

639.1
Б35
МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ СССР

МОСКОВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ИНЖЕНЕРНО-ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Всесоюзная школа по теор. ядерн. физике. Рассийб
«Современное состояние методики эксперимента»

И. Ф. КОЛПАКОВ

**ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ КАМАК В НАУЧНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЯХ**

(Конспекты лекций)

МОСКВА — 1975

339.1
B 85

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ СССР

МОСКОВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ИНЖЕНЕРНО-ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

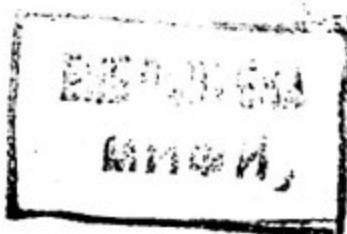
сесоюзная школа по теор. ядерн. физике. Сессия 6
СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ МЕТОДИКИ

ЭКСПЕРИМЕНТА

И.Ф.Колпаков

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ КАМАК В НАУЧНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЯХ

(Конспекты лекций)



Москва-1975

Система КАМАК является прежде всего стандартом для создания установок физической лаборатории для задач регистрации и управления в реальном времени. Главное ее преимущество заключается в возможности создания сложных систем сбора данных и управления из готовых приборов вместо дорогих разработок однократного применения.

Использование малых ЭВМ третьего поколения изменило организацию автоматизированных измерений в физической лаборатории. Малые ЭВМ входят в состав электронной аппаратуры отдельных установок таких, как спектрометры физики высоких энергий и ускорители частиц ^{/1/}. Появилась необходимость организации сопряжения комплекса электронной аппаратуры с ЭВМ. Модули электронной аппаратуры стали программно-управляемыми. Сами функциональные модули в связи с прогрессом микроэлектроники стали выполнятся на интегральных схемах. Программно-управляемую электронную аппаратуру физических экспериментов, выполненную на основе микросхемотехники можно охарактеризовать как электронику 3-го поколения. Её создание было качественно новым этапом в развитии ядерной электроники.

В задачах экспериментов физики высоких энергий, выполняемых электронной методикой на спектрометрах, сово-

купность электронной аппаратуры и ЭВМ спектрометра образуют его измерительный модуль,, который обеспечивает селективный прием информации с детекторов установки и выдачу отфильтрованной экспериментальной информации об исследуемых событиях полностью или для дальнейшей обработки на больших ЭВМ. Измерительный модуль должен содержать все необходимые функциональные блоки электроники детекторов: набор модулей электроники счетчиков для мониторирования событий с быстрой логикой отбора, спектрометрическую и время-пролетную электронику, модули пропорциональных, искровых и дрейфовых камер для координатных измерений, блоки контроля установки и модули сопряжения с ЭВМ. В состав измерительного модуля должна входить малая ЭВМ третьего поколения с полным набором внешних устройств и средств представления данных. Измерительный модуль должен иметь блочную структуру для ускорения сроков подготовки эксперимента, возможности модификации при изменении условий эксперимента и для повторного использования в других экспериментальных установках. Модуль должен быть транспортабельным для повторения эксперимента на ускорителях частиц с различными диапазонами энергий. В физической лаборатории также ставятся задачи автоматического контроля и управления базовыми установками,, такими как ускорители частиц высоких энергий и реакторы. Требования к автоматической системе

измерения параметров и управления ускорителей включают съём диагностической информации, аналоговых и цифровых сигналов с сотен датчиков и контрольных устройств ускорителя и передачу сигналов на расстояния порядка десятков-сотен метров на регистрирующую аппаратуру; передачу аналоговых и цифровых сигналов на управляемые источники питания и двигатели ; необходимость модульной структуры для возможностей модификации системы при модернизации установки и для упрощения поиска отказов и их устранения. Система должна содержать одну или несколько малых ЭВМ третьего поколения и наглядные средства для представления результатов измерений и средства активного взаимодействия для операторов – дисплеи со световым пером, клавишные пульты, касательные панели и информационные табло.

Особенности применения малых ЭВМ третьего поколения в задачах физической лаборатории определяются магистральной структурой процессоров и ввода-вывода, что позволяет широко их использовать для физических измерений в реальном времени и для целей управления. Достижения технологии интегральных схем: ТТЛ, в частности, разработка логических элементов с высокой нагрузочной способностью позволили применить магистральную структуру организации ЭВМ с возможностью подключения к магистрали до 20 и более отдельных модулей. Длина слова в этих ЭВМ составляет обыч-

но 16 разрядов, объём памяти (ОЗУ) от 4к до 32к. Время цикла памяти - около 1 мксек.

Важной особенностью ЭВМ 3-го поколения является возможность подключения многих внешних объектов (от 48 до 256), то есть наличие соответствующего числа уровней прерывания. Время реакции на прерывание составляет единицы микросекунд.

Обмен данными между внешними устройствами и ЭВМ осуществляется через магистраль ЭВМ, позволяющую организовать каналы обмена. Канал обмена организуется подключением к магистрали ЭВМ интерфейсных плат и контроллеров внешних устройств или самих внешних устройств к интерфейсным платам. Имеется два типа каналов обмена - быстрый, прямого доступа к памяти, и медленный - программный. Число свободных мест в магистрали для организации каналов обмена определяет характер сопряжения с ЭВМ - радиальный при большом числе мест и магистральный - при малом (см.рис.1). Малые размеры процессора и памяти и надежность малых ЭВМ третьего поколения позволяют использовать их как часть аппаратуры физических установок и свести к минимуму их обслуживание.

Задачи малых ЭВМ третьего поколения при использовании в спектрометрах физики высоких и низких энергий формулируются следующим образом : проверка и контроль на-

ладки аппаратуры при подготовке эксперимента; прием, программный отбор, накопление, запись информации на магнитные ленты, контроль работы аппаратуры и качества экспериментальной информации в ходе эксперимента ; автоматическое управление режимами работы установки и обработка всех или части зарегистрированных событий. Для выполнения этих задач конфигурация используемой ЭВМ должна иметь достаточные объем оперативной памяти и скорость каналов обмена. Объем ОЗУ M складывается из трех составляющих: M_i — информативной части памяти для приема слов событий, M_{p1} — части для записи программ обслуживания установки и M_{p2} — части для записи стандартных программ : $M = M_i + M_{p1} + M_{p2}$. (1)

На рис. 2 показаны потоки информации и пропускные способности каналов обмена и памяти ЭВМ, применяемых в спектрометрах физики высоких энергий. Максимально возможное число слов N , поступающих с установки за импульс ускорителя t_i , определяется числом слов, снимаемых с установки за одно событие m , или её информационной емкостью, и числом событий в импульсе :

$$N = m \cdot n \quad (2)$$

Для приема всей информации с установки необходимо, чтобы выполнялось условие : $N \leq M_i$ (3). Для спектрометров физики высоких энергий M_i выбирают равным 8 к

и более.

Для установок с небольшой информационной емкостью ~ 10 слов задача сопряжения функциональных модулей решалась путем создания отдельных индивидуальных интерфейсов (см.рис.3) к каждомуциальному блоку. Требования, предъявляемые к электронике спектрометров и системам управления, вызвали необходимость решения задачи сопряжения ЭВМ с установками, поставляющими $10^2 - 10^4$ информационных слов в одном событии. В связи с выпуском интегральных схем ТТЛ и ЭСЛ появилась возможность выполнения на них всех функциональных модулей для физических экспериментов. Опыт разработки надежной магистрали обмена на основе микросхем ТТЛ для миникомпьютеров позволил решить задачу сопряжения ЭВМ с функциональными модулями на интегральных схемах на основе универсального интерфейса-контроллера (см.рис.3б).

Система КАМАК была предложена в 1969 году как основа для создания унифицированного набора цифровых модулей третьего поколения физической лаборатории. В настоящее время система КАМАК широко распространена в крупнейших физических лабораториях. Лаборатория, использующая эту систему, может применять аппаратуру, разработанную в любой другой лаборатории, сразу, минуя в значительной степени этап разработки и накопления опыта в данной области и обеспечивая совместимость аппаратуры при ин-

тернациональных экспериментах. Система КАМАК является стандартом не только на механическую конструкцию и электрические параметры, но также определяет функции отдельных узлов и логику соединений физической аппаратуры с ЭВМ. В целом систему КАМАК можно характеризовать как унифицированный мультиплексорный интерфейс, позволяющий сопрягать системы окружающего мира с ЭВМ независимо от её типа, экономичный и современный в технологическом отношении.

Стандартизация в системе КАМАК осуществляется на следующих трех уровнях : магистрали крейта /2/, системы нескольких магистралей, или ветви (B)^{/3/}, и последовательной магистрали^{/4/}. Стандартизованы крейт (K), модуль (M) и печатная плата вместе с разъемом, на которой располагаются электронные компоненты, напряжения питания, уровни логических сигналов и допустимые нагрузки на входе и выходе M, расположение сигналов на разъеме, их функции и временные зависимости.

Основные элементы системы КАМАК – стандартные M (функциональные блоки), объединяемые посредством магистрали в K. Внешний вид K и M показан на рис. 4. K является шасси с магистралью и питанием для размещения функциональных программируемых модулей. Он представляет из себя универсальный расширитель ввода-вывода ЭВМ. Обмен информацией с ЭВМ осуществляется через

особый М-контроллер крейта (КК), являющийся интерфейсом ЭВМ. КК занимает две крайних правых позиций в К. Остальные М управляются КК. Число функциональных М в К может быть до 23-х в соответствии с нагрузочными характеристиками микросхем ТТЛ, образующих магистраль. При смене ЭВМ необходимо заменить только один КК, остальные М не заменяются и могут использоваться с любой ЭВМ, что обуславливает ряд преимуществ и гибкость системы КАМАК. Обмен по магистрали осуществляется 24-разрядным словом (возможны, конечно, слова с любым меньшим числом разрядов, например, 16) по командам, исходящим из КК и имеющим форму $N \bar{A} F$, где N - номер М (1-23), А - субадрес внутри М (1-16) и F - команда или функция (стандартизовано 16 команд, возможно всего 32). От М исходит сигнал "L", с помощью которого вызывается прерывание ЭВМ и начинается диалог с ней, ответ "X" на поступившую на него команду и сигнал состояния Q. Обмен осуществляется циклами, длительностью 1 мксек. Время цикла не замедляет скорость обмена с современными ЭВМ, поскольку обмен внутри самой ЭВМ осуществляется по аналогичной магистрали. Скорость обмена по магистрали К составляет до 1 Мслов/с, т.е. 24 Мбит/с.

Величины уровней логических сигналов на магистрали соответствуют уровням интегральных схем ТТЛ. Для нано-

секундных сигналов от детекторов, не выходящих на магистраль, приняты уровни $NIM^{1/}$.

Все сигналы за исключением N и L подаются по общим для станций 1-24 шинам. Связи внутри магистралей К в упрощенном виде показаны на рис. 5а. Особенностью разъёма 25 являются связи по 24-м N и L линиям к остальным 24-м станциям. Таким образом, адрес М определяется местом его расположения в К, что эквивалентно аппаратурному приоритету. Единственным М, имеющим доступ ко всем N и L контактам, является КК. Поскольку от КК исходят команды, он определяет всю программу работы К. На рис. 5б показан в упрощенном виде обмен информацией и сигналами управления между КК и М крейта. Группа адресуемых команд NAF определяет возможности программирования работы К. Общее возможное число команд NAF - 11776 на заполненный К.

Крейты с набором функциональных М, размещенных в них, образуют измерительные системы спектрометров и управления. Оценку информационной емкости различных систем КАМАК можно произвести, полагая, что все слова одного события или цикла ускорителя (в задачах управления) должны быть записаны в регистрах функциональных М. Максимальное число регистров в М равно субадресу $A_{\text{макс}} = 16$. Максимальное число М в К $N_{\text{макс}}$ составляет

23.

