

C - 38



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

10 - 12827

Синаев
Алексей Николаевич

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ,
ПРОВОДИМЫХ
НА УСКОРИТЕЛЯХ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ**

Специальность 01.04.16

- физика атомного ядра и элементарных частиц

Автореферат диссертации на соискание ученой
степени доктора технических наук

Дубна 1979

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований

Официальные оппоненты:

член-корреспондент АН СССР
профессор

Ю. Д. ПРОКОШКИН
(ИФВЭ)

доктор технических наук, профессор

Ю. Н. ДЕНИСОВ
(ОИЯИ)

доктор технических наук, профессор

Р. Г. ОФЕНГЕНДЕН
(ИЯИ АН УССР)

Ведущее научно-исследовательское учреждение -
Институт атомной энергии им. И. В. Курчатова, Москва

Защита диссертации состоится " " в час.
на заседании специализированного совета Д 047.01.03 при ЛЯП ОИЯИ,
г. Дубна, Московской обл.

Автореферат разослан " " 1979 г.
С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

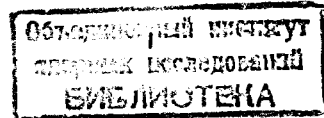
Ученый секретарь специализированного совета
кандидат физико-математических наук

Ю. А. БАТУСОВ

Целью настоящей работы является создание комплекса электронной аппаратуры, обеспечивающего проведение современных физических экспериментов на ускорителях заряженных частиц и обработку получаемой информации. Работа основана на материалах исследований и разработок, выполненных под руководством и при участии автора в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ за последние 10 лет. Хотя разработки в основном были предназначены для экспериментов, проводимых на синхротроне ОИЯИ, ускоряющем протоны до энергии 680 МэВ, они нашли широкое применение и на ряде других ускорителей заряженных частиц.

Актуальность работы определяется важностью проблемы автоматизации физических исследований на ускорителях. Современный эксперимент требует все более точного определения параметров регистрируемых частиц, т. е. улучшения пространственного, временного и энергетического разрешения аппаратуры, увеличения числа одновременно измеряемых величин и скорости обработки получаемых данных. Для решения такой задачи необходимо широкое использование последних достижений в области электроники и вычислительной техники. С целью быстрой реализации этих достижений значительная часть электронной аппаратуры, как правило, создается непосредственно в исследовательских физических лабораториях.

Научная новизна работы заключается в обосновании, разработке и создании специального комплекса электронной аппаратуры, предназначенного для автоматизации экспериментальных исследований, проводимых на синхротроне ОИЯИ и других ускорителях ядерных частиц. Созданный комплекс аппаратуры решает на современном уровне следующие задачи:



- логический отбор и анализ информации,
- спектрометрический анализ информации,
- обмен информацией между регистрирующей аппаратурой и ЭВМ,
- наблюдение и запись информации,
- накопление и обработка информации.

При разработке комплекса и его частей автором диссертации был внесен ряд новых предложений, касающихся принципов создания комплекса, способов регистрации информации, структуры электронных схем и алгоритмов работы устройств. Новизна трех предложений защищена авторскими свидетельствами.

Практическая ценность созданного комплекса электронной аппаратуры состоит в том, что он открыл принципиально новые возможности в постановке экспериментов на синхроциклотроне и стал неотъемлемой частью основного оборудования Лаборатории ядерных проблем. В настоящее время практически все эксперименты, проводимые физиками Лаборатории на синхроциклотроне и других ускорителях, выполняются с использованием той или иной аппаратуры, входящей в состав комплекса. Аппаратура комплекса успешно выдержала многолетние испытания и позволила на высоком уровне выполнить большое число сложнейших исследований как по физике элементарных частиц, так и по физике атомного ядра, в результате которых получены новые данные о фундаментальных свойствах материи.

Разработанные блоки в стандарте КАМАК обеспечены необходимой документацией, на основе которой организовано их серийное изготовление в Опытном производстве ОИЯИ: На 1 января 1979 года было выпущено более 1 000 блоков 70 наименований. Эти блоки используются не только в Лаборатории ядерных проблем, но и в других лабораториях ОИЯИ, в ряде институтов СССР, а также в институтах других стран-участниц ОИЯИ (ГДР, НРБ, ЧССР).

Диссертация состоит из 7 глав. Она содержит 275 страниц, в том числе 17 таблиц и 83 рисунка. Список литературы включает 214 наименований. Основное содержание диссертации опубликовано в работах /1-74/. Эти работы докладывались на международных и все-союзных конференциях и симпозиумах, опубликованы в бюллетене изобретений, научных журналах и сообщениях ОИЯИ.

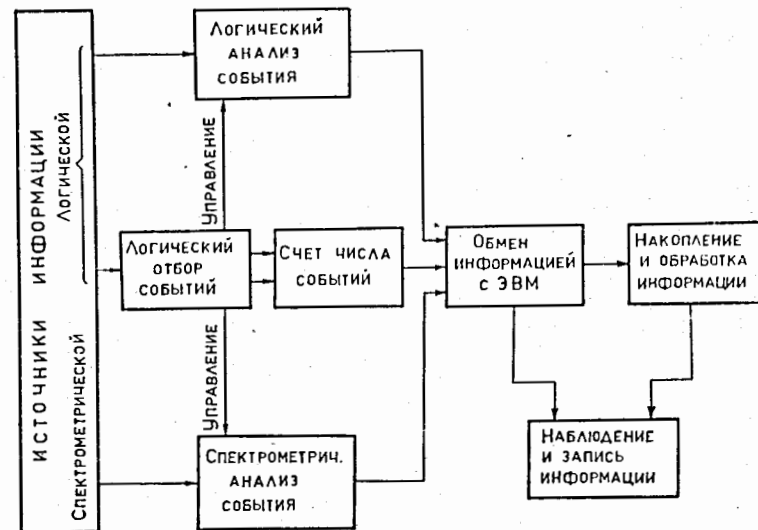
В первой главе диссертации обсуждаются основные проблемы автоматизации экспериментов на ускорителях заряженных частиц. Проведение современного физического эксперимента невозможно без широкого использования разнообразной электронной аппаратуры. Удельный вес этой аппаратуры в общем объеме экспериментального оборудования постоянно повышается, а ее характеристики во многом определяют возможности эксперимента. Важной особенностью электроники является чрезвычайно быстрое ее развитие. За последние два десятилетия сменилось три поколения электронной аппаратуры, и каждое из них открывало новые возможности для экспериментов. Одновременно менялись взгляды на структуру аппаратуры и методы ее создания. Важным этапом явилась стандартизация электронной аппаратуры для физических исследований, в основу которой был положен модульный принцип.

Для постановки эксперимента с помощью электронной методики имеется широкий набор детекторов ядерных частиц: сцинтилляционные, черенковские и полупроводниковые детекторы, искровые, пропорциональные и дрейфовые камеры и др. Они позволяют определить ионизационные потери (полные или удельные), координаты места пролета и момент прохождения частицы через детектор. Зная эти параметры и условия эксперимента, можно вычислить основные характеристики частиц и восстановить физическую картину их взаимодействия. Различные детекторы требуют специфической электронной ап-

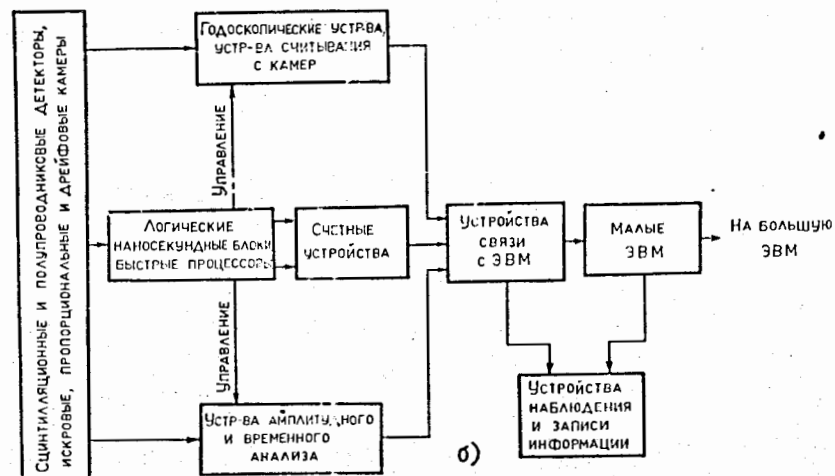
паратуры. Она должна обеспечивать высокую эффективность регистрации поступающих событий, а в каждом из них одновременно регистрировать ряд параметров частиц и при этом сохранять получаемую от детекторов точность измерения той или иной величины. Выбор измеряемых параметров определяется целью проводимого эксперимента, а также их информативностью в зависимости от области энергии.

Получаемая от детекторов информация разделяется на логическую и спектрометрическую. Для получения логической информации требуется определить только наличие или отсутствие сигнала на выходах детекторов, а для получения спектрометрической информации необходимо измерить амплитуду импульса, поступающего от детектора, или интервал времени между двумя импульсами. Далеко не вся поступающая информация представляет интерес для проводимого эксперимента. Поэтому большое значение имеет организация быстрого предварительного отбора изучаемых событий из всей совокупности поступающих, что позволяет значительно уменьшить емкость требующихся накопительных устройств. Обобщенная блок-схема регистрации, накопления и обработки информации в физическом эксперименте приведена на рис. 1а, а необходимая для этого электронная аппаратура - на рис. 1б. Очевидно, что в отдельных экспериментах некоторые узлы могут отсутствовать, а их компоновка несколько отличаться.

