

123
ОБЩЕНИЯ
НЕННОГО
СТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ДОВАНИЙ

10 - 5026

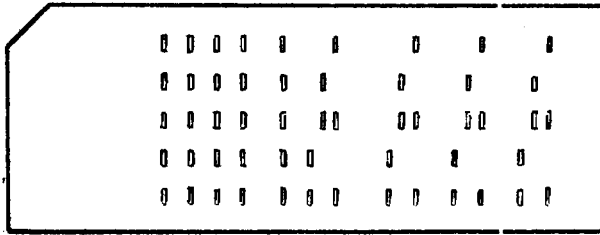


Г.И. Забиякин, В.Н. Поляков

СИСТЕМЫ ЭВМ
ФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ЦЕНТРОВ
ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ
В РЕАЛЬНОМ МАСШТАБЕ ВРЕМЕНИ

1970

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ
И АВТОМАТИЗАЦИИ



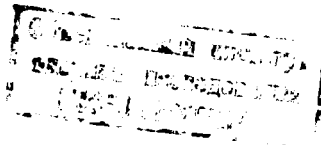
Объединенный институт
ядерных исследований
ЛВТА

10 - 5026

Г.И. Забиякин, В.Н. Поляков

8239/5

СИСТЕМЫ ЭВМ
ФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ЦЕНТРОВ
ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ
В РЕАЛЬНОМ МАСШТАБЕ ВРЕМЕНИ



ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
1. Предпосылки объединения ЭВМ в систему машин	4
2. Основные конфигурации систем машин физических центров	10
3. Объединение цифровых устройств и двухмашинные системы	16
4. Многомашинные системы обработки данных	34
5. Многоступенчатые многомашинные системы	52
6. Заключение	61
7. Литература	63

Вычислительные машины быстро внедряются в практику физического эксперимента. Такие вопросы, как сбор, накопление и обработка экспериментальной информации, контроль за ходом эксперимента, управление физическими установками решаются теперь обычно с использованием различных вычислительных машин. Кроме этого, в физических лабораториях на ЭВМ решаются различные задачи теоретической физики, проводятся моделирование экспериментов, инженерные расчеты и другие работы^{1-5/}.

Следует подчеркнуть, что главную роль в решении этих разнообразных задач играют универсальные цифровые ЭВМ. Значительно реже применяются аналоговые и специализированные вычислительные машины. При этом количество типов применяемых в физических лабораториях ЭВМ чрезвычайно велико, физики используют для своих задач малые, средние и самые большие ЭВМ, а капиталовложения в средства вычислительной техники физических исследовательских центров непрерывно растут.

Одновременно с включением ЭВМ в различные звенья экспериментальной аппаратуры в качестве самостоятельно работающих вычислительных устройств все больше приобретает права гражданства методика, предусматривающая комплексное использование вычислительных средств, состоящих из нескольких связанных между собой электрическими связями и работающих по согласованным про-

граммам вычислительных машин. Рассмотрению некоторых проблем построения таких систем ЭВМ физических исследовательских центров, призванных решать, прежде всего, задачи сбора и обработки экспериментальной информации в реальном масштабе времени, посвящается эта работа.

I. Предпосылки объединения ЭВМ в систему машин.

Совокупность двух или более вычислительных машин, которые могут взаимодействовать между собой без вмешательства человека, называется системой вычислительных машин, или многомашинной системой. Стремление к объединению ЭВМ в систему вытекает в основном из рассмотрения двух факторов: повышения коэффициента готовности оборудования системы и повышения производительности, причем последний фактор при минимальных экономических затратах является определяющим.

Под повышением коэффициента готовности понимается сведение к минимуму потерь при обработке информации из-за отказов оборудования ЭВМ. На ранних стадиях применения ЭВМ, когда обработка информации была всегда разнесена во времени от получения информации, низкая надежность оборудования в конечном итоге лишь замедляла процесс получения результатов. При включении ЭВМ в физическую установку в качестве звена, работающего в реальном масштабе времени, особенно для оптимизации работы крупных физических установок (ускорителей, реакторов), отказы ЭВМ могут привести к существенным экономическим потерям. Поэтому в ответственных случаях применяют различные методы объединения ЭВМ в систему с различной степенью избыточности, вплоть до резервирования и дублирования.