На рис. 6 показана простейшая однокристальная безкомпьютерная система, применяемая для сбора данных на регистры^{/5/}. КК посыпает две команды - команду чтения данных с М в свой регистр и команду пересылки этих данных на М интерфейса периферийного устройства - печати, телетайпа или магнитофона. Один из режимов работы такого КК - сканирование по адресам или последовательный опрос. КК безкомпьютерной системы может быть программным с использованием постоянной памяти (от 256 до 4 к слов). Для вывода на знаковые внешние устройства в системе используется М преобразователя из двоичного кода в двоично-десятичный. Число слов m_k , которое может быть принято системой регистрации одновременно составляет :

$$m_k = \sum_i^{\text{Nmax}=3} i \cdot \sum_j^{\text{Nmax}} N_i A_j \quad (6)$$

При отсутствии М преобразователя кодов максимальное число слов m_k составляет 336, при условии, что все М занимают по одному месту в К и все субадреса используются. Время съема информации на регистратор t_c равно:

$$t_c = t_{\text{пр}} + m_k (3t_u + t_p) \quad (7)$$

где $t_{\text{пр}}$ - время подготовки регистратора, t_u - время цикла КАМАК и t_p - время, затрачиваемое в преобра-

зователе кодов. При наличии в системе только двоичных регистров при заполненном К, $t_{\pi} = 0$ и $t_{\text{пр}} = 0$ время t_c будет равным 960 мксек.

Систему с программным КК с пассивной памятью можно рассматривать как дешевый терминал ЭВМ (см.рис. 7). В этом случае ЭВМ является периферийным устройством по отношению к К. Связь с ЭВМ может быть последовательной, асинхронной, например, через интерфейс телетайпа. Программа работы КК запускается сигналом от ЭВМ, и одно прерывание приводит к считыванию всей информации с К в ЭВМ. Информационная емкость такой системы равна :

$$m = \sum_i^{\frac{N_{\text{ макс}} D - 1}{A_{\text{ макс}}}} \sum_j N_i A_j \quad (8)$$

где D – число подсоединяемых ЭВМ, так как система в принципе, допускает сопряжение со многими источниками управления. При одном источнике управления с системы может быть снято до 336 слов. Время съёма на ЭВМ t_c равно :

$$t_c = t_{\text{пр}} + 2t_{\pi} \cdot m \quad (9)$$

при условии, что t_{π} – время приема слова в ЭВМ в режиме блочной передачи t_{π} .

При построении систем с двумя – тремя К может оказаться целесообразным не строить В, а сопрягать каждый К

с отдельным каналом ввода-вывода ЭВМ. Такая организация целесообразна для ЭВМ с радиальным сопряжением (см.рис. 1). Блок-схема радиального сопряжения подобных многокрейтных систем показана на рис. 8. Каждый К управляется КК, связанным с каналом ввода-вывода ЭВМ и выглядит как одно из периферийных устройств. Обмен данными идет по программному каналу или по КПД. Такая конфигурация предпочтительна для небольших систем. Информационная емкость системы m равна :

$$m = E \cdot \sum_i i \cdot \sum_j N_i A_j \quad (10)$$

где Е – число каналов обмена. Время ввода информации в ЭВМ в такой системе равно :

$$t_c = t_{\text{пр}} + m \cdot t_{\text{п}} \quad (11)$$

В системе КАМАК предусмотрена возможность стандартного обмена информацией системы из нескольких К – до семи – с ЭВМ^{3/}. Для связи между крейтами предусмотрена стандартная вертикальная магистраль, или ветвь (В), назначение которой – обеспечить обмен информации между ЭВМ и К системы. При образовании В все КК заменяются на один контроллер типа "А" (ККА). На рис. 9 показано соединение многокрейтной системы с помощью В. Для системы К сопряжение с ЭВМ производится через блок-драйвер ветви

(ДВ), который является интерфейсом ЭВМ. ККА всех К соединяются последовательно. Вход каждого ККА служит продолжением В. Выход ККА последнего в В крейта соединяется с ДВ. Как правило, ДВ является пассивным. Он получает от ЭВМ команды, определяющие обмен данными на В. Аппаратурный контроллер для к многокрейтной системы сложен, поэтому предпочитают программное управление от ЭВМ операциями на В.

На В обмен осуществляется шиклами по командам типа **CNAF**, где С – адрес К ($C = 1 \div 7$). Длительность цикла – несколько больше микросекунды. Конструктивно В выполняется 100-омным кабелем, состоящим из 66 скрученных согласованных пар. Кабель магистрали В выводится на специальные 132-контактные разъемы на передних панелях ККА. В может использоваться на длине до 50 м. Она экономична при модификации систем (не требуется новых мест в магистрали обмена ЭВМ) и при замене ЭВМ (заменяется только ДВ – система остается неизменной). Обмен между ДВ и ККА организован независимо от длины соединения между ними, поэтому ДВ может быть удален до 1 км от самой В, при использовании обычных средств параллельной передачи по согласованным линиям – дифференциальных приемников передатчиков. Информационная емкость В равна :

$$m_B = \sum_k C_k \sum_i i \sum_j c_{kj} N_i A_j \quad (12)$$

Максимальное значение $m_B = 2576$ слов. Время съёма этой информации равно :

$$t_c = t_{\text{пр}} + m_B t_B \quad (13)$$

где t_B - длительность цикла В.

Система КАМАК определяет полностью порядок взаимодействия магистрали В с ДВ. Порядок взаимодействия ДВ с ЭВМ не стандартизован. Он в сильной степени связан с типом используемой ЭВМ. Для систем с числом крейтов более 7 жестких ограничений не существует и возможны различные конфигурации. Одно из решений - использование части контроллера В - ДВ - для каждой из В подсоединять ДВ через мультиплексор и общий, системный контроллер к ЭВМ. Другое решение заключается в использовании способа радиального сопряжения В. Наиболее универсальным способом сопряжения многих В является система, показанная на рис. 10. Система может управляться от нескольких источников команд. Например, это могут быть два миникомпьютера, один из которых используется для сбора информации, а другой - для управления системой, или два КК одной ЭВМ - программный и КПД. Система может быть организована так, что каждый источник управления имеет

в системе интерфейс, называемый системным контроллером. Взаимодействие между каждым системным контроллером и ДВ организуется по приоритетам. Один из системных контроллеров является главным, то есть имеет высший приоритет. Главный контроллер выбирает ДВ данной В и осуществляет обмен информацией с ним в соответствии с требованиями к В. Для управления системой используется отдельный К, называемый системным. В этом К находятся ДВ и системные контроллеры — интерфейсы ЭВМ. Две крайние правые позиции в К занимают исполнительный контроллер, который управляет обменом информацией и выбирает, какой из системных контроллеров в данный момент является главным. Таким образом, магистраль К используется для разделения времени между частями систем. Важным преимуществом такой организации является применение стандартных М КАМАК для компоновки сложной системы, не описываемой стандартными требованиями. Информационная емкость m_c системы на основе системного К, содержащей D источников управления и В ветвей равна:

$$m_c = \frac{N_{\max} - D}{2} \cdot m_B \quad (14)$$

При одном источнике управления число В = $\frac{N_{\max} - D}{2}$

равно 11 и $m_c = 28336$. Эта емкость превышает M_n лю-

бой малой ЭВМ. Время считывания информации с системного крейта $t_{ск}$ равно:

$$t_{ск} = (t_{пр} + m_{в} \cdot t_{в}) \cdot в \quad (15)$$

Для систем, распределенных на большой территории, например, для управления современными большими ускорителями и для создания сетей ЭВМ, наиболее экономичным решением является последовательная магистраль КАМАК, которая позволяет объединять многокрейтные системы на основе обмена данными в последовательном коде. Последовательная магистраль дополняет В в случае применения отдельных К, разнесенных на большие расстояния, при использовании линий связи в условиях сильных помех, когда требуется защита от ошибок при передаче, и во всех случаях, когда требуется простота линий связи К и компьютера. Важной особенностью последовательной магистрали является ее простота сопряжения с ЭВМ.

Последовательная магистраль образуется замкнутой петлей от входных ворот последовательного драйвера (ПД) до выходных, как показано на рис. 11. Петля связи обеспечивает поток информации в одном направлении. Каждый последовательный контроллер крейта (ПКК) имеет двое ворот — входные и выходные. Все сообщения передаются со входа на выход ПКК, исключая те, которые адресуются

к данному К. Существуют три типа сообщений – Команда, передаваемая от ПД к адресуемому К ; Ответ, выдаваемый данным ПКК в ответ на команду, и Запрос, образуемый ПКК на основе сигналов L внутри К. Все сообщения группируются байтами и могут передаваться последовательно поразрядно, либо побайтно по выбору разработчика. Логика системы обеспечивает скорости передачи от 110 бит/с до 5 Мбит/с. Стандартные сигналы передаются балансно-токовым способом на расстояния до 1 км. Для больших расстояний может быть использован модем, в частности, для передачи по телефонным линиям. Определен формат посланий, уровень сигналов, процесс обмена. Одно из важных преимуществ последовательной магистрали – возможность подсоединения ее к стандартным интерфейсам стандартной процессорной периферии современных ЭВМ. В этом случае последовательная магистраль КАМАК может связываться непосредственно с каналом обмена ЭВМ без специальных КК. Каждому виду сообщений соответствует определенный формат, где приняты меры для контроля ошибок. Для этого в каждом байте сообщения один разряд отведен для контроля по чётности. В конце сообщения последний байт отводится для проверки по чётности. Все разряды этого байта являются суммой аналогичных разрядов предыдущих байтов сообщения. Способ контроля ошибок уменьшает вероятность сбоя в системе в 10^{10} раз. Ответ М на направленное к нему

сообщение по замкнутой петле возвращается к ПД, где проверяется на ошибки. Предусмотрена защита, обеспечивающая бесперебойную работу при выходе из строя одного или нескольких К в петле.

К системе может быть подсоединенено до 63 К, так что информационная емкость системы достигает 23.184 слов.

Вся информация, поступающая от детекторов в спектрометрах и от датчиков в системах управления установками, предварительно запоминается и преобразовывается в функциональных М, а оттуда считывается в ЭВМ. Функциональные М подразделяются на : 1) логические (временные) и линейные (аналоговые), образующие каналы регистрации ; 2) регистры и счётчики - двоичные счетчики (последовательные регистры) на 16 и 24 разряда со скоростью счета 100 Мгц, десятичные счётчики с индикацией, реверсивные счетчики, генераторы тактовых синхронизирующих импульсов и временных интервалов, параллельные входные и выходные регистры и драйверы линий связи ; 3) преобразователи кодов и уровней сигналов, аналого-цифровые (АЦП) и цифро-аналоговые преобразователи (ЦАП), аналоговые ЗУ и мультиплексоры ; 4) интерфейсы нестандартных в смысле КАМАКА приборов : цифровых вольтметров, амплитудных анализаторов, цифропечати, дисплеев, ленточных перфораторов, шаговых двигателей и т.д., и модули взаимодействия:

блоки ввода констант, регистры-индикаторы. Внешний вид модулей КАМАК показан на рис. 12.

В каждом М, выполненном для использования в системе КАМАК, можно выделить две части: функциональную, выполняющую основную задачу, и часть, обеспечивающую обмен информацией с КК. Это дополнение к обычному М является цепью универсальности сопряжения и должно обеспечивать прием и дешифрацию команды NAF , выдачу сигналов L , X и Q (см.рис. 12), прием неадресуемых команд и ввод-вывод информационных слов на шины магистрали.