На синхротронном ускорителе ОИЯИ, ускоряющем протоны до энергии 680 МэВ при токе внутреннего пучка до 3,5 мкА, имеется 17 выведенных пучков, на которых установлена экспериментальная аппаратура. Одновременно может использоваться несколько пучков, а на каждом из них находится несколько установок. Специфика физических исследований на синхротронном ускорителе, а именно - широкий фронт экспериментов как по физике элементарных частиц, так и по физике атомного ядра, т.е. по физике и высоких, и низких энергий,



а)



б)

Рис. I

определила широкий диапазон необходимой электронной аппаратуры. В основу ее разработки были положены новые принципы, основанные на стандартизации всей аппаратуры и широком использовании средств вычислительной техники.

При оснащении проводимых исследований встает вопрос: следует ли для каждого эксперимента выделять индивидуальную аппаратуру на все время его проведения или же эта аппаратура может быть общей для ряда экспериментов и использоваться в каждом из них только во время соответствующей экспозиции. Обычно принимается компромиссное решение, при котором часть аппаратуры, непосредственно связанная с детекторами излучения, является индивидуальной, а другая часть, связанная с обработкой информации, — общей. Место линии раздела зависит от количества и сложности одновременно проводимых экспериментов, а также от экономических возможностей конкретной лаборатории. Нами было принято решение делать индивидуальной всю аппаратуру отбора событий и простую аппаратуру анализе данных, а общей — сложную анализирующую аппаратуру и аппаратуру накопления и обработки информации. Следует отметить, что в связи с развитием стандартизации и удешевлением создаваемых устройств все большая часть аппаратуры передается в индивидуальное пользование.

В последние годы большая часть аппаратуры нами изготавливается в международном стандарте КАМАК^{1/2/}. При внедрении нового стандарта всегда возникает вопрос, — должен ли он заменить старые или будет продолжительное время существовать параллельно с ними. В данном случае однозначного ответа нет. Это зависит от конкретных условий, имеющихся в Лаборатории. Нами было принято решение изготавливать в стандарте КАМАК только блоки, имеющие выход на магистраль, а остальные, не нуждающиеся в связи с ЭВМ, продолжать делать в прежнем стандарте "Вишня". Однако надо иметь в виду, что грани-

цы применения ЭВМ в физическом эксперименте постоянно расширяются, и под ее управление переводятся все новые типы электронной аппаратуры.

С учетом потребностей экспериментов различной сложности и для облегчения перехода на новый стандарт, нами были созданы олоки с разной степенью зависимости от ЭВМ. Первая группа блоков предназначена только для передачи массивов данных в ЭВМ или другие устройства; установка всех параметров в них производится вручную с помощью переключателей; на переднюю панель выводится индикация состояния блока. Вторая группа имеет двухстороннюю связь с ЭВМ; установка параметров может производиться как переключателями, так и по командам от ЭВМ; имеется лишь частичная индикация состояния. Третья группа управляется и контролируется только от ЭВМ. В стандарте предусмотрены различные варианты передачи массивов данных. Нами выбраны две из них, которые обеспечивают все потребности эксперимента: режим последовательного сканирования адресов в кресте — АСА и режим многократного обращения по одному адресу при неизвестных заранее моменте готовности блока и числе требуемых обращений — ULS. Для облегчения связи с малыми ЭВМ во всех блоках при чтении и записи используются 16-разрядные слова.

Вторая глава посвящена описанию разработанных устройств логического отбора и анализа информации. Рассмотрены требования, предъявляемые к имеющим различное назначение устройствам этого класса. Приводятся характеристики и схемы созданных нами 16 типов устройств, предназначенных для счета импульсов, которые получили широкое распространение в физических исследованиях. К ним относятся универсальные счетчики, счетчики с предварительной установкой требуемой экспозиции, счетчики-измерители времени, электронные часы и т.д.^{13-8/}. Устройства, предназначенные для мониторинга из-

мерений, имеют максимальную скорость счета до 150 МГц и емкость до 10^{12} импульсов. Остальные обладают скоростью счета до 25 МГц и емкостью $6 \cdot 10^4$ и $4 \cdot 10^9$ импульсов. Большинство устройств разработано в стандарте КАМАК по оригинальным схемам исходя из требований конкретных экспериментов, например, счетчики с десятичной индикацией, специальные счетчики для измерения временных интервалов и др.

Из устройств, предназначенных для отбора информации по времени поступления, обращается внимание на коммутаторы логических сигналов. Нами созданы 3 типа таких коммутаторов^{/5,6,11/}, задачей которых является образование различных комбинаций между входными и выходными импульсами, например, пропускание входных импульсов на определенные выходы, подача на единственный выход одного из входных сигналов, передача единственного входного сигнала на один из выходов и т.д. Требуемые комбинации прохождения сигналов могут устанавливаться как командой от ЭВМ, так и вручную. Описывается также устройство для задержки логического сигнала на время от 0 до 63 нс с шагом 0,5 нс^{/5,11/}. Приводятся характеристики 4 входных регистров гетероскопических систем, предназначенных для логического анализа^{/4,6,12/}. Они принимают информацию непосредственно с различных детекторов или же после ее преобразования. Прием информации производится только при наличии управляющего импульса.

Для более эффективного использования малых ЭВМ и сокращения времени обмена информацией с ними следует передавать поступающие данные в виде предварительно накапливаемых массивов. С этой целью были разработаны три буферных накопителя данных на 64, 256 и 1024 16-разрядных слова^{/7,8/}. Они могут работать в режимах приема данных от внешнего устройства и передачи их в магистраль. Предусмот-

рене возможность поочередной работы двух накопителей с одним источником информации. При этом, если передача данных в магистраль осуществляется за более короткое время, чем заполнение памяти в режиме приема, то система будет работать практически без потери поступающих данных.

В Лаборатории широко используются многоканальные анализаторы различных типов. Накопленную в них информацию необходимо передавать в ЭВМ для обработки. С целью автоматизации этого процесса было разработано устройство приема информации с многоканальных анализаторов^{/13/}. Устройство пригодно для связи с анализаторами различных типов, несмотря на то, что они имеют различия в организации вывода накопленной информации. Подключение устройства к анализатору производится через выходы, предназначенные для связи с цифрпечатью или перфоратором. Информация с устройства поступает в ЭВМ через контроллер. Передача осуществляется в режиме ULS.

Специальные устройства приема и анализе информации были созданы для многопроволочных камер. Последовательно разработаны устройства 3 типов^{/14-18/}. Вначале они использовались для считывания информации с матриц ферритовых колец искровых камер. Задачей устройства является последовательный опрос всех ферритовых колец в матрицах для нахождения тех из них, которые были перемагничены током, прошедшим через соответствующую проволочку, и передачи их номера в ЭВМ. Устройства могут работать с камерами, содержащими до 32.000 проволочек. Общее время считывания и передачи информации в ЭВМ не ограничивает скорости работы камер. Впоследствии подобные устройства стали применяться и для считывания информации с запоминающих элементов, устанавливаемых на выходе пропорциональных камер. В этом случае информация в ЭВМ передается через буферное накопительное устройство.

В третьей главе рассматриваются созданные устройства спектрометрического анализа информации. Обсуждаются требования, предъявляемые к таким устройствам в различных физических экспериментах. Рассмотрение начинается с коммутаторов аналоговых сигналов, которые необходимы в тех случаях, когда устройства для анализа амплитуд импульсов делаются общими для многих спектрометрических трактов. Было создано 3 таких коммутатора^{/7,8,19/}. Один из них предназначен для коммутирования токов в диапазоне 0-100 мкА, другой - для коммутирования напряжений в диапазоне 0 ± 6 В и третий - для коммутирования напряжений в диапазоне 0 ± 127 В и токов - в диапазоне 0 ± 10 мА. Все коммутаторы имеют по 32 канала. Коммутирование может осуществляться как командами от ЭВМ, так и вручную.

Далее описываются созданные устройства амплитудного анализа^{/7,8,64/}. Были выбраны 2 класса амплитудных спектрометрических трактов с преобразователями амплитуда-код на 256 и 4096 каналов. Первый из них достаточно прост и предназначен, в основном, для многомерного анализа со сцинтилляционными детекторами. Второй же имеет значительно более сложное устройство и используется для прецизионных измерений с полупроводниковыми детекторами. В блоке КАМАК минимальной ширины размещается до 8 преобразователей на 256 каналов со всеми обслуживающими их устройствами или 1 преобразователь на 4096-8192 канала.

Временной анализ используется в экспериментах при измерениях скорости движения частиц или их времени жизни. В соответствии с имеющимися требованиями выбраны два типа временных трактов - на 256 и 4096 каналов^{/5,64/}. В ряде экспериментов применяются преобразователи временных интервалов непосредственно в цифровой код, которые основаны на счете импульсов от генератора с помощью описанных выше счетчиков. Разрешение по времени (ширина канала)

зависит от их максимальной скорости счета и определяется частотой генератора, составляющей 20-100 МГц. При необходимости иметь меньшую ширину канала используются устройства, основанные на методе время-амплитудного преобразования, позволяющем получить электрическое разрешение до нескольких пикосекунд.