Повышение производительности при объединении ЭВМ в систему является спорным вопросом, поскольку известно, что производи-

тельность одной ЭВМ, построенной за ту же цену, что и две ЭВМ меньшего размера, всегда превосходит суммарную производительность двух. Однако следует иметь в виду тот факт, что в каждый момент времени существует технологический предел производительности одной ЭВМ, поэтому объединение в систему даже самых совершенных машин может принести существенную выгоду, особенно если специализировать отдельные ЭВМ системы на выполнении определенного рода работ /6/.

В принципе каждая универсальная ЭВМ может решать широкий круг задач, но разные ЭВМ не одинаково приспособлены к выполнению каждой из них. Например, ЭВМ, обладающая высокой производительностью при решении арифметических задач, может полностью потерять ее при компилировании или редактировании текстов, поэтому функциональное разделение работ между ЭВМ системы часто приводит к увеличению производительности /7,8/.

Особую важность для физических лабораторий приобретает вопрос объединения в систему больших и малых ЭВМ, поскольку в этом случае пользователь малой ЭВМ автоматически получает в свое распоряжение (конечно, в режиме разделения времени) такие существенные возможности большой ЭВМ, как развитое математическое обеспечение (включая языки автоматического программирования), удобные устройства ввода-вывода информации (печатающие устройства, перфокартное оборудование, экранные пульта, графикопостроители и пр.), а также возможность обработки данных с использованием большой по объему памяти.

С другой стороны, подключение к большой ЭВМ малой существенно расширяет возможности применения больших ЭВМ в экспериментальной физике. В самом деле, фирмы-производители крупных ЭВМ в основном ориентируются на использование машин в режиме пакетной обработки задач, в результате чего существующие операционные

системы мало эффективны при работе в реальном масштабе времени. Модификация операционной системы требует больших материальных затрат и привлечения высококвалифицированных программистов, что не всегда удобно для физических исследовательских центров. Оказывается более выгодным подключение к большой ЭВМ малой, на которую возлагается обязанность по накоплению данных и преобразованию форматов. Малые ЭВМ обычно поставляются вместе с простым математическим обеспечением, работающим в реальном масштабе времени, поэтому на программирование системы тратится меньше сил, чем на модификацию операционной системы большой ЭВМ для работы в реальном масштабе времени /3/.

Крупные ЭВМ, применяемые в вычислительных центрах физических лабораторий, структурно являются системами. Так, широко распространенная ЭВМ CDC-6600 состоит из II вычислительных машин, объединенных в систему, хотя пользователь часто об этом не знает и работает с системой так же, как с отдельной ЭВМ. Более того, с такой ЭВМ агрегируются другие ЭВМ для повышения производительности обработки данных.

Не исключая эту постановку задачи для вычислительных центров физических лабораторий, которая направлена на более эффективное решение широкого круга вычислительных задач физики, накопление и обработка экспериментальных физических данных предъявляют ряд своих специфичных требований к системам ЭВМ. В связи с этим необходимо рассмотреть некоторые информационные особенности двух основных физических методик: фильмовой и бесфильмовой регистрации физических явлений.

Фильмовая методика, т.е. фотографирование объемов пузырьковых и искровых камер, в своей основе принципиально предусматривает разрыв между регистрацией физического явления и процессом обработ-

ки полученной информации. Разрыв обусловлен неизбежным в этой методике проявлением пленки. Обработка информации с фотографий включает обычно такие этапы, как предварительный визуальный просмотр, измерение координат треков частиц, восстановление геометрии и кинематики явления, а также физическую интерпретацию полученных результатов. Методика допускает разнесение во времени отдельных этапов обработки и, более того, при необходимости - возврат к более ранним этапам. Передача информации, полученной в процессе обработки от одного этапа к другому (от одной ЭВМ к другой) производится, как правило, с помощью магнитных лент, на которые записываются исходные данные и результаты обработки каждого этапа.