Применение универсального сопряжения влечет также за собой создание специальных М сопряжений К с ЭВМ, к которым относятся модули ветви : ДВ для всех используемых типов ЭВМ и ручные, ККА, согласователь В, шифратор запросов, и КК однокрейтных систем : для ЭВМ; ручные и программные. ДВ обеспечивает сопряжение с ЭВМ, пропускает на В команду вида $CNAF$, принимает запросы L от модулей в виде сигнала ВД и посыпает запрос BG приема кода L . ККА обеспечивает связь В с магистралью К – преобразует двусторонний обмен данными по общимшинам чтения-записи BRW В на шинах чтения R и записи W . К, организует генерацию цикла В и прием слова кода запросов GL . Шифратор запросов L .

кодирует возможное число запросов $C \cdot N$ в 24-разрядное слово. Программные КК применяются для организации безкомпьютерных небольших систем. Все функциональные и специальные модули 3-го поколения выполняются в виде одной-двух плат, размещенных в крейте. Упомянутый выше набор функциональных М обеспечивает практически большинство требований для организации измерительных модулей спектрометров физики высоких и низких энергий и измерительных систем на линии с ЭВМ.

Рассмотрим ряд примеров систем КАМАК, применяемых в физических лабораториях. На рис. 14 показана однокрейтная система на линии с ЭВМ (см. также рис. 8), используемая для многопараметрического амплитудного анализа. ЭВМ, дисплей и кассетный магнитофон связаны с К через интерфейсы КАМАК^{/6/}.

На рис. 15 показана четырехкрейтная система на линии с ЭВМ Нр 2126В, используемая в физике высоких энергий для 90-канального черенковского спектрометра. Структурная схема системы приводится на рис. 15а. Система содержит 6 АЦП, 24 двоичных счетчика и другие функциональные модули. Сопряжение с ЭВМ осуществляется через драйвер и КК ЭВМ в каждом К. Внешний вид системы показан на рис. 15, б^{/7/}.

Для связи ЭВМ БЭСМ-4 со спектрометрами физики вы-

соких энергий, удаленными на 1,2 км используется параллельная линия связи в системе КАМАК^{/8/}. Структурная схема системы показана на рис. 16. Система содержит 2 К. В К, расположенном рядом с ЭВМ находятся блоки согласователей уровней, интерфейс ЭВМ и кабельные регистры. Удаленный К содержит кабельные регистры и КК. Система обеспечивает прием 45-разрядного слова информации в режиме блочной передачи за время 8 мкс.

Система управления гигантских ускорителей физики высоких энергий, таких, как протонные суперсинхроциклотроны НАЛ и ЦЕРН выполняются на основе системы КАМАК. Системы управления в реальном времени протонного ускорителя на 400 Гэв ЦЕРН основана на распределенном управлении на основе КАМАКА и малых ЭВМ. Распределенное управление необходимо из-за больших размеров ускорителя, имеющего около 1000 электромагнитов, расположенных на окружности диаметром 2,2 км. Система управления ускорителем имеет в своем составе 25 малых ЭВМ типа *NORD-10* (см.рис. 17). В центральном зале управления находятся 7 малых ЭВМ, из которых 3 сопряжены посредством К КАМАК с пультами операторов. По одной ЭВМ выделено для обслуживания дисплеев, приема аварийных сигналов, библиотеки программ и устройств вывода на печать или магнитную ленту. Остальные ЭВМ размещены в 9-ти точках вокруг ускорителя. Связь между частями системы управ-

вления обеспечивается системой передачи сообщений, передающей управление от одной ЭВМ к любой другой при отказах. ЭВМ, расположенные вокруг ускорителя связаны с центральным залом последовательными линиями передачи со скоростью передачи 30 000 слов/с на расстояние 10С ÷ 4000 м. Каждая из этих ЭВМ управляет оборудованием, находящимся в пределах данного географического сектора, например, системой вакуумных насосов, мониторов пучка, блоков питания, водяных насосов и др. Связь локальных ЭВМ с датчиками и управляемым оборудованием также основана на крейтах КАМАК, причем предусматривается и возможность автономной работы для наладочных работ без обращения к ЭВМ центрального зала. Стандартный интерфейс ЭВМ *NORD-10* позволяет подключать от 1 до 6 К КАМАК в режиме программном, прерываний или прямого доступа к памяти ЭВМ. КК обеспечивает также автономную работу К.

Система КАМАК применяется для сопряжения стандартной периферии ЭВМ и для создания сетей ЭВМ. Сеть ЭВМ на основе КАМАКА была создана в физической лаборатории в *Daresbury* (Англия), где КАМАК применялся в качестве интерфейса процессоров в сетях ЭВМ (см.рис.18). Сети ЭВМ позволяют пользователю решать задачи, которые невозможны в локальной системе, например, применять:

языки высокого уровня, принимать большие массивы данных и уменьшать общее время вычислений. Сеть имеет радиальную организацию с ЭВМ IBM 370/165 в центре. На эту ЭВМ данные собираются через 20 быстрых дуплексных линий связи с помощью буферного процессора IBM 1802.

Каждая линия связи подсоединенена к малой ЭВМ : *PDP-8*,

PDP-11, IBM 1800. Сопряжение малых ЭВМ с линиями связи выполнялось на основе ДВ. Сама линия связи представляет собой сопряжение КАМАК-КАМАК. В К находятся также интерфейсы видеотерминалов, подсоединяемые через последовательные линии со скрученными парами. Вся система ЭВМ Лаборатории обеспечивает обмен информацией между центральной ЭВМ и любым терминалом. Широко используются модемы, позволяющие передавать информацию терминалов со скоростью до 9,6 Кбод. Отдельные пользователи центральной ЭВМ Лаборатории могут находиться на больших расстояниях, поэтому предусмотрено сопряжение системы КАМАК с микроволновой линией связи, позволяющее обмениваться данными со скоростью 10^7 бит/с на расстоянии до 35 км. Благодаря модулям приемника и передатчика, любой терминал в системе КАМАК может использоваться на удалении до 150 км от основной ЭВМ.

Разработана система управления реактором УЛИСС на основе КАМАКА. Система содержит ЭВМ *MULTI-8/M301*

и К, на который поступает информация с детекторов - ионизационных камер и к которому подсоединен пульт и индикационное табло. В К находится КК ЭВМ, модуль приоритетов и функциональные модули, в том числе интенсиметры, позволяющие измерять интенсивность в пределах 10 порядков, АЦП и ЦАП для задания уровня мощности реактора, соединение с табло и пультом и реле управления двигателями.

Система КАМАК является основой для автоматизации измерений в других областях научных исследований, в первую очередь, смежных с ядерной физикой, радиационной химии, радиобиологии, и также в области химии, биомедицины, физики твердого тела, аэродинамики, астрономии, метеорологии, океанографии, экологии.

Примером применения КАМАКа для целей неядерной лабораторной автоматизации является система, разработанная в венской Высшей технической школе (ВТШ). Три института ВТШ разработали систему, рассчитанную на обслуживание различных экспериментов в задачах рентгеновской, ЯМР, мессбауэровской, Оже, масс-спектрометрии и ряда других. Институты имеют в своем распоряжении собственные удлиненные магистрали ветви КАМАК, длиной до 250 м, связанные с центральным процессором типа *PDP 11/45*.

В астрономии используется система микроденситометров для обработки фотоснимков звёзд и фотоэлектрических фотометров для измерения световых потоков звёзд и для управ-

ления движением телескопов на линии с ЭВМ, выполненная в КАМАКе.

Система КАМАК имеет также большое прикладное значение. Универсальная система сопряжения и функциональные модули используются кроме неядерных научных исследований, для создания систем контроля и управления промышленными установками и технологическими процессами и для автоматизации в области медицины.

Следующий шаг в развитии системы КАМАК заключается в увеличении информационной емкости функциональных модулей путем применения интегральных схем средней степени интеграции, линейных гибридных и монолитных АЦП и ЦАП, биполярной памяти и создании распределенной процессорной среды в виде функциональных модулей с микропроцессорами /10/ .

ЛИТЕРАТУРА

1. И.Ф. Колпаков, Электронная аппаратура на линии с ЭВМ., Атомиздат, Москва, 1974.
2. *Euratom report, EUR 4100e, (1969).*
3. *Euratom report, EUR 4600e, (1971).*
4. *CAMAC-Serial Systems Organization, A description, Preprint ESONE/SN/01, Dec. 1973*
5. И.Ф. Колпаков и др., В кн. "Материалы 7-й Всесоюзной школы по автоматизации научных исследований, 27 февраля – 10 марта 1974., Изд. ЛИЯФ, Ленинград, 1974.
6. Проспект фирмы *Schlumberger, France (1975)*.
7. И.Ф. Колпаков и др., В кн. "Труды VII Международного симпозиума по ядерной электронике", Будапешт,, 1973, Изд. ОИЯИ, Д13-7616, стр. 163-165, Дубна, 1974.
8. Т.Коба и др., В кн. "Труды 7-го Международного симпозиума по ядерной электронике", Будапешт, 1973, Изд. ОИЯИ, Д13-7616, стр. 119-123, Дубна, 1974.
9. И.Ф. Колпаков, Е.Хмелевски, Применение системы КАМАК в лабораторных исследованиях, промышленности и медицине, ПТЭ, 1975 (в печати).
10. Проспект фирмы *INTEL*, США (1974)

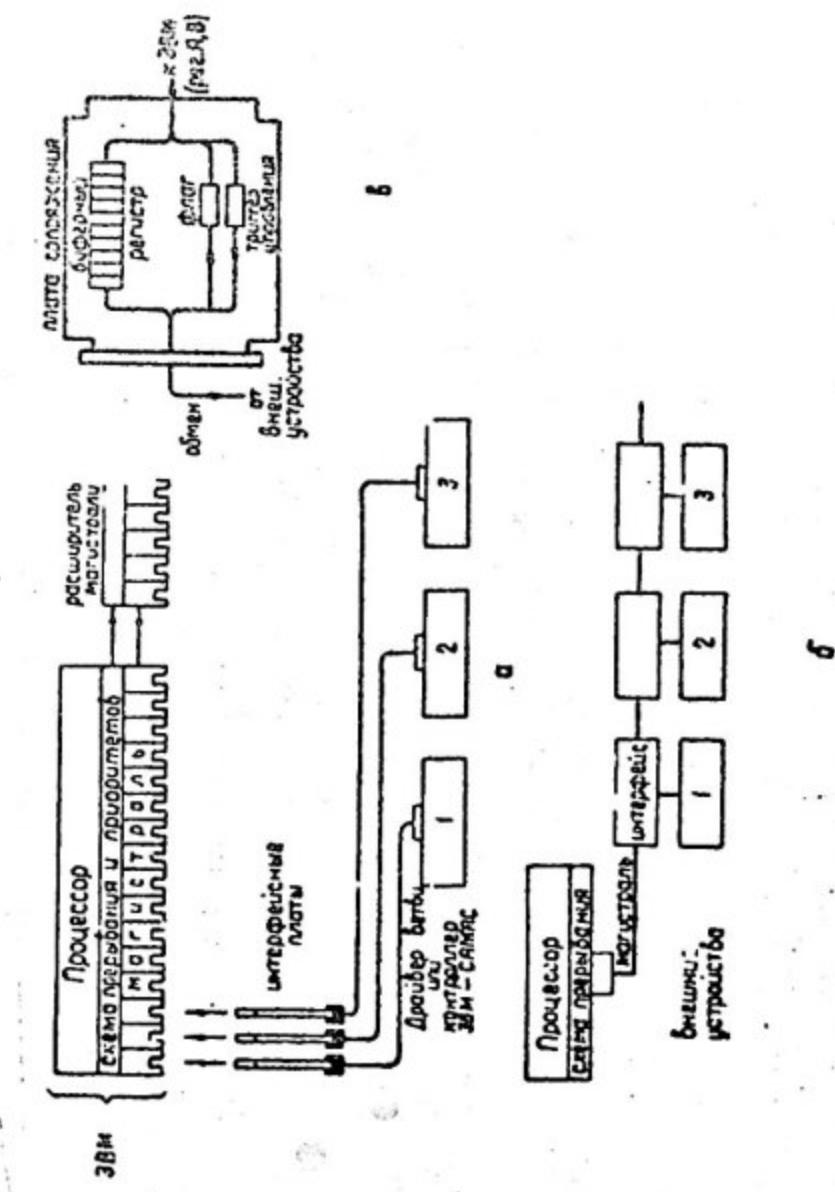


Рис. 1. Способы сопряженной аппаратура с каналами обмена ЭВМ :

- радиальный,
- магистральный,
- интерфейсная плата.