Разрешение спектрометров во многом зависит от стабильности характеристик спектрометрического тракта во времени и по температуре. В настоящее время имеются компоненты, которые способны обеспечить стабильность всех узлов тракта, достаточную для многих применений. Однако вопросы повышения стабильности могут возникнуть при использовании аппаратуры в прецизионных измерениях, продолжительных длительное время. В связи с этим нами была разработана достаточно простая система стабилизации, относящаяся к авторегулирующим системам релейного типа, которая охватывает весь тракт - от детектора до преобразователя аналог - код^{/20,21/}. Она применялась как для амплитудного, так и для временного анализа. Приводятся полученные результаты.

В современных экспериментах все чаще используются системы многомерного анализа, поскольку для получения полной картины сложных ядерных взаимодействий необходимо знание нескольких параметров каждой из взаимодействующих частиц. При повышении кратности анализа число каналов, требующихся для регистрации событий в памяти, резко возрастает. Существует два основных метода регистрации многомерной информации. При первом регистрируется вся поступающая информация о каждом событии путем последовательного занесения кодов без сортировки в очередные ячейки памяти, а весь анализ возлагается на ЭВМ; в этом случае оперативная память заполняется очень быстро и необходимо информацию из нее периодически переписывать. При втором методе перед регистрацией осуществляется предваритель-

ный отбор части поступающих событий, удовлетворяющих заранее установленным критериям, которая может быть рассортирована по каналам имеющейся памяти. Выбор метода определяется требованиями конкретного эксперимента.

Нами создано несколько устройств многомерного анализа, основанных на обоих методах. Устройства для регистрации всех поступающих событий обычно включали преобразователи на 256 каналов и вначале ориентировались на память анализаторов АИ-4096. Последовательно были разработаны устройства для 8- и 16-мерного анализа /22,23/. Затем стали применяться системы в стандарте КАМАК, что дало возможность создавать более автономные устройства, например, устройства 24-мерного анализа с преобразователями на 256 каналов и 3-мерного анализа с преобразователями на 4096 каналов /24/. К разработанным устройствам с предварительным отбором поступающей информации относится вариант отбора с помощью цифровых дискриминаторов /25-27/. Устройство содержит 16 таких дискриминаторов и позволяет проводить как двухмерные, так и трехмерные измерения с общим числом разрядов до 16. Разработаны также методы предварительного отбора поступающей информации с помощью ЭВМ.

В конце главы описывается предложенный нами новый аналоговый способ считывания информации с дрейфовых камер /28,29/, на который получено авторское свидетельство. Способ основан на использовании общей линии задержки, к равномерным отводам которой подсоединяются все сигнальные проволочки камеры. Оба конца линии задержки связаны с измерителями времени и арифметическим устройством. Схема позволяет определить как номер проволочки, через которую прошел ток, так и время дрейфа. Поскольку число электронных схем считывания информации равно двум, независимо от числа сигнальных проволочек в камере, то устройство существенно упрощается.

В четвертой главе описываются разработанные устройства обмена информацией между регистрирующей аппаратурой и ЭВМ. Подчеркивается, что, как правило, поток информации от экспериментальной аппаратуры во много раз превосходит количество управляющей информации от ЭВМ. Значительное число устройств предназначено только для односторонней передачи данных в ЭВМ. Указываются преимущества передачи информации в ЭВМ большими массивами по сравнению с посылкой данных о каждом регистрируемом событии в отдельности. Предварительное накопление информации для образования массивов может производиться в запоминающих устройствах различных типов.

Первоначально в качестве таких устройств в Лаборатории использовалась память анализаторов АИ-4096. Для их связи с экспериментальной аппаратурой нами было разработано универсальное устройство приема информации /30,31/. Оно может принимать как потенциальные, так и импульсные коды и позволяет использовать время, свободное от приема поступающих данных (время ожидания), для выполнения какой-либо фиксированной программы по наблюдению, передаче или обработке накопленной информации, что увеличивает эффективность работы системы /32/. Показаны случаи, при которых дополнительная программа не приводит к уменьшению средней скорости регистрации.

Стандарт КАМАК предусматривает связь крейтов с ЭВМ через контроллеры. Для соединения с аппаратурой, требующей односторонней передачи информации, нами был предложен специальный контроллер с фиксированными программами /3,34/. Контроллер производит последовательное чтение информации с использованием функции F(O) со всех блоков крейта и ее передачу в ЭВМ, накопительное или внешнее устройство. Работа контроллера начинается при поступлении сигнала L(23). Изменение адресов во время чтения массива

производится в соответствии со стандартным режимом последовательного сканирования АСА. В контроллере имеется также несколько дополнительных режимов. Система с таким контроллером весьма удобна для случаев, когда по единому сигналу запроса L требуется осуществлять последовательное чтение со всех блоков крейта, например, в системе счетчиков^{/35/}. Для более сложных случаев совместно с контроллером следует применять разработанный нами специальный грейдер сигналов L, который выполняет некоторые функции программного устройства^{/6,36/}. С помощью этого грейдера можно производить выборочное чтение информации с различных групп блоков в зависимости от поступивших комбинаций сигналов L. Причем в каркасе могут находиться как блоки, требующие одного обращения по каждому адресу (режим АСА), так и блоки, для которых необходимо многократное и заранее неизвестное число обращений по одному адресу (режим ULS). Чтение можно производить не только с использованием функции F(0), но и с использованием функций F(1) и F(2).

Для двухсторонней связи крейта КАМАК с ЭВМ нами разработан универсальный контроллер^{/5,33/}. Он был предназначен для связи с ЭВМ М-6000 и НР-2100, но потом стал применяться и для других типов ЭВМ. Контроллер обменивается с ЭВМ 16-разрядными словами как по программному каналу, так и по каналу прямого доступа. Подключение к ЭВМ производится через два дуплексных регистра, входящих в состав устройств ввода-вывода. Предусмотрено соединение контроллера с грейдером сигналов L, рекомендованным для контроллера типа А. Особое внимание уделено организации обмена массивами в режимах АСА и ULS.

При организации многокрейтных систем нами используются различные методы - как предусмотренные стандартом, так и основанные на собственных разработках. Последние применяются в тех случаях,

когда от большинства каркасов требуется только односторонняя передача информации в ЭВМ. Они основаны на описанных выше контроллерах с фиксированными программами и специальным грейдере сигналов L и позволяют существенно упростить требуемое программное обеспечение и сократить время, необходимое для передачи информации^{/36-39/}. Организация этих систем основана на том принципе, что связь с ЭВМ производится только через один (старший) крейт, с которым соединяются остальные крейты, играющие для него роль устройств, требующих многократного обращения по одному адресу. В старшем крейте может быть как универсальный контроллер, так и контроллер с фиксированными программами, а в остальных - контроллеры с фиксированными программами. Передача информации из младших крейтов в старший осуществляется с помощью установленных в нем входных регистров. Рассматриваются варианты параллельной и последовательной организации таких многокаркасных систем.

В конце главы приводятся характеристики созданных проверочных и управляющих блоков^{/3,4/}.

Пятая глава посвящается вопросам создания интерфейсов внешних устройств наблюдения и записи информации. Указывается, что в ряде случаев подсоединение таких устройств к ЭВМ целесообразно проводить с применением стандарта КАМАК. В первую очередь это относится к устройствам непосредственного обмена информацией между оператором и ЭВМ. Отмечается, что стандарт КАМАК позволяет производить вывод имеющейся в системе информации и без участия ЭВМ. Исходя из этого, нами были созданы два типа интерфейсов внешних устройств. Первые из них предназначены для вывода информации из крейта непосредственно на устройства записи или наблюдения. Вторые работают с участием ЭВМ и могут осуществлять двухсторонний обмен информацией.

Интерфейсы, работающие без участия ЭВМ, применяются в сложных системах, содержащих, например, счетчики импульсов. Такие счетчики в стандарте КАМАК в большинстве случаев выполняются без индикации состояния, чтобы уменьшить габариты модулей. Однако иногда бывает необходимо непрерывное или периодическое наблюдение за состоянием счетчиков без применения ЭВМ. С этой целью нами были разработаны интерфейсы устройства индикации на газоразрядных цифровых лампах, алфавитно-цифрового дисплея и цифрпечатающего механизма^{/40/}. Они работают совместно с контроллером с фиксированными программами. Эти интерфейсы имеют одинаковую структуру и отличаются только управляющими сигналами обмена с конкретным внешним устройством. В них предусмотрено преобразование всей полученной информации в двоично-десятичный код. Для этого используется предложенный нами способ, на который получено авторское свидетельство. Он позволяет упростить схему при сохранении времени преобразования, не замедляющего работу внешних устройств^{/41,42/}. При осуществлении этого преобразования учитывается вид записи информации и число разрядов, имеющих в конкретном счетчике. Опрос крейта производится по сигналу от генератора, находящегося в интерфейсе, или по сигналу L. При представлении информации два десятичных разряда отводятся для номера станции, два - для подадреса и IO - для данных.

Диалоговый обмен информацией между оператором и ЭВМ обычно производится с помощью алфавитно-цифрового дисплея или телетайпа, которые устанавливаются рядом с экспериментальной аппаратурой. Нами были созданы интерфейсы для алфавитно-цифрового дисплея ВТ-340 и телетайпа Т-63^{/7,8,43/}, получивших наибольшее распространение в Лаборатории.

