На основе МОЗУ разработан шеститрактовый регистрирующий комплекс для приема, поканальной сортировки и накопления спектрометрической информации. В зависимости от требований число каналов и емкости каналов МОЗУ может разбиваться на отдельные рабочие поля, выделяемые определенному спектрометрическому тракту. Разбиение проводится как по адресной, так и по числовой оси МОЗУ. Информация из регистрирующих блоков без прерывания экспериментов может вводиться в собственные блоки памяти ЭВМ. Помимо спектрометрических трактов регистрирующих МОЗУ, создан прямой спектрометрический тракт на специально созданном цифровом входе ЭВМ "Минск-2". Блоки аналого-цифрового преобразования и блоки промежуточной памяти используются такие же, как в ранее описанном центре с автономными МОЗУ.

К машине "Минск-2" подключен специальный осциллограф со "световым карандашом", что значительно расширяет возможности машины при обработке спектрометрических данных. Кроме этого, осциллограф позволяет представлять информацию, хранящуюся в оперативной памяти машины, в виде линейных спектров растрового и изометрического изображения. Помимо центрального осциллографа, несколько выносных дополнительных пультов осциллографов, на которые выводится информация из регистрирующих МОЗУ по каждому из трактов, позволяют контролировать набор спектрометрической информации.

П р и л о ж е н и я

В Приложении 1 приводится краткое описание оригинальных блоков измерительного центра, созданных под руководством автора, а также приводится их краткая характеристика. В создании отдельных блоков автор принимал непосред-

ственное участие. Кратко описаны блоки аналого-цифрового преобразования (времени и амплитуды); блоки промежуточной памяти; блоки основной памяти с магнитной лентой; блоки вывода. Приведены основные характеристики стандартизованных электронных блоков детекторной аппаратуры. Кратко охарактеризованы ранее созданные системы связи с ЭВМ "Киев" и "Минск-2".

В Приложении 2 рассмотрен ряд вопросов использования ЭВМ "Минск-2" в задачах регистрации и обработки спектрометрической информации. Показано, что относительно небольшие изменения и дополнительные узлы, введенные в машину, делают ее универсальным регистрирующе-обрабатывающим устройством, позволяющим проводить многоканальный и многомерный анализ с 20-30 тыс. каналами (при мертвом времени 36 мксек), а при использовании накопителей машины на магнитной ленте - вплоть до 2^{37} . Даны краткие описания устройств, реализующих эти режимы. Подобный режим на отечественных машинах реализован впервые.

На примерах обработки реальных спектров продемонстрирована работа осциллографа со световым карандашом на машине "Минск-2", который на отечественных машинах также реализован впервые.

Приведены результаты эксперимента, в котором машина "Минск-2" использовалась в режиме анализатора, корректирующего в процессе набора поступающие на ее вход цифровые коды. Коррекция проводилась по реперным линиям в амплитудном спектре, которые задавались от специального генератора.

Основные результаты комплекса работ, вошедшие в диссертацию, могут быть сформулированы следующим образом:

1. Систематизирован материал, касающийся методов построения трактов регистрации и обработки экспериментальной информации при многоканальных спектрометрических измерениях. Проанализирована роль вычислительных машин в спектрометрическом тракте, а также новые методические возможности, которые возникают при использовании ЭВМ в ядерно-физических экспериментах.

2. Рассмотрены вопросы построения измерительных комплексов, предназначенных для регистрации и обработки экспериментальных данных, получаемых на больших физических установках. Систематизирован материал, относящийся к различным методам построения таких комплексов, проанализированы возможности и основные характеристики измерительных центров, основанных на устройствах с фиксированной программой работы, устройствах с запоминаемой программой

(ЭВМ) и центров смешанного типа, использующих как устройства с фиксированной программой, так и ЭВМ. Проанализированы вопросы построения многотрактовых спектрометрических измерительных центров, обеспечивающих проведение измерений одновременно по нескольким независимым трактам.