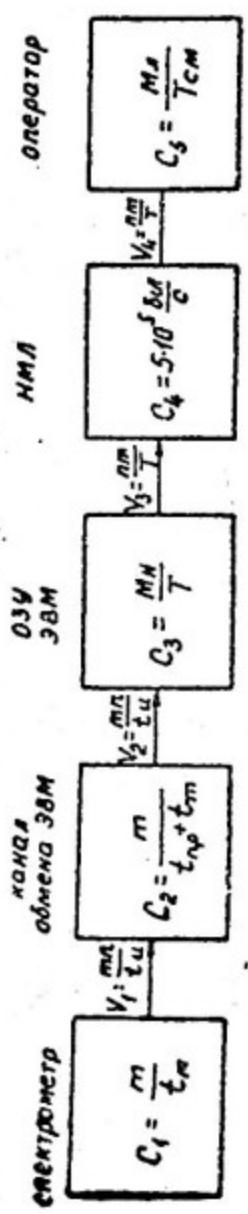


Рис. 2. Оценка пропускной способности каналов обмена в памяти ЭВМ, используемых в спектрометрах.

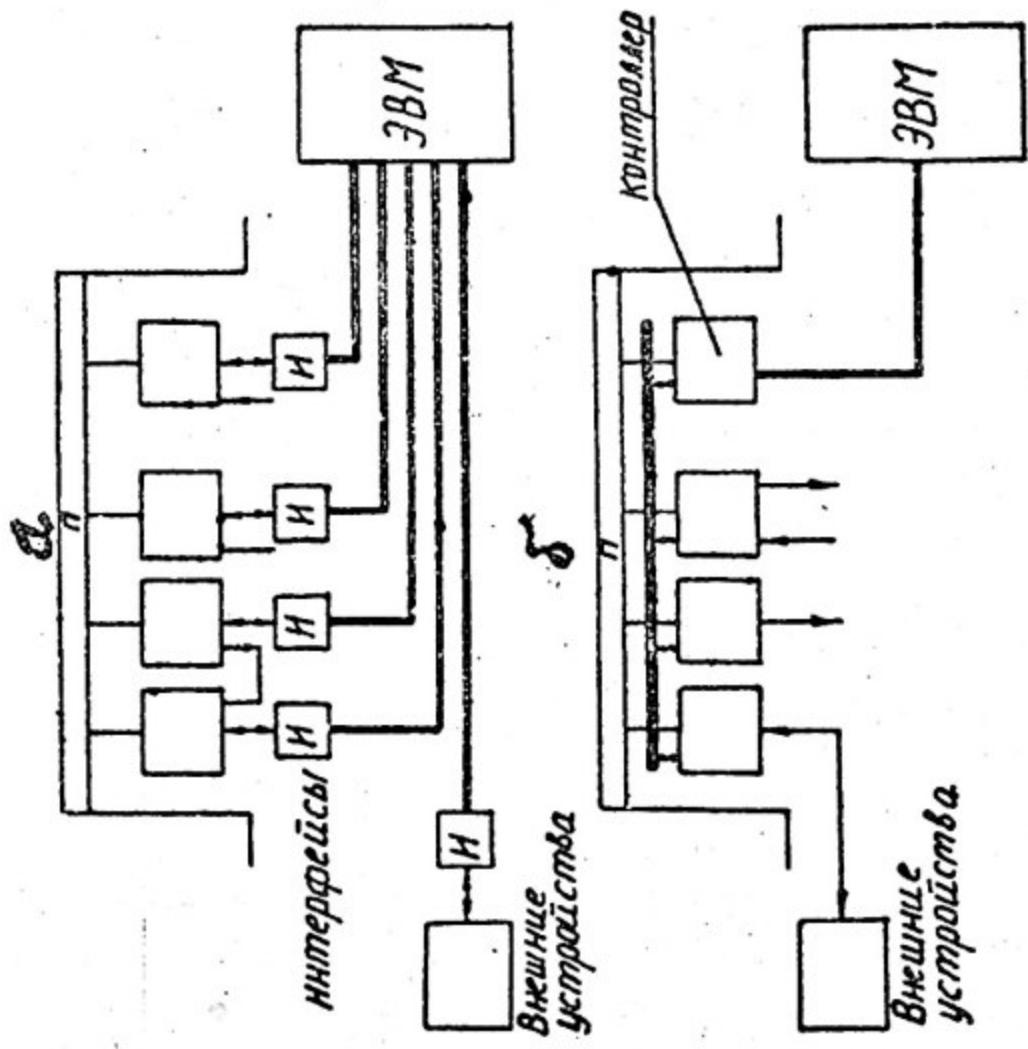


Рис. 3. Структурная схема организации сопряжения с ЭВМ модулей физических установок на основе : а) индивидуальных интерфейсов, б) на основе интерфейса-контроллера и вынесенной магистрали обмена.

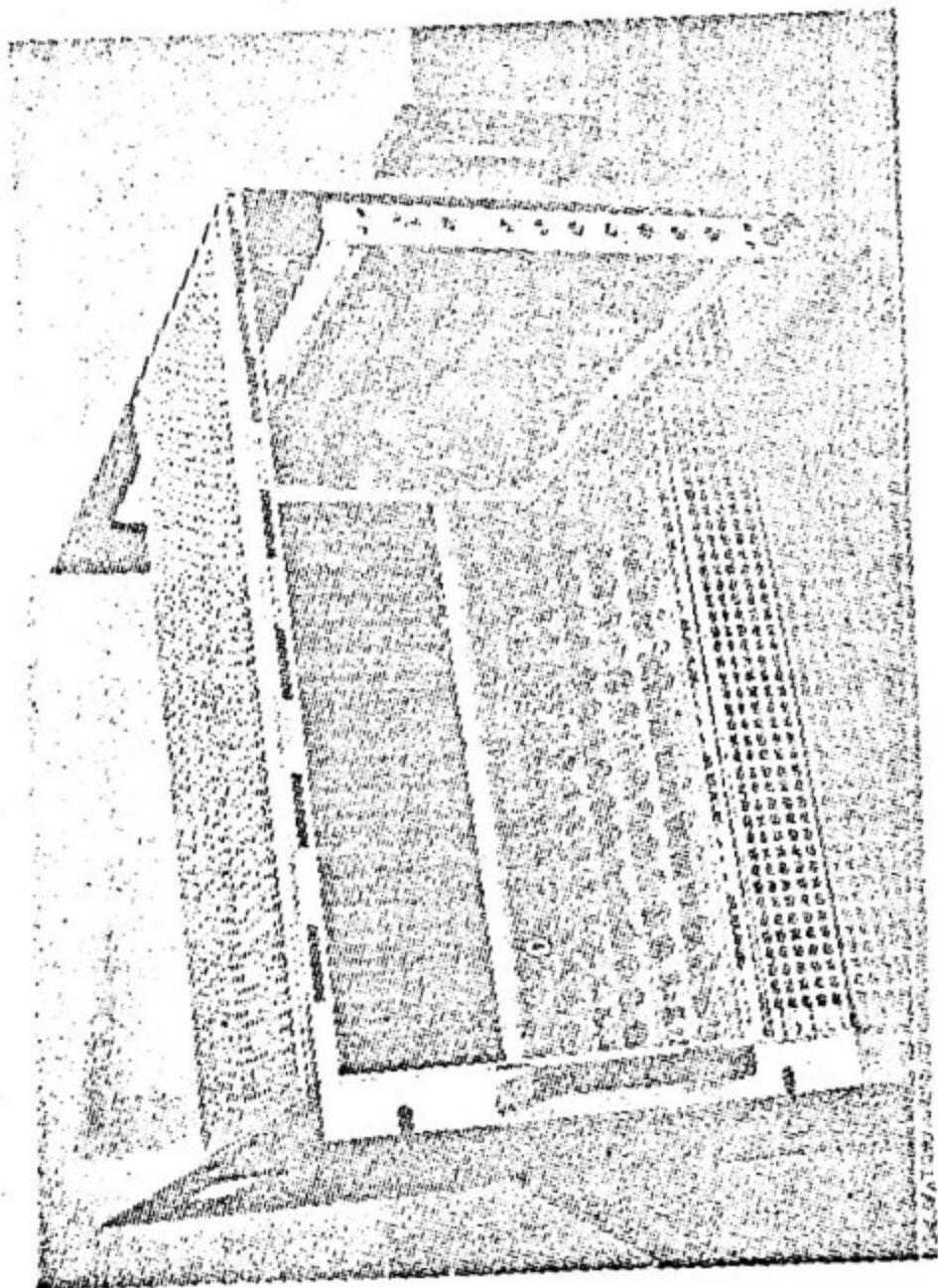


Рис. 4. Внешний вид крейта и модуля.

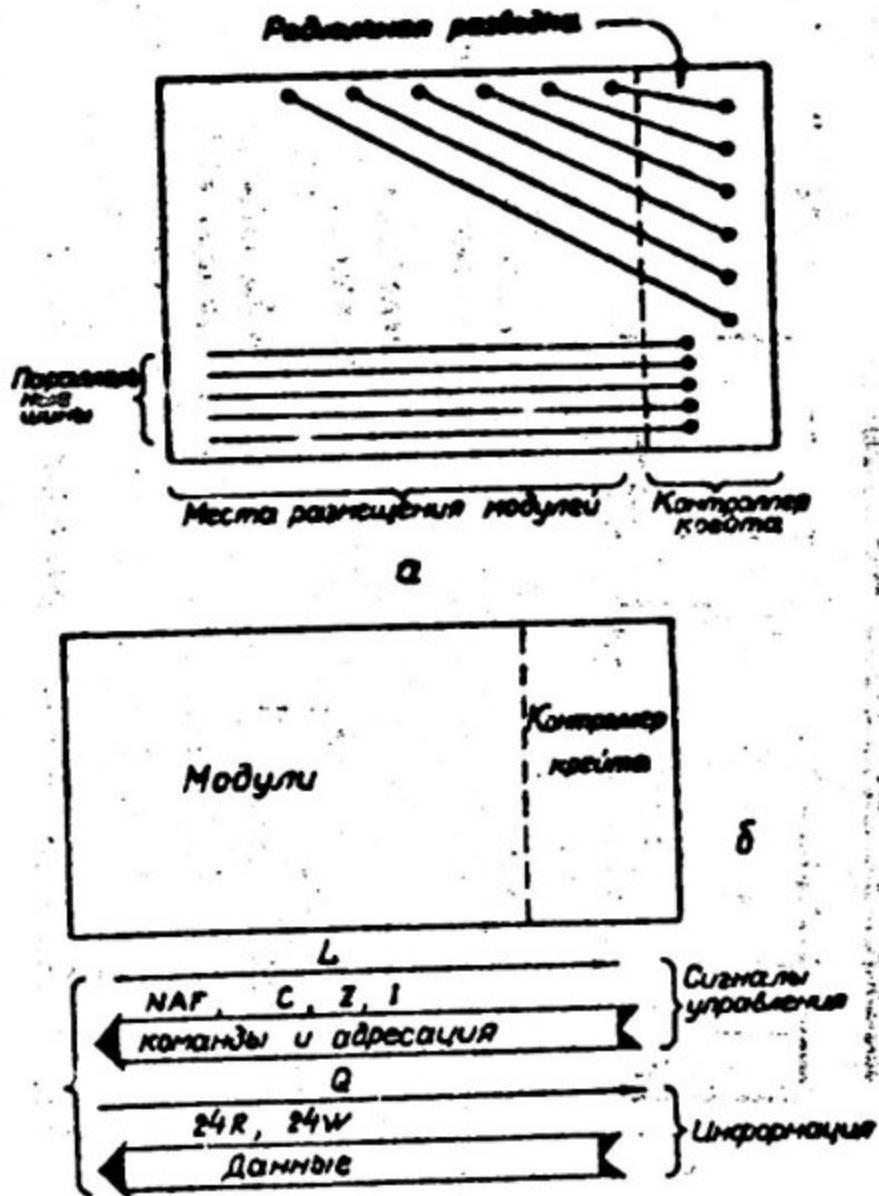


Рис. 5. Упрощенная схема : а) связей в крейте, б) обмена сигналами между модулями и контроллером крейста.