Устройства, предназначенные для диалогового обмена, пригодны и для вывода информации из ЭВМ. Однако они имеют небольшую скорость и не позволяют выводить графическую информацию. Для этих целей обычно применяются графические дисплеи, графопостроители и алфавитно-цифровые печатающие устройства. Для некоторых из них нами были разработаны специальные интерфейсы. Один из них предназначен для вывода информации на точечный графический дисплей или осциллограф, имеющий входы по осям X и Y^{/7,44/}. Эти устройства могут быть снабжены световым карандашом. Из интерфейса в дисплей подаются потенциалы отклонения по обеим осям, образуемые цифро-аналоговыми преобразователями на IO и 8 разрядов, соответственно, и импульс подсвета. Вывод информации на дисплей может производиться в двух режимах - последовательном и произвольном. Первый предназначен, в основном, для изображения спектров, содержащих до 4096 каналов. При выводе на экран каждого числа содержимое регистра X увеличивается на 1. С помощью переключателей можно менять число выводимых каналов, номер начального канала и группу из 8 соседних разрядов, выводимых по оси Y. Произвольный режим обеспечивает вывод на экран любой графической информации, состоящей максимум из 256x256 точек. Этот же интерфейс может быть использован и для вывода информации на графопостроитель. Другой интерфейс предназначен для вывода информации на матричное алфавитно-цифровое печатающее устройство, например, ДАГО-1156 или ДЗМ-180.

Следующим типом созданных интерфейсов являются интерфейсы к перфоленточному оборудованию. Разработано два типа интерфейсов к ленточным перфораторам^{/6,7/}. Один из них предназначен для работы в автономных системах с контроллером с фиксированными программами. Он может выводить информацию на перфораторы ПЛ-20, ПЛ-80 и ПЛ-150. Для перфораторов ПЛ-80 и ПЛ-150 разработано дополнитель-

ное устройство привода электромагнитов, поскольку оно не входит в состав перфораторов. Другой интерфейс предназначен для вывода информации на бумажную ленту из ЭВМ через крест. Он может работать с перфораторами ПД-80 и ПД-150. Разработан также интерфейс для ввода информации с перфоленты с помощью фотосчитывателя FS-1501^{/8/}.

Наряду с описанными выше интерфейсами, созданными для соединения с конкретными внешними устройствами, в ряде случаев могут быть применены выходные или универсальные регистры общего назначения. В принципе, через такие регистры может быть подсоединено любое внешнее устройство, однако для конкретных применений часто требуются дополнительные промежуточные схемы. Нами были созданы два типа выходных регистров^{/5,6/}. Они оперируют 16-разрядными словами и имеют внешнее управление. Разработанный универсальный регистр предназначен для двухстороннего обмена данными с внешним устройством по методу "Запрос-подтверждение"^{/8/}. Блок содержит входной и выходной 16-разрядные регистры. Обмен массивами данных производится в режиме ULS.

В шестой главе дается описание созданных систем накопления и обработки информации. Приводятся общие принципы использования ЭВМ в физических экспериментах, дается структура сети ЭВМ иерархического типа. В Лаборатории ядерных проблем для более эффективного использования дорогостоящих устройств накопления и обработки информации было решено концентрировать их в составе единого центра. Создание центра открыло новые возможности в постановке экспериментов и привело к коренной перестройке методики их проведения. Описывается структура последовательно созданных вариантов центра накопления и обработки информации в соответствии с требованиями эксперимента и выпуском промышленностью нового оборудования.

Вначале, когда малые ЭВМ еще не получили широкого распространения, центр был создан на основе анализаторов АИ-4096^{/51-53/}. Все 7 имеющихся установок были объединены в единую систему. В анализаторах использовались, в основном, накопительные устройства, содержащие по 4096 18-разрядных чисел, а в качестве измерительных устройств применялась аппаратура, описанная в предыдущих главах. Входной коммутатор обеспечивает возможность подачи информации с любой экспериментальной аппаратуры на любую установку АИ-4096. В этих установках предусмотрена возможность организации новых фиксированных программ обработки информации и автоматического перехода с одной программы на другую с помощью программной матрицы. Реализация такой возможности позволила нам автоматизировать процессы приема, накопления, наблюдения и обработки информации и тем самым значительно расширить применение этих установок, которые могли выполнять некоторые функции малых ЭВМ.

В основе разработанных нами автоматических режимов лежит чередование процессов накопления информации в измерительно-накопительном устройстве и ее передачи по истечении заданной экспозиции в буферное устройство^{/45-47/}. В качестве обоих устройств используются установки АИ-4096. При этом перерыв в регистрации поступающей информации будет равен времени передачи накопленного массива в буферное устройство, которое составляет 0,16 с. Следовательно, накопление поступающей информации производится практически непрерывно, что повышает эффективность использования ускорителя и увеличивает точность исследований. Из буферного устройства информация автоматически выводится на четырехдорожечную магнитную ленту, после чего до начала передачи следующего массива устанавливается режим наблюдения информации, находящейся в буферном устройстве. Информация, записанная на магнитной ленте, переносилась на ЭВМ "Минск-2",

а также могла быть введена обратно в буферное устройство и просуммирована с имеющимися там данными /48-50/. Затем была создана кабельная связь между буферным устройством и ЭВМ "Минск-22", расположенными на расстоянии 1 км.

При дальнейшем развитии центра в нем была установлена ЭВМ HP-2116С фирмы Хьюлетт-Паккард с памятью 32 К 16-разрядных слов и богатым периферийным оборудованием. При ее введении в состав центра учитывалась сложившаяся и оправдавшая себя структура, т.е. проведение накопления информации на установках АИ-4096 и последующая передача массивов для обработки в ЭВМ (рис. 2). Была предусмотрена и возможность непосредственного подсоединения экспериментальной аппаратуры к ЭВМ /54-56/. Такое решение позволило использовать разработанные ранее режимы работы накопительных устройств. Структура ЭВМ HP-2116С и ее программное обеспечение дали возможность полностью автоматизировать процесс передачи информации. В качестве примеров первичной обработки данных в ЭВМ HP-2116С приводятся различные варианты сортировки по каналам многомерной спектрометрической информации с использованием накопителей на магнитных дисках и магнитной ленте.

Дальнейшая модернизация структуры центра связана с включением в его состав аппаратуры в стандарте КАМАК. Эта аппаратура первоначально использовалась для односторонней передачи массивов в ЭВМ через установки АИ-4096 при помощи контроллера с фиксированными программами. Затем стала применяться двухсторонняя связь с ЭВМ через универсальный контроллер. Такая связь была создана для ЭВМ HP-2116С, М-6000 и ЕС-1010. Она осуществляется с помощью специальных программ - драйверов контроллера, включенных в состав операционных систем ЭВМ. Подчеркивается, что при использовании дисковых операционных систем время, необходимое для выдачи коман-

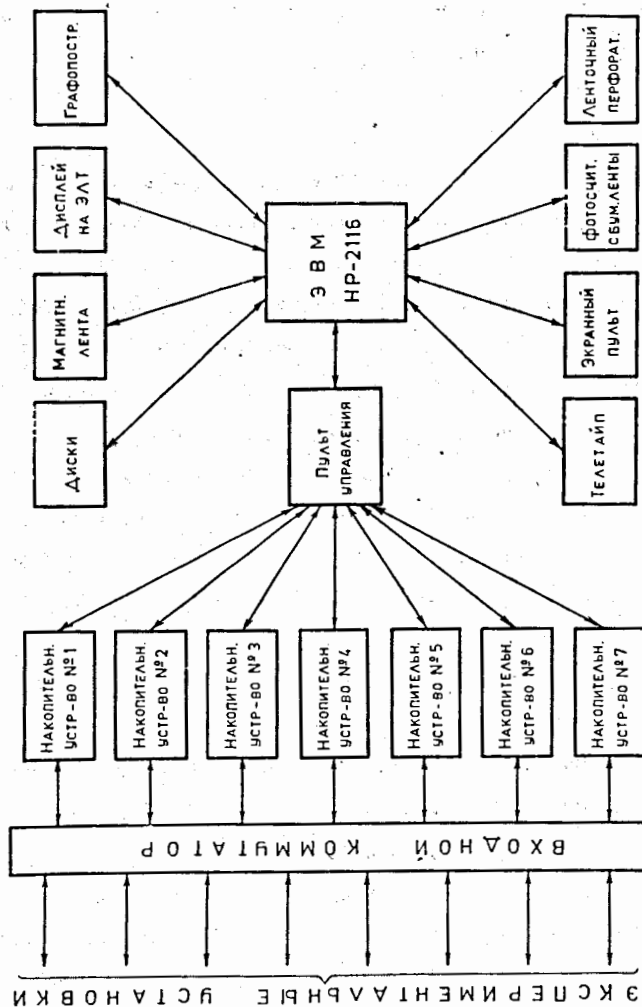


Рис. 2

ды в аппаратуру в стандарте КАМАК, получается большим (порядка нескольких миллисекунд), поэтому предпочтительно производить обмен не отдельными словами, а большими массивами с использованием канала прямого доступа к памяти.

Аппаратура простых экспериментов непосредственно соединяется с основной ЭВМ центра. Оперативная связь с ней осуществляется с помощью терминальной станции, входящей в состав аппаратуры и включающей алфавитно-цифровой дисплей и некоторые другие устройства для обмена информацией. Для сложных экспериментов выделяются отдельные малые ЭВМ, например, М-6000 или ЕС-1010 в небольшом комплекте, которые соединяются с основной ЭВМ^{/57/}.