3. Предложена новая схема построения регистрирующей аппаратуры при многотрактовых измерениях. Под руководством и при участии автора это предложение реализовано на реакторе ИБР Объединенного института. Создан многотрактовый спектрометрический измерительный центр Лаборатории нейтронной физики, который явился первым подобным комплексом регистрирующей аппаратуры. В процессе создания измерительного центра разработан целый комплекс специализированных блоков регистрирующей аппаратуры, учитывающих специфику спектрометрических работ в измерительном центре ЛНФ. Некоторые из этих блоков изготовлены малой серией и успешно применяются в других лабораториях ОИЯИ. Блоки измерительного центра разрабатывались и создавались коллективом, руководимым автором.

4. Проведен анализ вопросов построения многомерных регистрирующих систем с магнитной лентой в качестве блоков основной памяти измерительного центра. Отмечены особенности таких систем, разработаны основные положения и рекомендации конструирования подобных систем. Предложено использовать параллельно с лентой контрольное запоминающее устройство (КЗУ) относительно небольшой емкости для обеспечения контроля за регистрируемой на ленте информацией. Проанализированы основные требования к такому КЗУ.

5. На основании исследования вопросов применения магнитной ленты созданы первые в нашей стране многодорожечные регистрирующие устройства с магнитной лентой для многомерного анализа.

6. Проведен анализ работы блоков промежуточной памяти при импульсном режиме работы. Кроме того, получены результаты для более общей задачи, позволяющие связать два крайних случая: непрерывный и импульсный режимы работы промежуточной памяти, которые ранее анализировались раздельно.

7. На основе этих исследований были разработаны оригинальные блоки промежуточной памяти измерительного центра, предназначенные для работы с ферритовыми МОЗУ и регистрирующими устройствами на магнитной ленте.

8. Проведен анализ особенностей работы аналого-цифровых преобразователей в условиях измерительного центра ЛНФ. Разработаны оригинальные блоки время-

цифрового и амплитудно-цифрового преобразования для измерительного центра.

9. Проанализированы вопросы вывода экспериментальной информации из регистрирующих многоканальных устройств, а также вопросы автоматизации процессов вывода и связи регистрирующих устройств с вычислительными машинами. Разработаны оригинальные специализированные устройства централизованного вывода экспериментальной информации из блока памяти измерительного центра.

10. Проанализированы вопросы вывода экспериментальной информации в универсальные вычислительные машины. Впервые в физических институтах страны создана система непосредственной передачи экспериментальной информации из регистрирующих устройств в вычислительную машину (вначале в машину "Киев", а затем в машину "Минск-2"). Создана система двустороннего обмена информацией между регистрирующими устройствами измерительного центра и ЭВМ "Минск-2".

11. На основании исследования вопросов использования ЭВМ в задачах спектрометрического тракта предложена и разработана (применительно к условиям ЛНФ) структурная схема многотрактового измерительного центра на базе универсальной ЭВМ с каналами регистрации спектрометрической информации. Основные узлы этого комплекса реализованы на ЭВМ "Минск-2".

12. Проанализированы вопросы применения ЭВМ "Минск-2" в задачах регистрации и обработки спектрометрической информации. Под руководством автора разработана комплекс дополнительных узлов к машине, позволяющих использовать ее в качестве универсального регистрирующего устройства при многоканальном и многомерном анализе. Осуществлен режим работы "Минск-2" со "световым карандашом", значительно расширяющий возможности этой машины как инструмента физического эксперимента. Указанные режимы на отечественных машинах осуществлены впервые.

Проведенные исследования и созданные установки нашли практическое использование в экспериментальных работах, проводимых на реакторе ИБР и других установках ЛНФ. Практически все экспериментальные исследования, проведенные на ИБРе физическими группами ЛНФ и группами из стран-участниц ОИЯИ, были выполнены с использованием созданного комплекса аппаратуры измерительного центра ЛНФ. Комплекс аппаратуры, выполненный на ЭВМ "Минск-2", а также отдельные блоки центра используются физическими группами других лабораторий ОИЯИ.