В процессе обработки пленочной информации используются все категории ЭВМ (малые, средние, большие), однако в экспериментальной практике пока в большинстве случаев обходятся без объединения этих ЭВМ в систему, ограничиваясь переносом магнитных лент. Необходимо заметить, что стремление к улучшению вычислительного сервиса и исключению на отдельных этапах из последовательности обработки промежуточных носителей информации (магнитных лент) приводит к появлению вычислительных систем и при обработке пленочной информации /9/. При этом повышается и общая эффективность обработки, так как появляется возможность ранней диагностики ошибок, в том числе ошибок операторов.

Беспленочная (электронная) методика регистрации физических явлений предусматривает сбор данных, получаемых с детекторов излучений (сцинтилляционных и полупроводниковых счетчиков, искровых камер и др.) в виде электрических сигналов, которые затем преобразуются в цифровую форму. Полученные таким образом цифровые

коды и являются исходными данными для всех последующих этапов обработки, проводимой с помощью ЭВМ. Использование ЭВМ в бесфильмовой методике имеет две характерные особенности.

С одной стороны, электронная методика позволяет планировать и проводить эксперименты, в которых применение даже самых малых ЭВМ обеспечивает регистрацию физических явлений и запись на магнитную ленту в ходе эксперимента больших массивов экспериментальной информации. Часть информации стремятся сразу же обработать для контроля за ходом эксперимента, с помощью ЭВМ производят инструментальные проверки экспериментальной аппаратуры. Окончательную обработку данных стремятся провести на более мощных ЭВМ, имеющих большой объем памяти, развитое математическое обеспечение, библиотеку программ и т.д.

С другой стороны, достоверность получаемой в эксперименте информации может быть подтверждена лишь после достаточно полной обработки данных, которая проводится на сравнительно большой ЭВМ. Однако даже крупные исследовательские центры не в состоянии по экономическим соображениям обеспечить каждый эксперимент большой (а нередко и средней) ЭВМ.

Использование магнитных лент для обмена информацией между ЭВМ не решает отмеченных противоречий между экономическими возможностями и экспериментальной необходимостью. При переносе магнитных лент с накопленной информацией с малой машины на большую разрыв между проведением эксперимента и получением результатов достигает нескольких часов и даже дней, что может привести к потере времени работы ускорителя или реактора.

С целью предоставления возможности производить углубленный анализ данных во время эксперимента в реальном масштабе времени и исключения обмена с помощью магнитных лент, во

многих физических центрах интенсивно ведутся работы по созданию систем вычислительных машин, в которых может производиться автоматический обмен информацией между малыми и большими вычислительными машинами через линии связи. При этом несколько экспериментальных групп могут использовать мощные ЭВМ в режиме разделения времени, а на экспериментальных площадках результаты обработки данных получают достаточно быстро.

Если ЭВМ объединены в систему для выполнения общей работы, они должны обмениваться данными и программами. Когда ЭВМ системы расположены на близком расстоянии друг от друга (до нескольких десятков метров), для обеспечения связи между ними используются общие запоминающие устройства, работающие в режиме разделения времени, или каналы ввода-вывода информации, входящие в структуру машин. При очень большом расстоянии между машинами (десятки и сотни км) используются средства связи общего пользования: телефонные, телеграфные, радиорелейные и др., обмен информацией производится по правилам пользования этими средствами связи с использованием стандартной аппаратуры /10-12/.

В крупных физических центрах расстояние между малыми ЭВМ экспериментальных установок и большими ЭВМ центрального вычислительного комплекса (ЦВК) достигает нескольких километров. В этих условиях уже невозможно использовать стандартную аппаратуру ввода-вывода информации ЭВМ, которая не рассчитана для работы на кабели большой длины. С другой стороны, аппаратуру средств связи общего пользования **применять** нецелесообразно, так как внутри физических центров, как правило, отсутствуют быстродействующие линии связи общего пользования, а строительство таких линий специально для системы машин относительно дорого.