Большие возможности для использования в экспериментальной аппаратуре представляют бурно развивающиеся микро-ЭВМ, выполняемые на основе микропроцессоров. Такие микро-ЭВМ изготавливаются и в стандарте КАМАК. Система с интеллектуальным контроллером на основе микро-ЭВМ в небольших экспериментах может использоваться как автономная, а в общем случае - соединяться с основной ЭВМ по линии связи. В разработанной нами системе с микро-ЭВМ сначала использовался изготовленный фирмой Борер контроллер МАКАМАК, а затем - контроллер собственной разработки, созданный также на базе микропроцессора Intel-8080^{/58,59/}. К нему могут подключаться блоки дополнительной памяти. В качестве основного терминального устройства в этих системах нами используется алфавитно-цифровой дисплей VT-340, а остальные внешние устройства с помощью описанных в предыдущей главе интерфейсов подключаются через магистраль крейта КАМАК. Другие крейты системы могут рассматриваться как расширители канала ввода-вывода микро-ЭВМ и соединяются с ней через соответствующие регистры. В этих крейтах могут устанавливаться как контроллеры с фиксированными программами, так и уни-

версальные. Связь микро-ЭВМ с основной ЭВМ производится через параллельные регистры ввода-вывода информации, а при большом расстоянии между ними - через специальные регистры межкаркасной связи, осуществляющие преобразование параллельного кода в последовательный и обратно.

Рассматриваются различные варианты такой связи в зависимости от состава экспериментальной аппаратуры. На рис. 3 приведен пример многокаркасной системы^{/61/}. В верхнем крейте расположены блоки, требующие односторонней передачи. Во втором - находятся блоки, имеющие двухстороннюю связь с ЭВМ. Третий каркас занят микро-ЭВМ с интерфейсами к внешним устройствам и регистром межкаркасной связи с основной ЭВМ. Нижний каркас находится рядом с этой ЭВМ и предназначен для обмена информацией с несколькими такими системами. В связи с усложнением экспериментов в качестве основной ЭВМ вместо HP-2116C стала использоваться ЭВМ ЕС-1040. Ее связь с экспериментальной аппаратурой по описанной системе производится через буферную ЭВМ KRS-4200^{/60/}.

В седьмой главе приведены примеры систем, созданных на основе описанных выше устройств, для конкретных экспериментов, проводимых на синхроциклотроне ОИЯИ и протонном синхротроне ИФВЭ.

I. Аппаратура для спектрометрических исследований короткоживущих изотопов^{/62-64/}. Исследования структуры атомного ядра с использованием пучков синхроциклотрона ОИЯИ проводятся главным образом в направлении изучения свойств ядер, находящихся далеко от полосы бета-стабильности. При создании аппаратуры для этих исследований были учтены специфические особенности спектрометрии изотопов с периодом полураспада до нескольких минут. Спектрометрические тракты, созданные для работы как с полупроводниками, так и со сцинтилляционными детекторами, выдерживают большие нагрузки и имеют высокую стабильность при сильно меняющихся нагрузках и во времени. Аппаратура позволяет последовательно измерять боль-

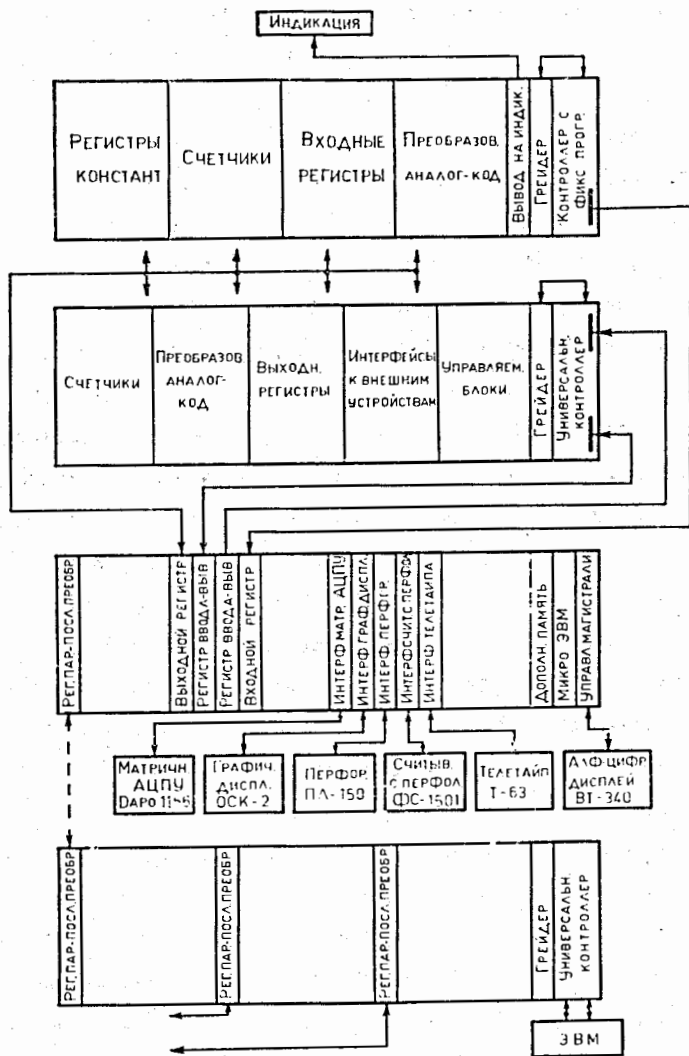


Рис. 3

шое число спектров практически без перерыва во времени, а также проводить различные типы многомерных измерений. Предусмотрена предварительная обработка полученных спектров с помощью осциллографа со световым карандашом. Приводятся конкретные результаты использования аппаратуры в некоторых исследованиях.

2. Аппаратура для измерения профиля пучков заряженных частиц^{/65-68/}. Значение профилей пучков необходимо для многих экспериментов, проводимых на выведенных пучках синхроциклотрона и других ускорителей. С этой целью нами было создано несколько приборов. Один из них состоит из проволочной искровой камеры с ферритовыми кольцами и многоканального анализатора. Прибор позволяет регистрировать все искры в камере и одновременно определять обе проекции профиля пучка, которые изображаются на экране осциллографа и могут быть переданы для обработки в ЭВМ. На устройство прибора получено авторское свидетельство^{/65/}. Он использовался для измерения профиля мюонных и пионных пучков мезонного канала синхроциклотрона. В другом приборе в качестве регистратора тока используется пропорциональная или ионизационная камера с проволочными электродами, в накопление заряда производится на конденсаторах, подсоединенных к проволочкам. Полученные напряжения можно наблюдать на осциллографе, регистрировать на многоканальном анализаторе или передавать в ЭВМ. Прибор является достаточно простым и универсальным; он обладает высоким пространственным разрешением, может непрерывно работать в пучках большой интенсивности и не искажает профиля пучка. Приводятся измеренные профили выведенного протонного пучка синхроциклотрона в различных сечениях.

3. Аппаратура для системы проволочных камер магнитного искрового спектрометра^{/69/}. 5-метровый магнитный искровой спектрометр был разработан для исследования процессов дифракционной дис-

социации отрицательных пионов и каонов на сложных ядрах на протонном синхротроне ИФВЭ. Большое значение для эксперимента имеет измерение кинематических характеристик первичного мезона, которое проводилось при помощи системы из 10 проволочных искровых камер с ферритовыми кольцами. Каждый электрод камер состоит из 256 проволочек. Информация считывалась с обоих электродов по группам, содержащим 32 кольца. Она формировалась в виде 16-разрядных слов, определяющих координаты сработавших проволочек, которые через крейт КАМАК передавались в ЭВМ HP-2100. Приводятся результаты измерений распределения частиц в пучке по импульсам и некоторых других величин.

4. Аппаратура для исследования реакции обратного электророждения пионов^{/70/}. Эксперимент выполнялся на мезонном канале синхротронного ускорителя. Установка регистрирует акты взаимодействия отрицательных пионов с протонами в жидководородной мишени. В ее состав входят мониторный телескоп, выделяющий взаимодействия пионов с протонами и два боковых телескопа, которые служат для регистрации возникающих электронов и позитронов и определения их энергии и углов вылета. Регистрация события производится при приходе управляющего импульса. В каждом событии измеряются 4 амплитуды и 6 временных интервалов. Кроме того, в 6 трактах производятся вспомогательные амплитудные и другие измерения. Для этого использовалось устройство 16-мерного анализа, содержащее преобразователи аналого-цифрового код на 256 каналов. Результаты измерений накапливались в установке АИ-4096 и затем передавались для обработки в ЭВМ "Минск-22".

5. Аппаратура для исследования прямых ядерных реакций под действием протонов^{/71/}. Цель эксперимента состоит в изучении ядерной реакции выбивания протонных пар из легких ядер протонами с энергией 640 МэВ в условиях высокой передачи импульса протонной

паре. Установка производит одновременную регистрацию трех быстрых протонов в конечном состоянии реакции и обеспечивает выделение исследуемой реакции, идущей с малой вероятностью, на фоне ряда других интенсивных процессов. Для регистрации протонов используются три телескопа из сцинтилляционных и черенковских детекторов. Предусмотрено измерение фона случайных совпадений и ряда контрольных параметров. Аппаратура содержит два амплитудных тракта, три временных тракта, 8 счетчиков импульсов, два регистра констант и вспомогательные блоки. Поступающая информация разделяется на две группы. К первой относятся амплитудные и временные измерения, производимые для каждого поступающего события, а ко второй — измерения числа импульсов на выходах отдельных узлов аппаратуры, осуществляемые интегрально для определенного числа событий или установленного времени. Аппаратура размещена в двухкамерной системе КАМАК с контроллерами с фиксированными программами. Зарегистрированная информация через накопительное устройство передается в ЭВМ HP-2116С.