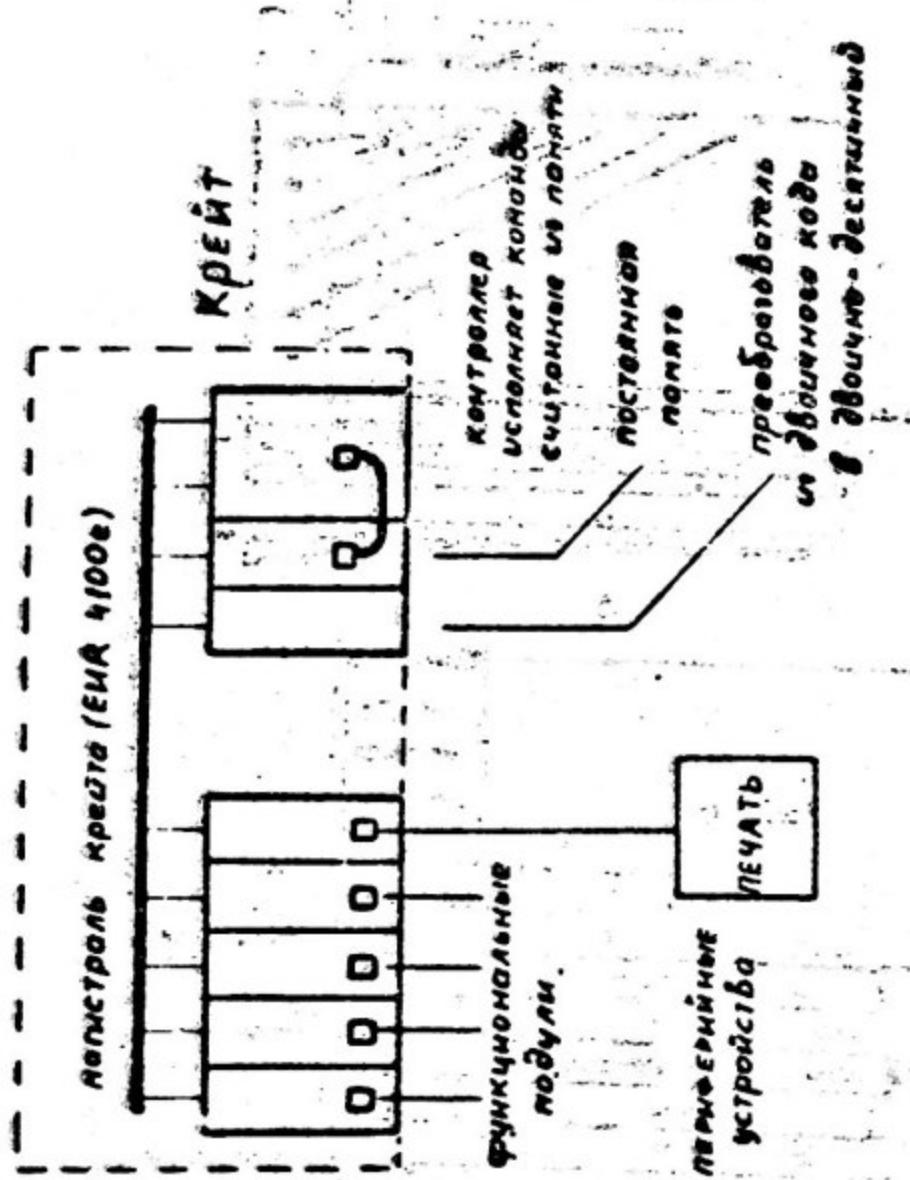


Рис. 6. Система с программным контроллером.

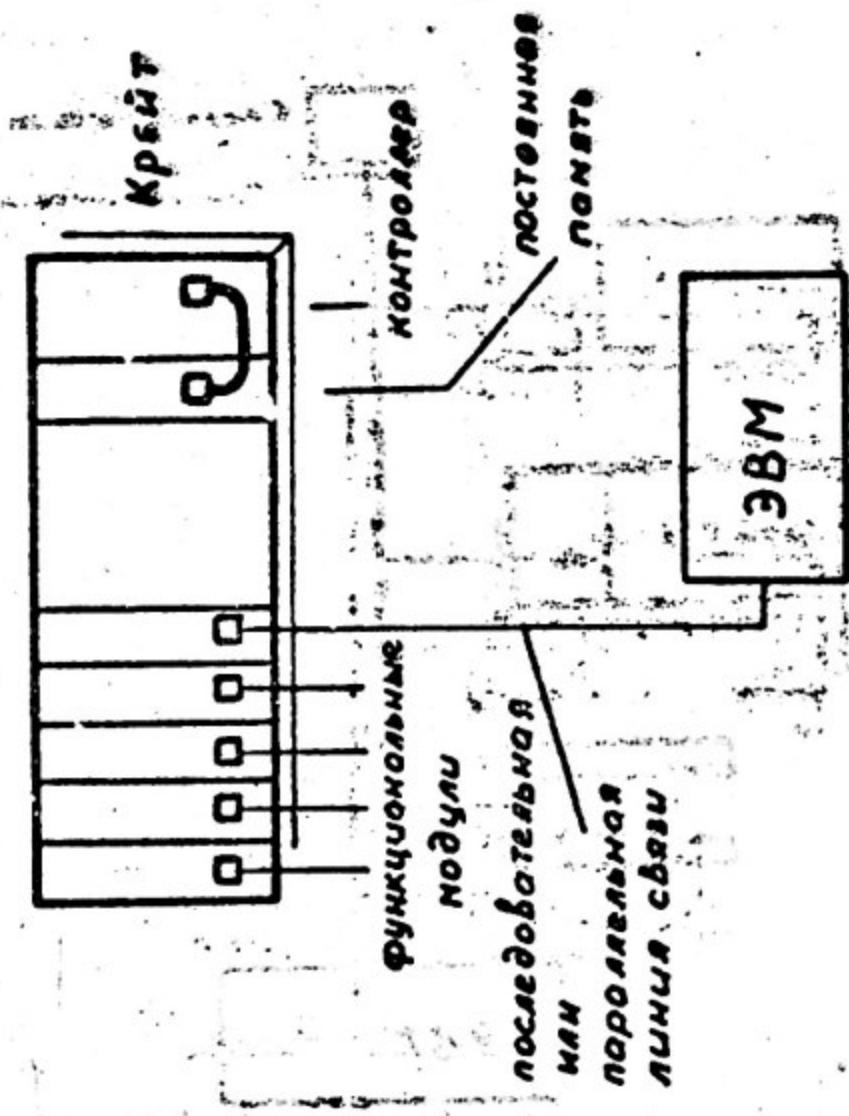


Рис. 7. Система с программным контроллером, сопряженная с ЭВМ.

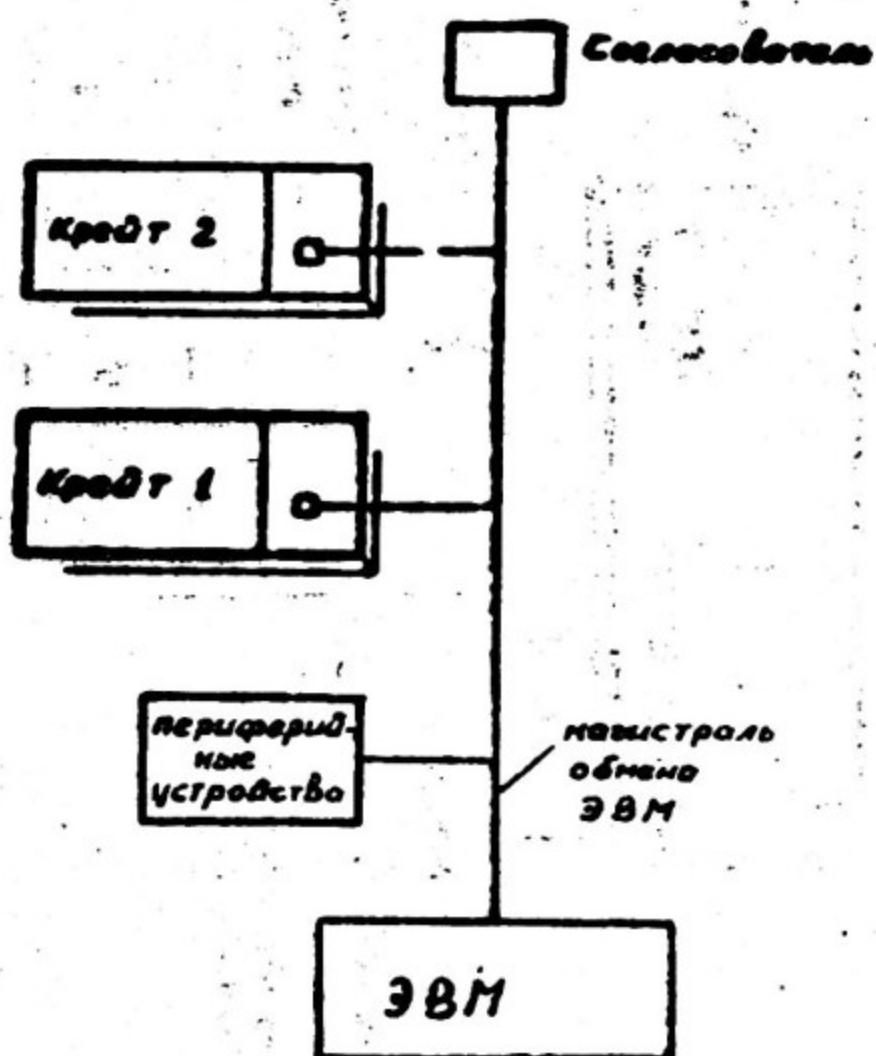


Рис. 8. Система с контроллером крейта для данной ЭВМ.