Созданный под руководством автора комплекс устройств измерительного центра ЛНФ экспонирован на Выставке достижений народного хозяйства СССР, где он был удостоен диплома 1-й степени, а его авторы награждены золотой, серебряными и бронзовыми медалями (1966 г.).

Выполненные под руководством автора научно-методические работы по созданию измерительного центра ЛНФ были удостоены первой премии Объединенного института ядерных исследований (1965 г.).

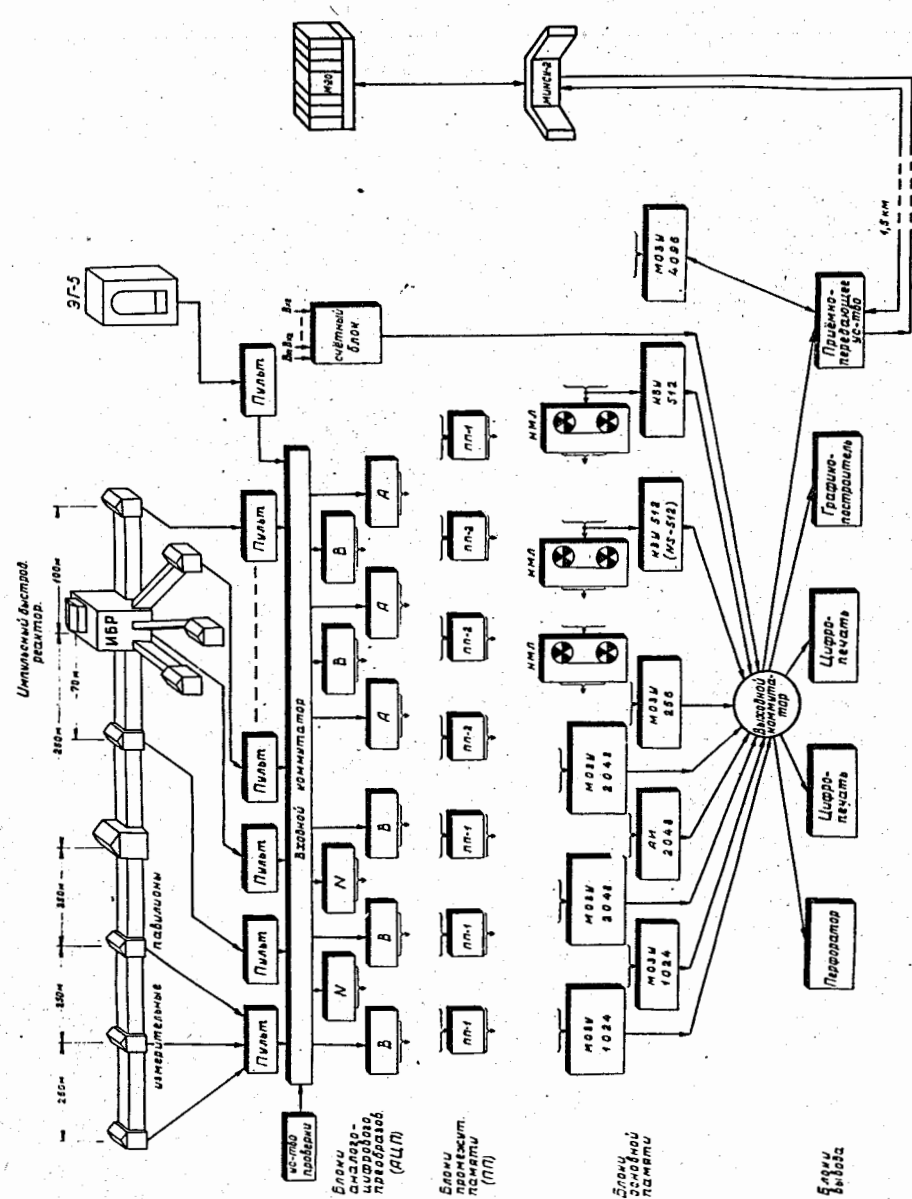
Основные результаты диссертации доложены на IV, V и VI конференциях по ядерной радиоэлектронике в Москве, а также на международных конференциях и симпозиумах в Белграде (1961г.), Париже (1963г.), Будапеште (1963г.), Дубне (1964г.), Праге (1966г.) и опубликованы в работах^{1-5, 7-10, 21-25/}.