6. Аппаратура для исследования рассеяния пионов на ядрах гелия^{/72-74/}. Эти исследования проводились с помощью струйной камеры высокого давления. Эффективность работы всей установки определяется системой сцинтилляционных детекторов, которая состоит из 22 счетных трактов, входящих в состав телескопа и годоскопа. При таком количестве детекторов их периодическая калибровка и проверка становятся слишком трудоемкими, поэтому нами были проведены работы по автоматизации этого процесса. С помощью разработанной системы выполняются такие операции, как измерение числа импульсов и скорости счета в трактах, измерение величины задержек, снятие амплитудных спектров с черенковского детектора, измерение напряжения питания ФЭУ, а также измерение токов магнитов и линз мезон-

ного тракта синхроциклотрона. Система занимает два крейта в стандарте КАМАК - крейт регистрации и крейт управления. В первом расположены блоки, предназначенные только для передачи информации в ЭВМ: счетчики, регистры констант, входные регистры и преобразователи аналоговых величин в код. Эти блоки разделяются на 2 группы; с первой информация считывается при регистрации каждого события, а во второй - накапливается длительное время и считывается по сигналу с установочного счетчика. Крейт управляется контроллером с фиксированными программами. Селективное чтение информации с блоков в соответствии с поступившими сигналами L обеспечивается специальным грейдером этих сигналов. Во втором крейте сосредоточены блоки, требующие управления от ЭВМ: коммутаторы логических и аналоговых сигналов, управляемая задержка, установочный счетчик, генератор импульсов, выходной регистр, интерфейсы к алфавитно-цифровому и графическому дисплеям. Сюда же через входной регистр поступает информация с контроллера первого крейта. С помощью выходного регистра ведется управление работой первого крейта, например, изменение режимов измерения, кратности схем совпадений и т.д. Второй крейт связан с ЭВМ HP-2116C через универсальный контроллер. Создано программное обеспечение, необходимое для работы системы. Предусмотрен вывод информации в виде таблиц и графиков на различные внешние устройства, в том числе и на устройства, включенные через крейт КАМАК и находящиеся рядом с экспериментатором. Приводятся примеры работы системы.

Основные результаты представленной работы заключаются в создании специального комплекса электронной аппаратуры для автоматизации современного физического эксперимента на ускорителях заряженных частиц и обработки получаемой информации. Этот комплекс открыл принципиально новые возможности постановки экспериментов на

синхроциклотроне и стал неотъемлемой частью основного оборудования Лаборатории ядерных проблем. Он успешно выдержал многолетние испытания и позволил выполнить на высоком уровне большое число сложнейших исследований как по физике элементарных частиц, так и по физике атомного ядра, в результате которых получены новые данные о фундаментальных свойствах материи. При создании комплекса аппаратуры были решены следующие задачи:

1. Систематизированы требования к электронной аппаратуре, используемой для автоматизации современного физического эксперимента на ускорителях заряженных частиц, и составлена обобщенная блок-схема системы регистрации, накопления и обработки экспериментальной информации.

2. На основе предложенной структуры разработан и создан новый комплекс электронной аппаратуры, предназначенный для автоматизации физических исследований на синхроциклотроне ОИИИ и других ускорителях, который на современном уровне решает задачи логического отбора и анализа информации, спектрометрического анализа информации, обмена информации между регистрирующей аппаратурой и ЭВМ, наблюдения и записи информации, накопления и обработки информации.

3. Разработан набор оригинальных блоков в стандарте КАМАК различного функционального назначения, в том числе счетчики с десятичной индикацией, измерители времени, устройства приема информации с накопителем многоканальных анализаторов, коммутаторы логических и аналоговых сигналов, интерфейсы устройств наблюдения и записи информации и др. Всего разработано около 70 типов блоков.

4. Предложен новый способ аналогового считывания информации с дрейфовых камер, который при определенных требованиях экспери-

мента позволяет значительно упростить электронную аппаратуру.

5. Создано несколько оригинальных устройств многомерного анализа как с регистрацией всех поступающих событий, так и с предварительным отбором поступающих событий, обеспечивающих большую гибкость в работе.

6. Предложен и осуществлен новый режим работы многоканальных анализаторов, в котором интервалы времени, свободные от приема поступающей информации, используются для наблюдения или обработки зарегистрированной информации, что повышает эффективность их использования.

7. Разработан оригинальный контроллер с фиксированными программами в стандарте КАМАК, предназначенный для чтения информации, который совместно с грейдером сигналов L позволяет организовать гибкие системы быстрой передачи различных массивов информации в ЭВМ как с однокаркасной, так и с многокаркасных систем, и упростить требуемое программное обеспечение.

8. Предложен и осуществлен новый способ преобразования двоичного кода в двоично-десятичный, который существенно упрощает электронную схему.

9. Предложено и осуществлено новое устройство для измерения профиля пучков заряженных частиц, содержащее многопроводочную камеру и многоканальный анализатор и позволяющее одновременно определять обе проекции пучка.

10. Предложены и последовательно осуществлены в соответствии с требованиями эксперимента и освоением промышленностью нового оборудования несколько вариантов лабораторного центра накопления и обработки информации, включающего накопительные устройства, мальные и микро-ЭВМ и аппаратуру в стандарте КАМАК.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.Н.Синаев. Электронные системы многоканальных спектрометров ядерных частиц. Госатомиздат, Москва, 1962.
2. А.Н.Синаев. Современные аппаратные системы модульной структуры, используемые при создании измерительно-вычислительных комплексов (КАМАК, Вектор). ОИЯИ, 8507, Дубна, 1975.
3. Н.И.Журавлев, Нгуен Мань Шат, В.Т.Сидоров, А.Н.Синаев, А.А.Стахин, И.Н.Чурин. Цифровые блоки в стандарте КАМАК, разработанные для исследований на синхротроне в 1972-73 годах. ОИЯИ, IO-7332, Дубна, 1973.
4. Н.И.Журавлев, Ли Зу Эк, Нгуен Мань Шат, А.Петров, В.Т.Сидоров, А.Н.Синаев, А.А.Стахин, И.Н.Чурин. Цифровые блоки в стандарте КАМАК, разработанные для исследований на синхротроне (Выпуск П). ОИЯИ, IO-8114, Дубна, 1974.
5. Н.И.Журавлев, Ли Зу Эк, Нгуен Мань Шат, А.Г.Петров, В.Т.Сидоров, А.Н.Синаев, А.А.Стахин, И.Н.Чурин. Цифровые блоки в стандарте КАМАК, разработанные для исследований на синхротроне (Выпуск Ш). ОИЯИ, IO-8754, Дубна, 1975.
6. Н.И.Журавлев, Ли Зу Эк, Нгуен Мань Шат, А.Г.Петров, В.Т.Сидоров, А.Н.Синаев, А.А.Стахин, И.Н.Чурин, А.А.Шуравин. Цифровые блоки в стандарте КАМАК, разработанные для исследований на синхротроне (Выпуск IV). ОИЯИ, IO-9479, Дубна, 1976.
7. В.А.Антюхов, С.В.Игнатьев, Н.И.Журавлев, Ли Зу Эк, А.Г.Петров, В.Т.Сидоров, А.Н.Синаев, А.А.Стахин, И.Н.Чурин. Цифровые блоки в стандарте КАМАК, разработанные для исследований на синхротроне (Выпуск У). ОИЯИ, IO-10576, Дубна, 1977.
8. В.А.Антюхов, З.Динель, Н.И.Журавлев, С.В.Игнатьев, А.Г.Петров, В.Т.Сидоров, А.Н.Синаев, А.А.Стахин, И.Н.Чурин. Цифровые блоки в стандарте КАМАК, разработанные для исследований на синхротроне (Выпуск VI). ОИЯИ, IO-11636, Дубна, 1978.
9. Н.И.Журавлев, Ли Зу Эк, Нгуен Мань Шат, А.Г.Петров, В.Т.Сидоров, А.Н.Синаев, А.А.Стахин, И.Н.Чурин. Обзор цифровых блоков в стандарте КАМАК, разработанных для исследований на синхротроне. В кн.: УШ Международный симпозиум по ядерной электронике. ОИЯИ, ДІЗ-9287, Дубна, 1975, стр. 13.