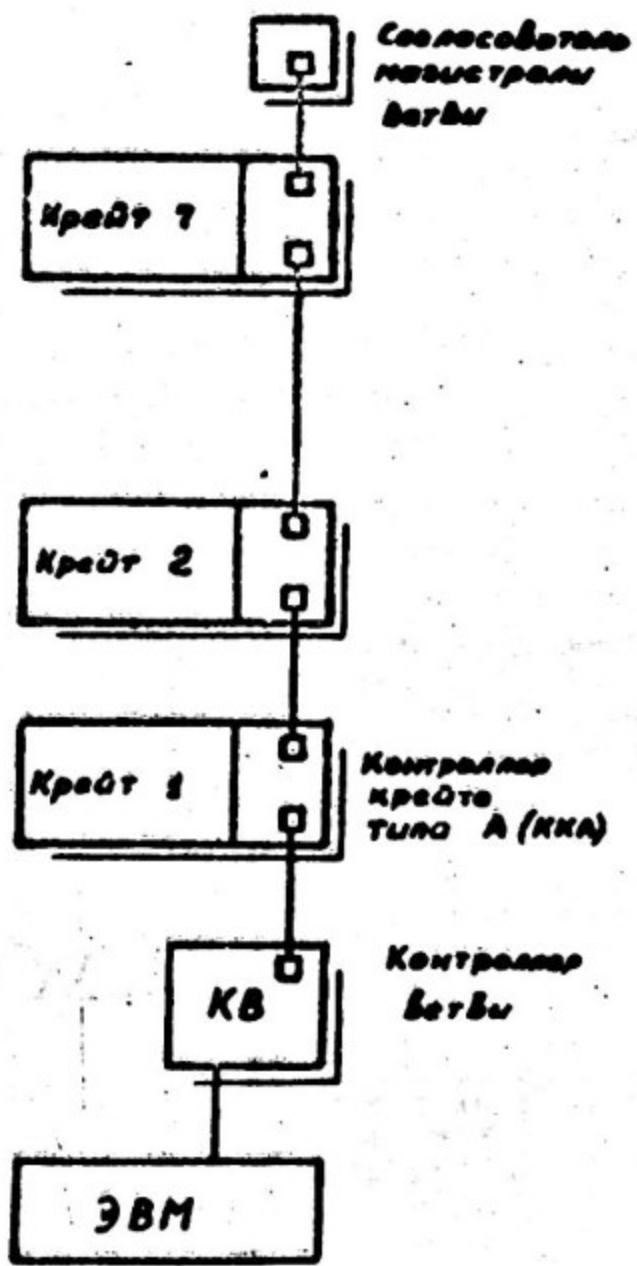


Рис. 9. Система с драйвером ветви и стандартным контроллером типа А.

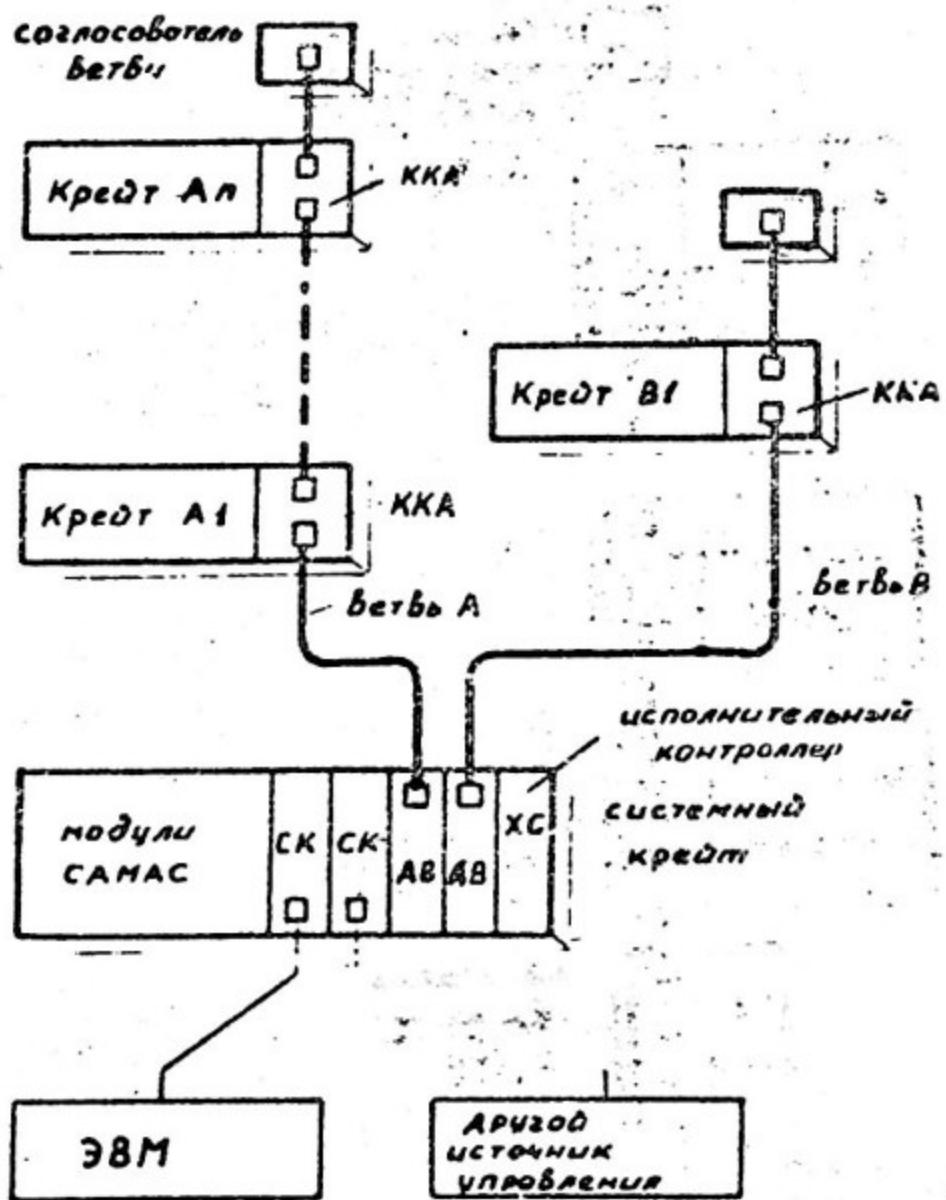


Рис. 10. Многоветвевая система с несколькими источниками управления и общим крейтом (системный крейт). СК – системный контроллер, ИК – исполнительный контроллер, ССА – контроллер крейта типа А.

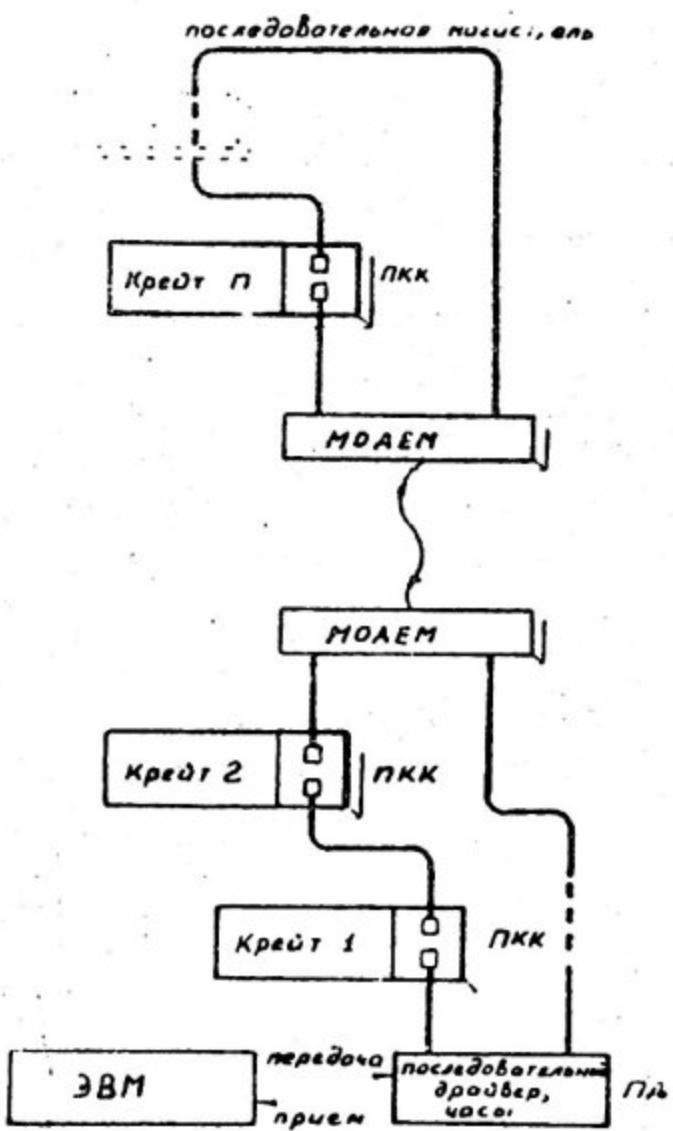


Рис. 11. Последовательная система. ПКК - последовательный контроллер, ПД - последовательный драйвер.

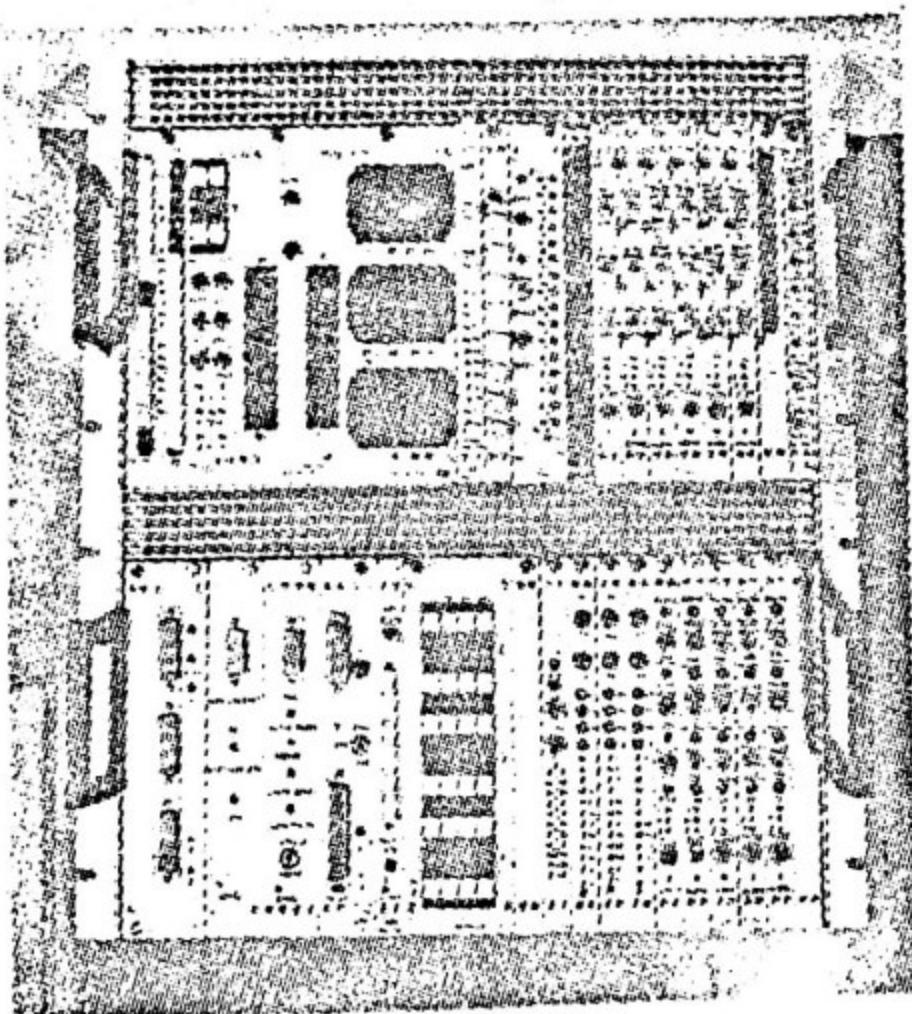


Рис. 12. Внешний вид цифровых модулей
КАМАК.