Некоторые фирмы-изготовители ЭВМ предлагают аппаратуру для связи вычислительных машин между собой, однако, как правило, эта аппаратура предназначена для связи ЭВМ одной фирмы, что редко бывает в крупных физических центрах, оснащенных десятками ЭВМ различных классов.

В связи с этим в крупных физических лабораториях и особенно в исследовательских центрах создаются собственные линии связи между ЭВМ и программное обеспечение систем.

2. Основные конфигурации систем машин физических центров

Первые же работы по объединению ЭВМ для решения задач сбора и обработки экспериментальных данных показали высокую эффективность таких систем. В настоящее время работает уже более двадцати систем в различных областях экспериментальной физики. Эти системы можно разделить по их конфигурации на несколько категорий.

2.1. Исторически первыми появились простые двухмашинные системы (рис.1), в которых экспериментатору предоставляется возможность использовать ресурсы большой ЭВМ в реальном масштабе времени. Малая ЭВМ становится спутником, выполняющим ряд подготовительных работ. Помимо самих ЭВМ такая система включает в себя блоки связи, обеспечивающие передачу кодов по линиям связи между каналами ЭВМ. Конкретными условиями применения этих систем (расстояние между ЭВМ, требуемая скорость передачи данных и т.д.) определяются способ передачи данных и объем оборудования связи. Связь в простых двухмашинных системах обычно организуется сеансами, причем установлением связи управляет оператор.

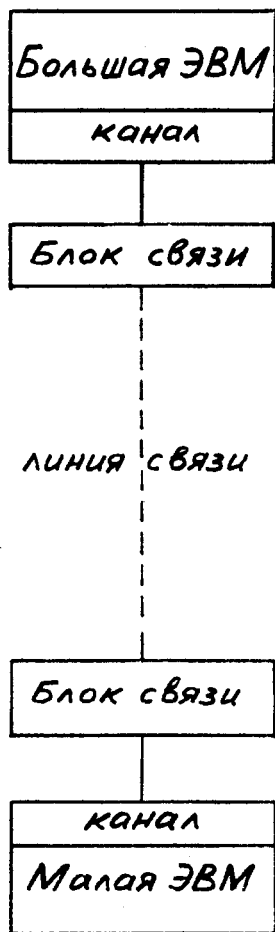


Рис. I. Двухмашинная система обработки данных.