10. А.Н.Синаев, А.А.Стахин. Цифровая индикация для пересчетных декад. ОИЯИ, I3-4859, Дубна, 1969.
11. В.М.Гребенюк, А.Г.Петров, А.Н.Синаев. Коммутатор и управляемая задержка наносекундных логических импульсов в стандарте КАМАК. ОИЯИ, IO-9085, Дубна, 1975.
12. В.В.Вишняков, А.А.Сафрошкина, А.Н.Синаев. Тянь Сен Кир. Устройство для вывода информации с годокопической системы счетчиков на двумерный анализатор. В кн.: III симпозиум по ядерной электронике ОИЯИ. ZfK-121, Россендорф (ГДР), 1966, стр. II6.
13. Ц.Вылов, Н.И.Журавлев, С.В.Игнатьев, В.Т.Сидоров, А.Н.Синаев, Х.-В.Эберль, И.Н.Чурин. Система для спектрометрических измерений на основе ЭВМ ЕС-1010. В кн.: II Всесоюзное совещание по автоматизации научных исследований в ядерной физике. "Наука", Алма-Ата, 1973, стр. IO9.
14. В.А.Вагов, В.В.Вишняков, А.А.Сафрошкина, А.Н.Синаев. Исследование работы проводочной искровой камеры с выводом информации с обоих электродов на ферритовые сердечники. ОИЯИ, I3-450I, Дубна, 1969.
15. В.В.Вишняков, А.Г.Гречев, Н.И.Журавлев, Кан Гван Вон, А.Н.Синаев. Устройство считывания информации с ферритовых матриц проводочных искровых камер. ОИЯИ, IO-5804, Дубна, 1971.
16. В.В.Вишняков, Б.М.Головин, Н.И.Журавлев, В.М.Королев, Б.П.Осипенко, А.Н.Синаев, Ф.Ш.Хамраев. Испытания системы искровых камер с ферритовыми кольцами, предназначенной для экспериментов на синхротроне. ОИЯИ, IO-6045, Дубна, 1971.
17. Н.И.Журавлев, А.Н.Синаев. Устройство в стандарте КАМАК для считывания информации с ферритовых матриц проводочных искровых камер. В кн.: УШ Международный симпозиум по ядерной электронике. ОИЯИ, ДI3-9287, Дубна, 1975, стр. 40I; ПТЭ, 1976, № 3, стр. 58.
18. Н.И.Журавлев, А.С.Кузнецов, А.Н.Синаев. Кодирование информации при ее передаче в накопительное устройство. В кн.: УI Международный симпозиум по ядерной электронике. ОИЯИ, ДI3-62IO, Дубна, 1972, стр. 249; ПТЭ, 1972, № I, стр. 86.
19. В.П.Павлов, А.Г.Петров, А.Н.Синаев. Коммутаторы аналоговых сигналов в стандарте КАМАК. ОИЯИ, IO-IO896, Дубна, 1977.
20. В.Г.Лапшин, М.Н.Омельяненко, В.И.Рыкалин, А.Н.Синаев, В.П.Хромов, З.Цисек. Система стабилизации временного спектрометра наносекундного диапазона. ОИЯИ, P13-3342, Дубна, 1967; ПТЭ, 1968, № 3, стр. 44.

21. М.Н.Омельяненко, В.И.Рыкалин, А.Н.Синаев. Система стабилизации для амплитудных и временных спектрометров. В кн.: Материалы У симпозиума по ядерной радиоэлектронике. ОИЯИ, I3-4I6I, Дубна, 1968, стр. I92.
22. А.Н.Синаев, А.А.Стахин, Н.А.Чистов. Многомерный амплитудный анализ импульсов от большого числа детекторов с использованием анализатора АИ-4096. ОИЯИ, I3-4835, Дубна, 1969.
23. А.Н.Синаев, А.А.Стахин. Устройство для I6-мерного амплитудного анализа. ОИЯИ, I3-7656, Дубна, 1974.
24. В.А.Антохов, Х.-Г.Ортлепп, А.Н.Синаев, И.Н.Чурин. Устройство связи с ЭВМ прецизионных амплитудных преобразователей для многомерных спектрометрических измерений. ОИЯИ, IO-IOI16, Дубна, 1976.
25. С.В.Медведь, А.Н.Синаев, Х.Хаупт, Г.-Ю.Цахер, Л.П.Челноков. Предварительный отбор информации с помощью цифровых дискриминаторов при многомерном анализе. ОИЯИ, IO-6884, Дубна, 1973.
26. С.В.Медведь, А.Н.Синаев, Х.Хаупт, Г.-Ю.Цахер, Л.П.Челноков. Использование цифровых дискриминаторов для предварительного отбора информации при двумерном анализе. ПТЭ, 1974, № I, стр. 68.
27. Р.Арльт, С.В.Медведь, А.Н.Синаев, Б.Хан, Х.Хаупт. Проведение двумерного анализа с использованием цифровых дискриминаторов и ЭВМ HP-2II6C. ОИЯИ, P10-7723, Дубна, 1974.
28. А.Н.Синаев. Способ съема информации с дрейфовых камер. Авторское свидетельство СССР № 553559 кл. G 01 T 5/00, от 2I.IO.I975г. Бюлл. ОИПОТЗ, 1977, № I3, стр. I70.
29. А.Н.Синаев. Съем информации с дрейфовых камер с помощью общей линии задержки. В кн.: Ш Международное совещание по пропорциональным и дрейфовым камерам. ОИЯИ ДI3-II807, Дубна, 1978, стр. 269.
30. С.В.Медведь, А.Н.Синаев, Г.-Ю.Цахер, Н.А.Чистов. Универсальное устройство приема информации для многоканальных анализаторов с фиксированной программой. ОИЯИ, IO-5725, Дубна, 1971.
31. С.В.Медведь, А.Н.Синаев, А.А.Стахин, Н.А.Чистов. Совмещение режимов работы многоканальных анализаторов, работающих с фиксированными программами. ПТЭ, 1971, № 5, стр. 94; В кн.: УI Международный симпозиум по ядерной электронике. ОИЯИ, ДI3-62IO, Дубна, 1972, стр. I77.
32. С.В.Медведь, А.Н.Синаев, А.А.Стахин, Л.П.Челноков, Н.А.Чистов. Непрерывное наблюдение регистрируемых спектров в многоканальных анализаторах. ОИЯИ, IO-5749, Дубна, 1971.

33. В.Т.Сидоров, А.Н.Синаев, И.Н.Чурин. Обмен массивами данных с ЭВМ HP-2116 или M-6000 с помощью контроллера КК 004. В кн.: УШ Международный симпозиум по ядерной электронике. ОИЯИ, Д13-9287, Дубна, 1975, стр. 153; ПТЭ, 1976, № 3, стр. 77.
34. Н.И.Журавлев, А.Н.Синаев. Контроллер с фиксированными программами для передачи массивов информации в накопительное устройство или ЭВМ. ОИЯИ, IO-7334, Дубна, 1973.
35. Н.И.Журавлев, Нгуен Мань Шат, В.Т.Сидоров, А.Н.Синаев, А.А.Стахин, И.Н.Чурин. Система счетчиков в стандарте КАМАК. В кн.: УШ Международный симпозиум по ядерной электронике. ОИЯИ Д13-7616. Дубна, 1974, стр. 289; ПТЭ, 1974, № 3, стр. 91.
36. Н.И.Журавлев, А.Г.Петров, В.Т.Сидоров, А.Н.Синаев, И.Н.Чурин. Система в стандарте КАМАК для чтения информации с разных групп блоков. ОИЯИ, P10-9056, Дубна, 1975.
37. Н.И.Журавлев А.Г.Петров, В.Т.Сидоров, А.Н.Синаев, И.Н.Чурин. Организация системы в стандарте КАМАК для чтения информации с разных групп блоков. В кн.: УШ Международный симпозиум по ядерной электронике. ОИЯИ, Д13-9287, Дубна, 1975, стр. 179; ПТЭ, 1976, № 2, стр. 47.
38. I.N.Churin, A.G.Petrov, V.T.Sidorov, A.N.Sinaev, N.I.Zhuravlev. A CAMAC System organisation for a readout from various groups of modules. In: Proceedings 2nd Ispra Nuclear Electronics Symposium, Euratom, EUR-5370e, 1975, p. 369.
39. Н.И.Журавлев, Ли Зу Эк, А.Г.Петров, В.Т.Сидоров, А.Н.Синаев, А.А.Стахин, И.Н.Чурин. Применение аппаратуры в стандарте КАМАК в исследованиях на синхротроне. В кн.: I Всесоюзное совещание по автоматизации научных исследований в ядерной физике. Изд-во ИЯИ АН УССР, Киев, 1976, стр. 224.
40. Н.И.Журавлев, Ли Зу Эк, Нгуен Мань Шат, В.Т.Сидоров, А.Н.Синаев, А.А.Стахин. Цифровая индикация для счетных систем в стандарте КАМАК. ОИЯИ, P10-9500, Дубна, 1976.
41. А.Н.Синаев. Устройство для преобразования двоичного кода в двоично-десятичный. Авторское свидетельство СССР № 521 565 Кл. с обр 5/02, от 29.05.1974 г. Бюлл. ОИПОТЗ 1976, № 25, стр. 127.
42. Н.И.Журавлев, Нгуен Мань Шат, А.Н.Синаев, А.А.Стахин. Преобразование двоичного кода в двоично-десятичный. ОИЯИ, P10-9499, Дубна, 1976; ПТЭ, 1976, № 6, 52.
43. А.Г.Петров, В.Т.Сидоров, А.Н.Синаев. Использование в физическом эксперименте алфавитно-цифрового дисплея, подключенного через интерфейс в стандарте КАМАК. ОИЯИ, IO-11014, Дубна, 1977.