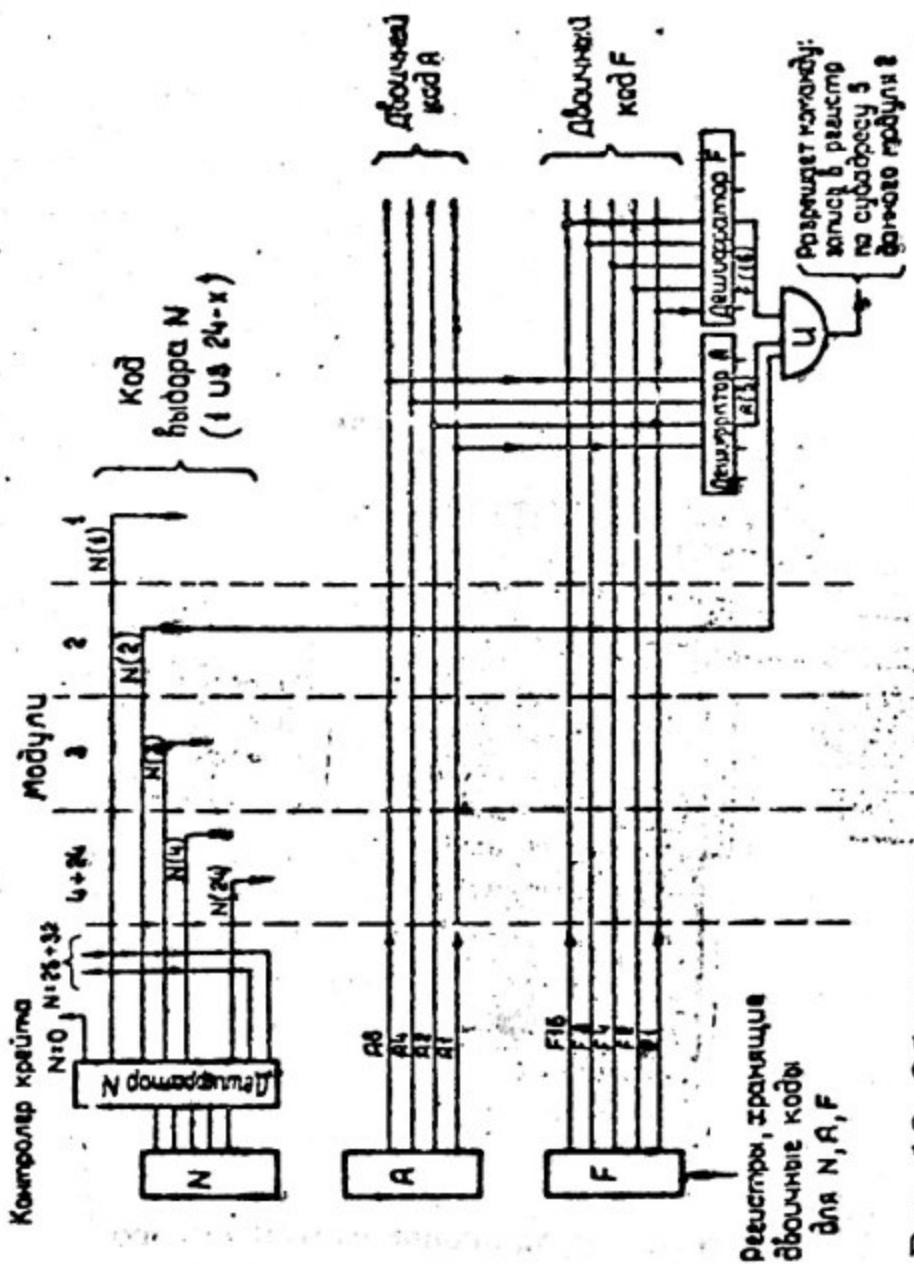


Рис. 13. Обмен командами между модулем и контроллером на магистрали крейта.

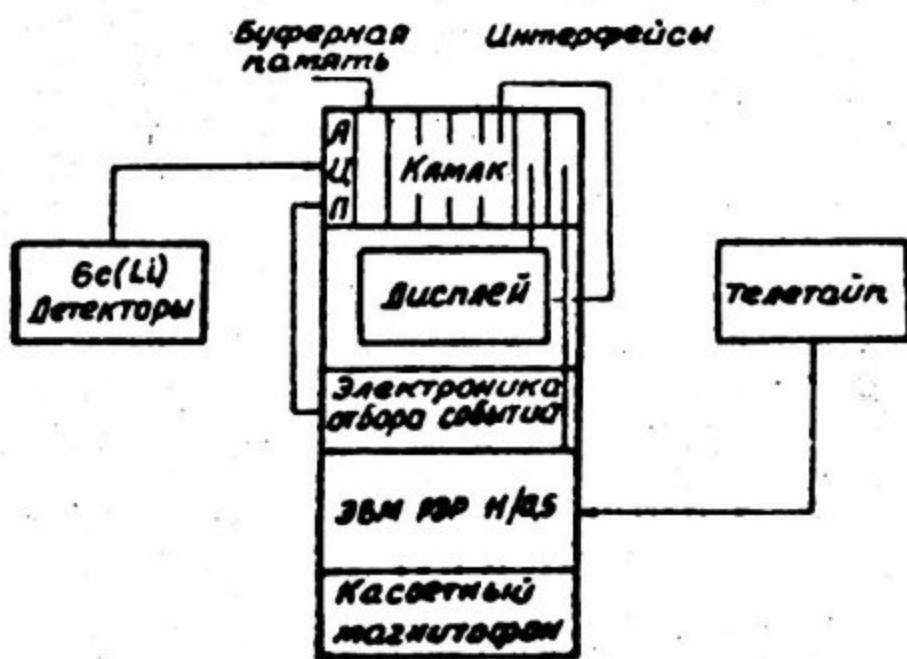


Рис. 14. Система для многопараметрического амплитудного анализа в ядерной спектроскопии.

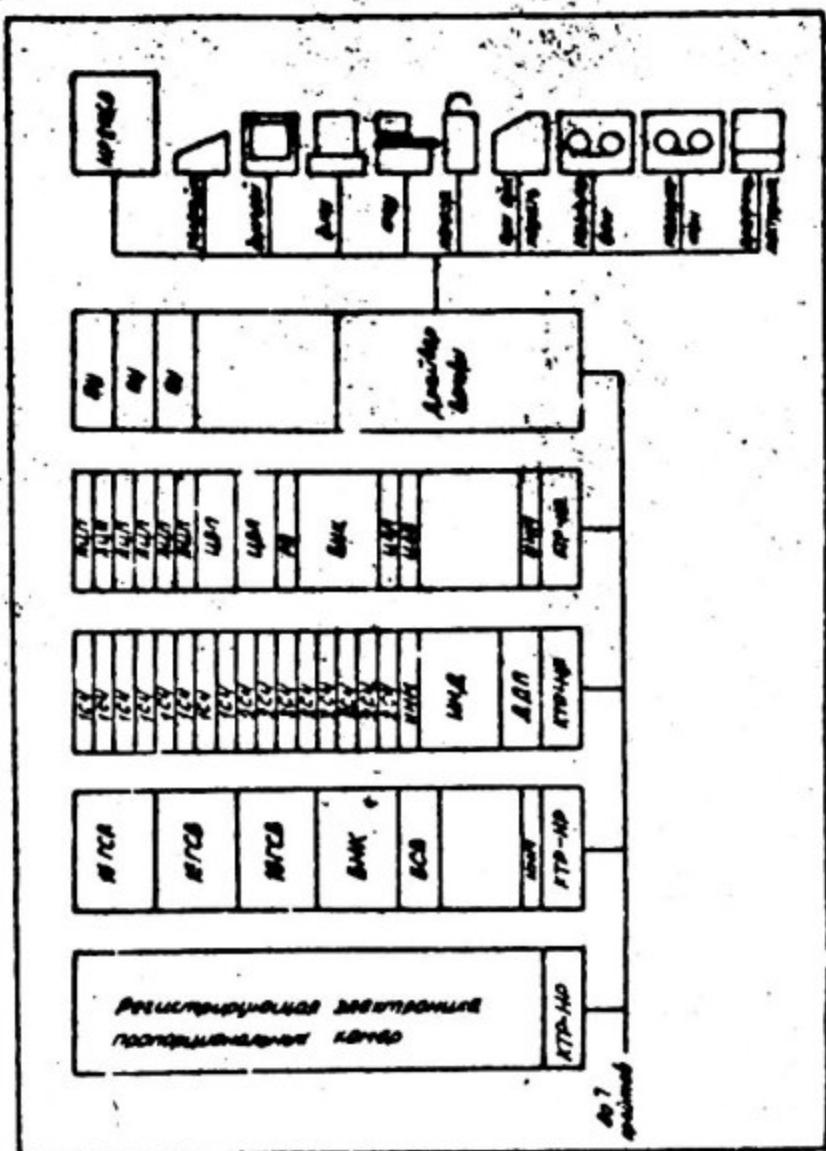


Рис. 15-а. 4-крайтная система линии с ЭВМ
НР2116В для 90-канального
чертенковского спектрометра физики
высоких энергий:
а) структурная схема,

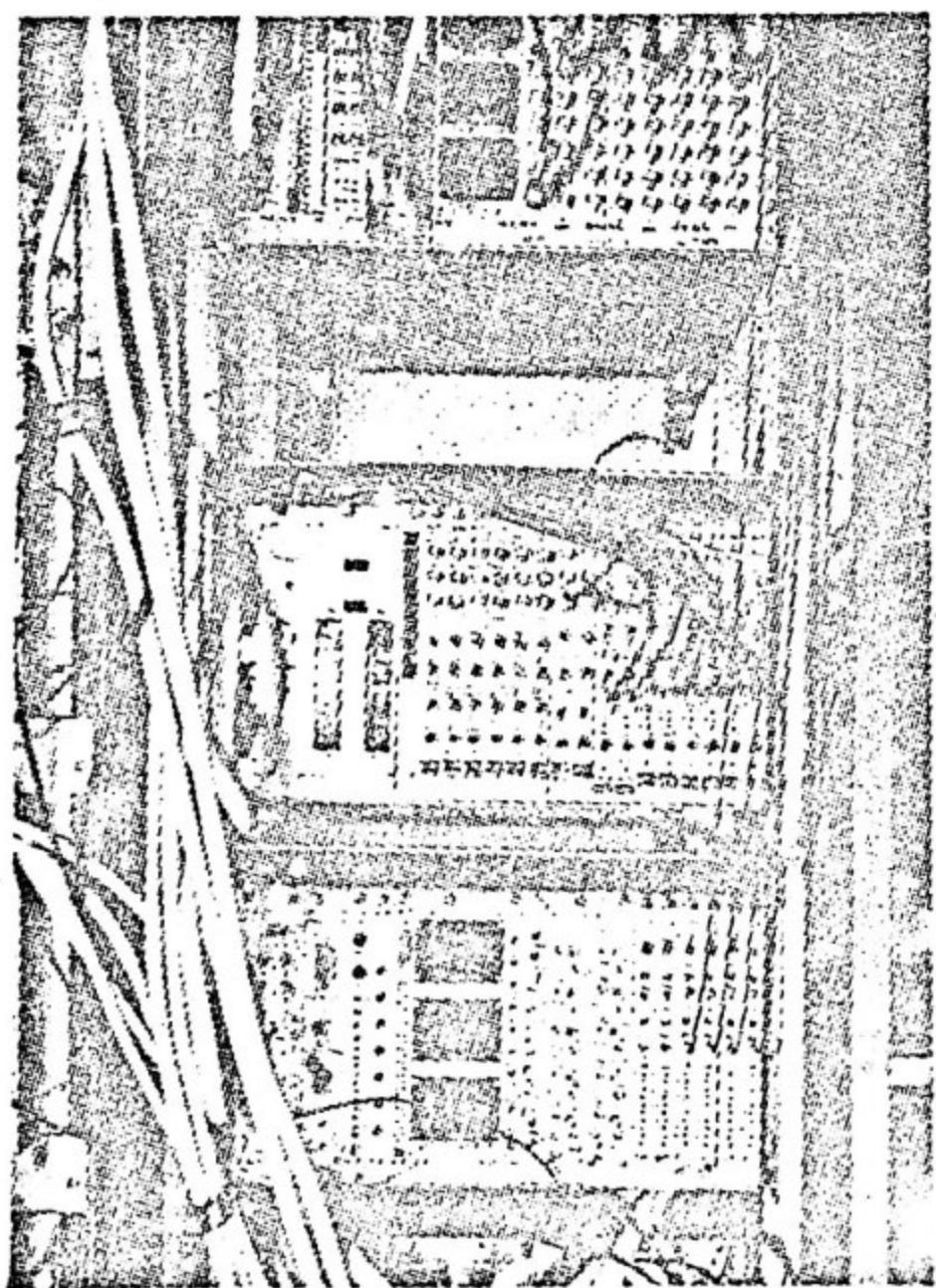


Рис. 15-б. 4-крайтная система на линии с ЭВМ
HP2116B для 90-канального черен-
ковского спектрометра физики высоких
энергий :
б) внешний вид.