Л и т е р а т у р а

1. Г.И.Забякин. ПТЭ, №1, 5 (1966).
2. Г.П.Жуков, Г.И. Забякин и др. Electronics П, p. 61, Vienna, 1962; Препринт ОИЯИ, 731, Дубна, 1961.
3. Г.П.Жуков, Г.И.Забякин, В.Д.Шиббаев. Electronique Nucleaire, 1963, Paris, p.575; Препринт ОИЯИ, 1419, Дубна, 1963.
4. Г.П.Жуков, Г.И. Забякин, В.Д.Шиббаев. Труды 6-й конференции по ядерной радиоэлектронике, т.3, ч.2, 191. Атомиздат, М., 1965.
5. Г.П.Жуков, Ш.И.Борилко, Г.И.Забякин, Ким Ген Чун и др. Труды 6-й конференции по ядерной радиоэлектронике, т.3, ч.2, 197. Атомиздат, М., 1965.
6. Г.П.Жуков. Диссертация, ОИЯИ, 1966.
7. Г.П.Жуков, Г.И.Забякин, В.Д.Шиббаев. ПТЭ, №6, 66 (1963).
8. Г.П.Жуков, Г.И.Забякин, В.Д.Шиббаев, К.Г.Радионон и др. Препринт ОИЯИ, 1127, Дубна, 1962.
9. Г.П.Жуков, Г.И.Забякин, Г.К.Радионон, В.Д.Шиббаев, И.В.Штраших. Труды 5-й конференции по ядерной радиоэлектронике, т.2, ч.2, 115. Госатомиздат, М, 1963.
10. Г.И.Забякин, Г.А.Ососков. Препринт ОИЯИ, 1140, Дубна, 1962.
11. Б.Е.Журавлев, Г.И.Забякин, Г.А.Ососков. Препринт ОИЯИ, 1365, Дубна, 1963.
12. Г.И.Забякин, Г.А.Ососков. ПТЭ, №6, 73 (1963).