44. А.Г.Петров, В.Т.Сидоров, А.Н.Синаев. Использование в физическом эксперименте осциллографа со световым карандашом, подключенного через интерфейс в стандарте КАМАК. ОИЯИ, IO-11015, Дубна, 1977.
45. А.П.Кустов, А.Н.Синаев, Н.А.Чистов. Автоматическая система для непрерывной регистрации большого числа спектров на анализаторах АИ-4096. ОИЯИ, IO-4170, Дубна, 1968.
46. N.A.Chistov, A.P.Kustov, A.N.Sinaev. Some problems of automation of multi-channel measurements in experiments with a synchrocyclotron. In: Proceedings of International Symposium on Nuclear Electronics. Versailles (France), 1968, v. 2, p. 111.
47. С.В.Медведь, А.Н.Синаев, Г.-Ю.Цахер, Н.А.Чистов. Автоматическая передача данных между накопительными устройствами центра накопления и обработки информации. ОИЯИ, IO-6883, Дубна, 1973.
48. Ю.П.Прокофьев, А.Н.Синаев. Система из двух четырехдорожечных накопителей на магнитной ленте для записи и воспроизведения дискретной информации. ОИЯИ, IO-3784, Дубна, 1968.
49. Ю.П.Прокофьев, А.Н.Синаев, Н.А.Чистов. Система двухсторонней связи анализатора АИ-4096 с четырехдорожечным накопителем на магнитной ленте. ОИЯИ, IO-3795, Дубна, 1968.
50. С.В.Кадыкова, Ю.П.Прокофьев, А.Н.Синаев. Устройство ввода информации с четырехдорожечного накопителя на магнитной ленте в вычислительную машину "МИНСК-2". ОИЯИ, IO-3796, Дубна, 1968.
51. Е.Б.Озеров, А.Н.Синаев. Структура центра накопления и обработки информации, получаемой в экспериментах на синхротроне. В кн.: IV симпозиум по радиоэлектронике, изд-во ИЯИ ЧСАН, Прага, 1966, стр. 43.
52. С.В.Медведь, В.В.Моисеева, А.Н.Синаев, Г.-Ю.Цахер, Н.А.Чистов. Централизация накопления и обработки информации, получаемой в экспериментах на синхротроне. ОИЯИ, IO-3836, Дубна, 1968.
53. С.В.Медведь, В.В.Моисеева, А.Н.Синаев, Г.-Ю.Цахер, Н.А.Чистов. Аппаратура для автоматического накопления и обработки информации в экспериментах на синхротроне. В кн.: Семинар по ядерной электронике. ОИЯИ, I3-4720, Дубна, 1969, стр. 331; ПТЭ, 1970, № 4, стр. 109.
54. О.Н.Казаченко, С.В.Медведь, А.Н.Синаев, Б.Хан, Н.А.Чистов. Об использовании ЭВМ HP-2116С в центре накопления и обработки информации, получаемой в экспериментах на синхротроне. ОИЯИ, IO-7173, Дубна, 1973; В кн.: УШ Международный симпозиум по ядерной электронике. ОИЯИ, Д13-7616, Дубна, 1974, стр. 33.

55. S.V.Medved, A.N.Sinaev. Data acquisition and handing for Dubna synchrocyclotron experiments. In: Proceedings of 1973 International Conference on Instrumentation for High Energy Physics, Frascati (Italy), 1973, p. 516.
56. С.В.Медведь, А.Н.Синаев, Б.Хан, Н.А.Чистов. Автоматизация экспериментов на синхроциклотроне ОИЯИ при помощи ЭВМ HP-2116C. ПТЭ, 1975, № 1, 75.
57. Ли Зу Эк, С.В.Медведь, П.Нойберт, В.Т.Сидоров, А.Н.Синаев, И.Н.Чурин. Терминальная станция в стандарте КАМАК для ЭВМ M-6000. В кн.: I Всесоюзное совещание по автоматизации научных исследований в ядерной физике. Изд. ИЯИ АН УССР, Киев, 1976, с. 46.
58. В.Т.Сидоров, А.Н.Синаев, И.Н.Чурин. Автономная система для испытаний блоков в стандарте КАМАК на основе контроллера МАКАМАК. В кн.: IX международный симпозиум по ядерной электронике. ОИЯИ, ДПЗ-11182, Дубна, 1978, стр. 95; В кн.: II Всесоюзный симпозиум по обработке физической информации, Ереван, 1977, стр. 148.
59. В.Т.Сидоров, А.Н.Синаев, И.Н.Чурин. Управляющая система в стандарте КАМАК на основе контроллера с микро-ЭВМ. ОИЯИ, IO-1248I, Дубна, 1979.
60. Г.Булда, К.Винклер, О.Н.Казаченко, С.В.Медведь, П.Нойберт, А.Н.Синаев, И.Н.Чурин, Ф.Шварценберг, Х.-В.Эберль. Многомашинный комплекс для обработки информации, получаемой на синхроциклотроне ОИЯИ. В кн.: II Всесоюзное совещание по автоматизации научных исследований в ядерной физике. "Наука", Алма-Ата, 1978, стр. 224.
61. Н.И.Журавлев, А.Г.Петров, В.Т.Сидоров, А.Н.Синаев, А.А.Стахин, И.Н.Чурин. Организация многокарусельных систем в стандарте КАМАК в ЛЯИ ОИЯИ. В кн.: II Всесоюзное совещание по автоматизации научных исследований в ядерной физике. "Наука", Алма-Ата, 1978, стр. 226.
62. Р.Арльт, С.Кадыкова, А.Калинин, В.Моисеева, Г.Музиоль, М.Омельяненко, Ю.Прокофьев, Б.Семенов, А.Синаев, Н.Чистов, Х.Штрусный, Г.Эльснер. Установка для получения короткоживущих изотопов на пучке протонов синхроциклотрона ОИЯИ и их спектрометрического исследования. ОИЯИ, Р6-3773, Дубна, 1968.
63. Р.Арльт, Г.Винтер, С.В.Медведь, Г.Музиоль, А.Н.Синаев, Э.А.Усманова, Д.Фромм, Н.А.Чистов, Х.Штрусный. Обработка спектров от полупроводниковых детекторов полуавтоматической системой, содержащей накопительные устройства и ЭВМ. ОИЯИ, Р6-6227, Дубна, 1972; ПТЭ, 1972, № 6, стр. 71.

64. К.Андерт, Р.Арльт, М.Гонусек, Х.-У.Зиберт, А.И.Калинин, С.В.Медведь, Г.Музиоль, Х.-Г.Орглепп, А.Н.Синаев, В.Хабенихт, Х.Штрусный. Измерительный комплекс для спектрометрических исследований ядер, удаленных от полосы бета-стабильности. ОИЯИ, Р6-8564, Дубна, 1975.
65. В.В.Вишняков, А.Н.Синаев. Устройство для измерения формы пучка заряженных частиц. Авторское свидетельство СССР № 271668. Кл. 21g, 36, от 29.12.1968 г. Бюлл. ОИПОТЭ, 1970, № 18, с. 55.
66. В.В.Вишняков, А.В.Демьянов, В.С.Роганов, А.А.Сафрошкина, А.Н.Синаев. Измерение профиля пучков синхроциклотрона при помощи проволочной искровой камеры с ферритовыми кольцами и анализатора АИ-4096. В кн.: Совещание по бесфильмовым искровым и стримерным камерам. ОИЯИ, I3-4527, Дубна, 1969, стр. 159; ПТЭ, 1970, № 2, стр. 32.
67. В.В.Вишняков, Н.И.Журавлев, В.И.Комаров, Г.Е.Косарев, Нгуен Мань Шат, А.Н.Синаев. Определение профиля пучков частиц ускорителей при помощи ионизационной камеры с проволочными электродами. ОИЯИ, I3-697I, Дубна, 1973.
68. В.В.Вишняков, Н.И.Журавлев, В.И.Комаров, Г.Е.Косарев, Нгуен Мань Шат, А.Н.Синаев. Измеритель пространственного профиля пучков. ПТЭ, 1973, № 6, стр. 21.
69. В.В.Вишняков, Н.И.Журавлев, Ю.И.Иваньшин, А.Н.Синаев, С.А.Сычков. Система проволочных искровых камер для магнитного искрового спектрометра ОИЯИ. ОИЯИ, I3-1175I, Дубна, 1978.
70. А.В.Купцов, С.В.Медведь, Г.Г.Мкртчян, Е.Б.Озеров, А.Н.Синаев, А.А.Стахин, А.Г.Федунов, Д.М.Хазинс, Н.А.Чистов. Применение многомерного амплитудного анализа совместно с ЭВМ "Минск-22" для исследования обратного электророжения пионов. ОИЯИ, I3-6275, Дубна, 1972.
71. Н.И.Журавлев, В.И.Комаров, А.Н.Синаев, Т.Штилер. Аппаратура для исследования прямых ядерных реакций под действием быстрых протонов. ОИЯИ, I3-1039I, Дубна, 1977.
72. А.Г.Петров, В.К.Сарычева, А.Н.Синаев. Автоматическое измерение характеристик каналов совпадений для сцинтилляционных счетчиков. ОИЯИ, I3-858I, Дубна, 1975.
73. А.Г.Петров, А.Н.Синаев. Автоматизация измерений характеристик каналов прохождения сигналов от сцинтилляционных счетчиков. В кн.: УШ международный симпозиум по ядерной электронике. ОИЯИ ДПЗ-9287, Дубна, 1975, стр. 424; ПТЭ, 1975, № 6, 76.

74. А.Г.Петров, А.Н.Синаев. Система в стандарте КАМАК для калибровки и контроля экспериментальной аппаратуры со сцинтилляционными счетчиками. ОИЯИ, РЮ-1С890, Дубна, 1977. В кн.: IX международный симпозиум по ядерной электронике, ОИЯИ, Д13-11182, Дубна, 1978, стр. 143.

Рукопись поступила в издательский отдел

3 октября 1979 года.