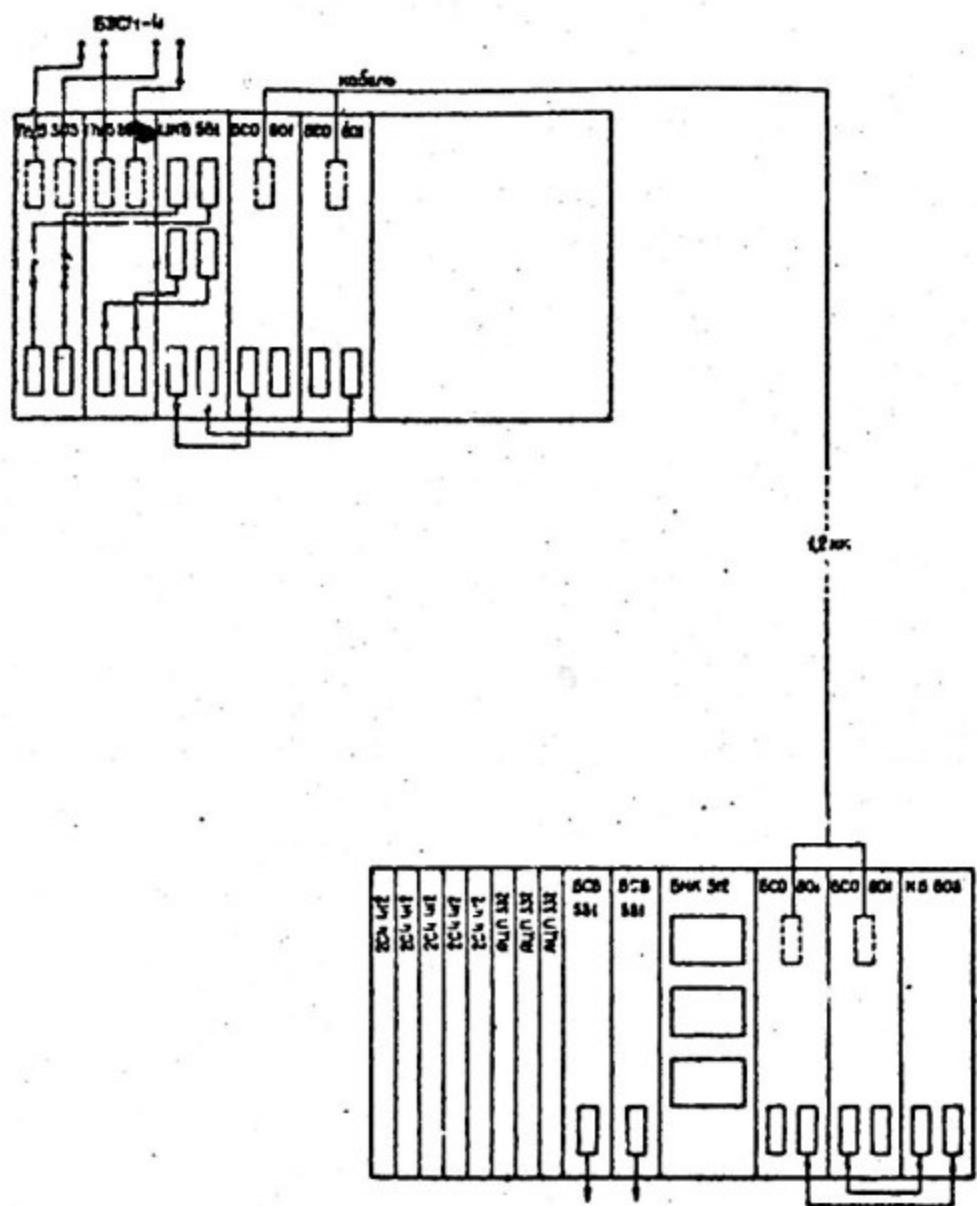


Рис. 16. Структурная схема системы для организации удаленных экспериментов на линии с ЭВМ БЭСМ-4.

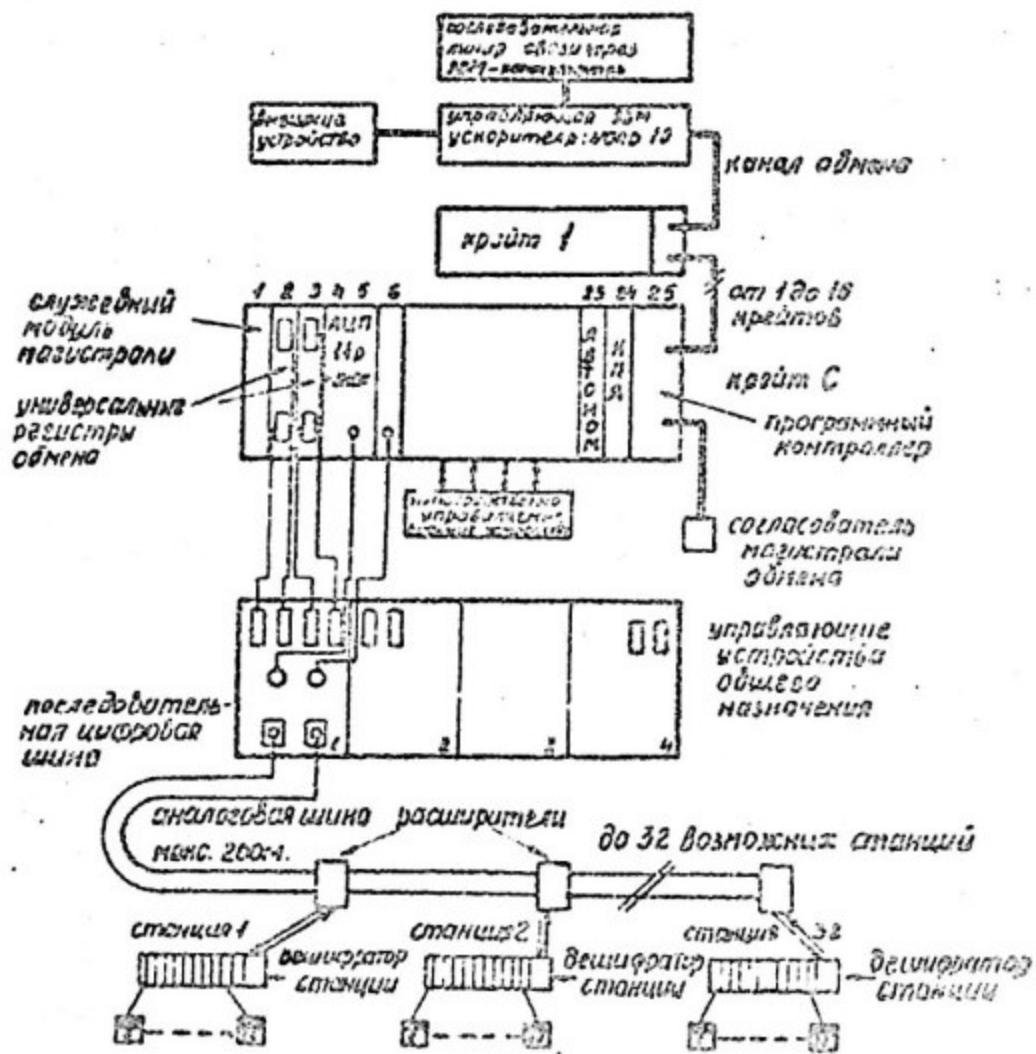


Рис. 17. Структурная схема системы управления протонным ускорителем на 400 Гэв ЦЕРН'a.

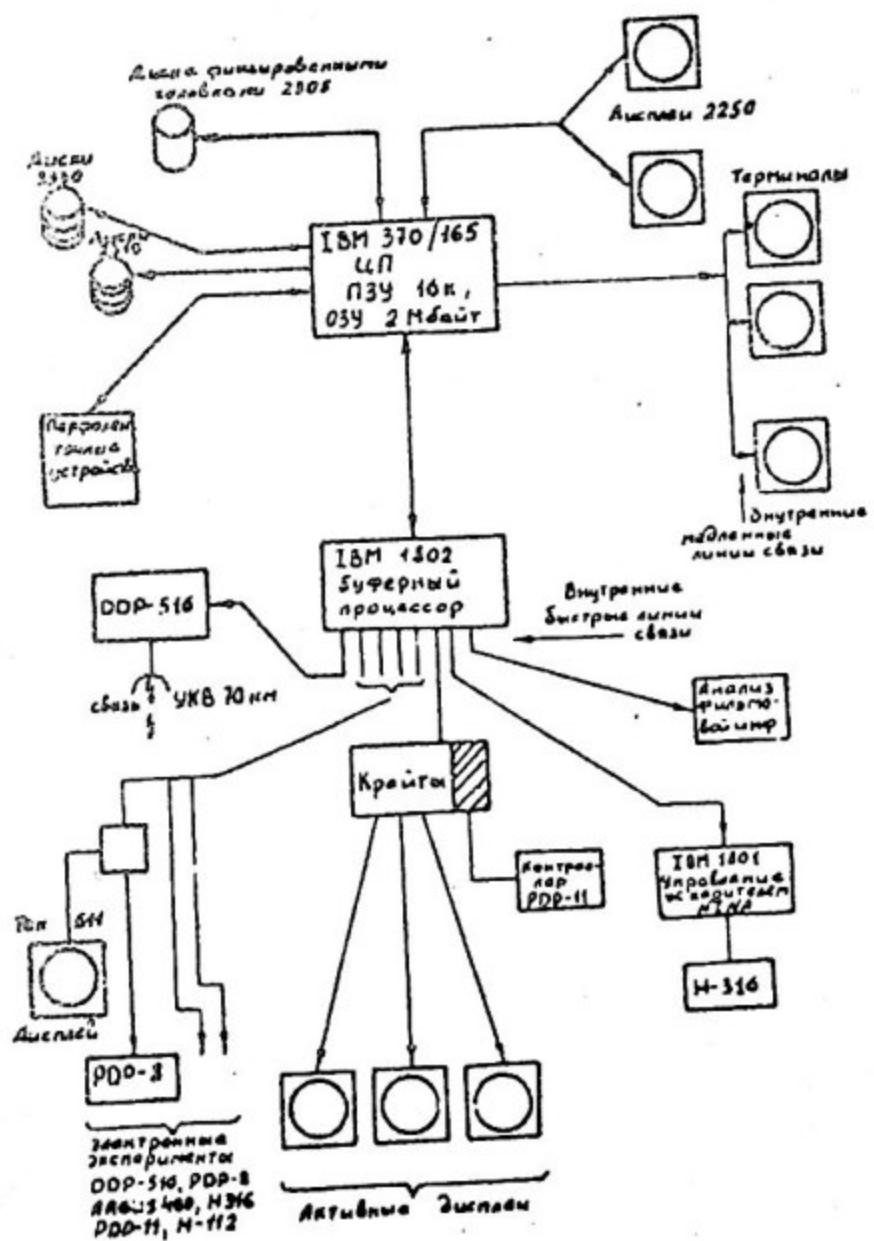


Рис. 18. Структурная схема сети ЭВМ в Daresbury

- Л 91168. Подл. к печати 13/У-75 г. Объем 3 п.л.
Заказ 771. Тираж 250. Цена 20 к.

Типография МИФИ, Каширское шоссе, д.1.