13. Г.И.Забиякин, Г.А.Ососков. *Electronique Nucleaire*, 1963, Paris, p. 569.
14. Г.И.Забиякин, Т.Шетет, В.Д.Шибяев. ПТЭ №5, 115 (1966); Препринт ОИЯИ, Р-2319, Дубна, 1965.
15. Г.И.Забиякин, Л.Б.Пикельнер, Ю.А.Стависский, И.М.Франк и др. Препринт ОИЯИ, 956, Дубна, 1962.
16. Г.П.Жуков, Г.И.Забиякин, В.Д.Шибяев. Труды 2-го симпозиума по радиоэлектронике в Будапеште. Препринт ОИЯИ, 1977, Дубна, 1963.
17. Г.П.Жуков, Б.Е.Журавлев, Г.И.Забиякин, В.Н.Замрий. ПТЭ №6, 34 (1964).
18. Г.П.Жуков, Б.Е.Журавлев, Г.И.Забиякин, В.Н.Замрий. Труды 6-й конференции по ядерной радиоэлектронике, т.3, ч.1, 89. Атомиздат, М., 1965.
19. Г.П.Жуков, Г.И.Забиякин, Ким Ю Сен, В.И.Чивкин. Препринт ОИЯИ, Р-602, Дубна, 1960.
20. А.А.Омельяненко и др. Препринт ОИЯИ, 2280, Дубна, 1965.
21. В.А.Дорофеев, Г.И.Забиякин, В.Н.Замрий, В.Н.Маркоменко и др. Труды 5-й конференции по ядерной радиоэлектронике, т.4, 7, Госатомиздат, М., 1963.
22. Г.И.Забиякин, В.Н.Замрий, В.И.Семашко. ПТЭ №4, 139 (1964); Препринт ОИЯИ, 1355, Дубна, 1963.
23. Г.И.Забиякин, В.Н.Замрий, В.И.Семашко. *Electronique Nucleaire*, 1963, Paris, p. 565.
24. Г.И.Забиякин, В.Н.Замрий. Труды 6-й конференции по ядерной радиоэлектронике, т.3, ч.1, 100. Атомиздат, М., 1965.
25. Б.Е.Журавлев, Г.И.Забиякин, ПТЭ, №1, 81 (1966); Препринт ОИЯИ, 2059, Дубна, 1965.
26. В.Приходько, В.Тишин. Препринт ОИЯИ, Р-2707, Дубна, 1966.

Рукопись поступила в издательский отдел
4 апреля 1967г.



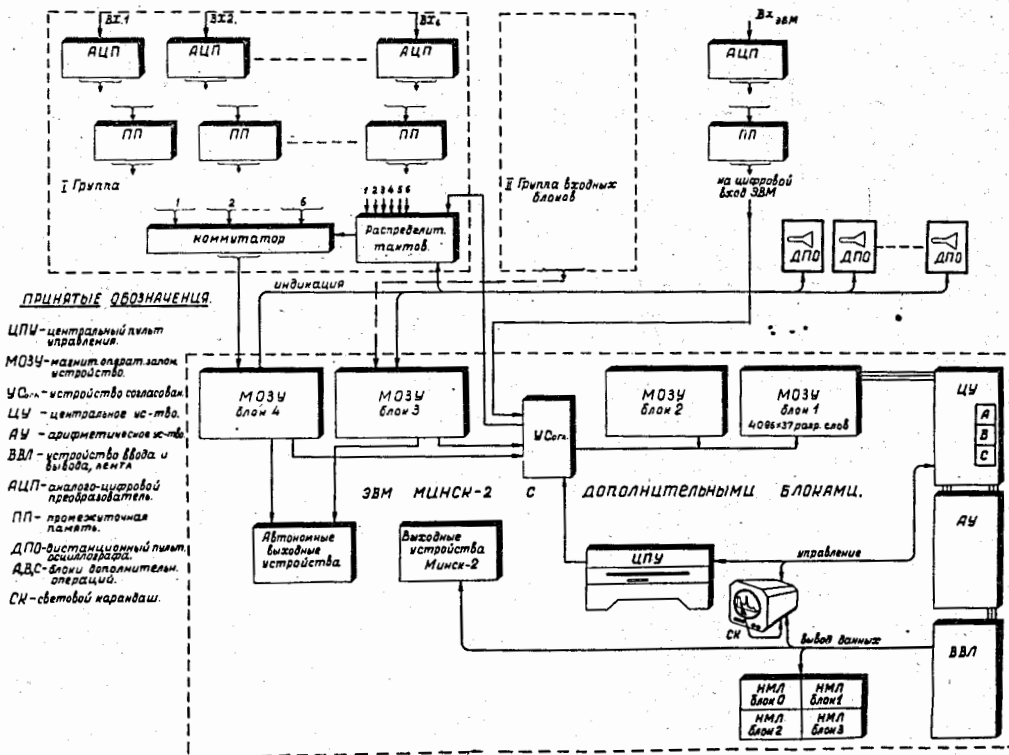


Рис. 2.