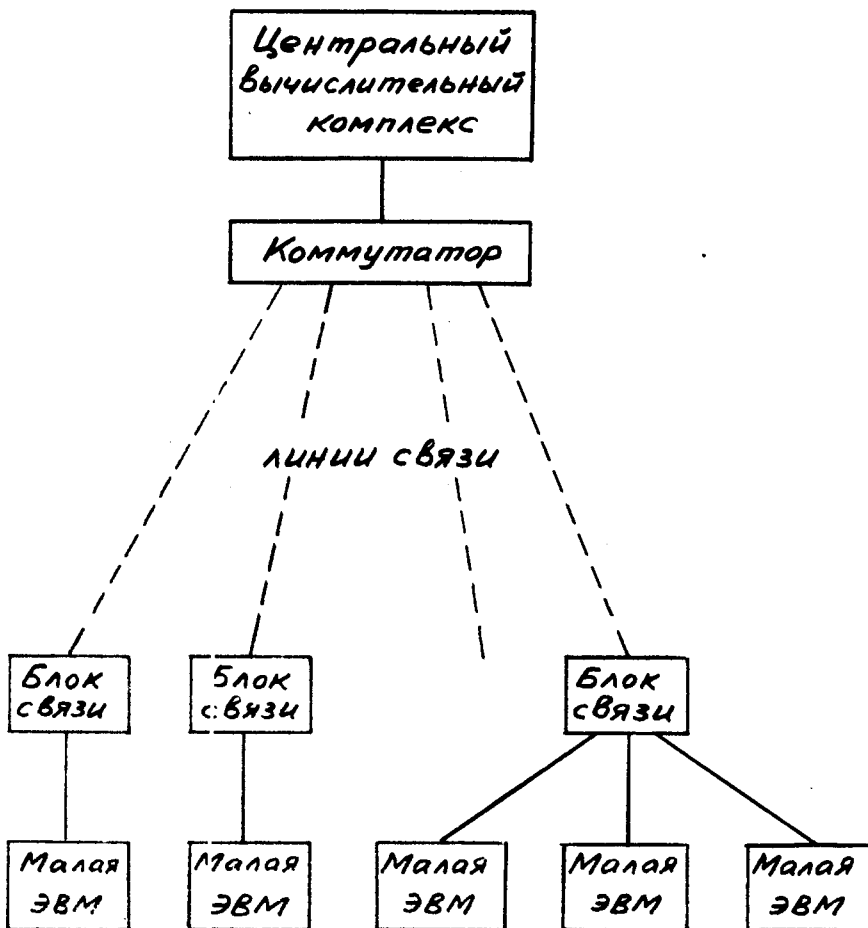


Рис.2. Многомашинная система.

К категории двухмашинных систем могут быть отнесены системы с двухсторонней передачей данных между специализированными цифровыми устройствами для их накопления (имеющими свою оперативную память, как, например, многоканальные анализаторы) и универсальной вычислительной машиной. Именно эти системы положили начало системотехнике в физических лабораториях и показали целесообразность создания многомашинных систем для обработки экспериментальной информации.

2.2. Расширение парка ЭВМ в физических лабораториях и особенно появление на рынке большого числа недорогих и удобных для применения в эксперименте малых, а впоследствии и миниатюрных (мини) ЭВМ, поставило задачу связи нескольких ЭВМ с машиной более высокого класса.

В крупных физических лабораториях высокопроизводительные ЭВМ обычно объединяются в центральный вычислительный комплекс (ЦВК), так что задача построения системы связи нескольких малых ЭВМ, расположенных на экспериментальных площадках, в общем плане может формулироваться как связь машин с ЦВК (рис.2).

В многомашинной системе появляется новый узел аппаратуры — коммутатор линий связи. Работа нескольких абонентов системы (малых ЭВМ) по расписанию затруднительна, а часто и просто невозможна. Поэтому обычно в многомашинных системах организация очередей обслуживания возлагается на специальную программу-диспетчер, и связь устанавливается автоматически. Как будет показано ниже, удобно выделять для "административных" целей в ЦВК специальную небольшую ЭВМ, которая наряду с коммутированием линий связи решает еще ряд полезных задач, возникающих при обслуживании нескольких физических экспериментов.

Другой особенностью многомашинной системы сбора и обработки данных является то, что к одной линии связи могут быть подключены несколько периферийных ЭВМ, использующих эту линию в режиме разделения времени. В этом случае блок связи выполняет также функции коммутатора, обеспечивая подключение малых ЭВМ (или другого цифрового оборудования) к линии связи.

2.3. Расширение применения средств вычислительной техники в экспериментальных задачах, развитие программ обработки экспериментальных данных, а также появление средств удобного общения человек-машина на основе пультов с визуальным представлением информации привело к дальнейшему развитию структуры многомашинных систем обработки данных.

Около крупных физических установок помимо ЭВМ, участвующих непосредственно в процессе регистрации экспериментальных данных и включенных в оборудование эксперимента, появляется отдельная машина, на которую возлагается ряд функций, ранее выполняемых ЭВМ центрального комплекса. В качестве машины измерительного центра (ИЦ) обычно применяется ЭВМ среднего класса. Такие много-ступенчатые системы характерны для многоцелевых физических центров, где имеется несколько больших исследовательских установок (ускорители, реакторы), при которых созданы измерительные центры. К ЭВМ ИЦ может быть подключено одновременно несколько экспериментальных установок, в том числе и использующих малые ЭВМ (рис.3).

При такой организации часть программ обработки данных выполняется машинами ИЦ. Эти же машины производят редактирование массивов, ввод и вывод графической и алфавитно-цифровой информации, обслуживание устройств взаимодействия человек-машина, организацию внутренних очередей в измерительном центре и другие "административные" функции. На ЭВМ ЦВК производится обработка подготовленной информации по сложным программам.

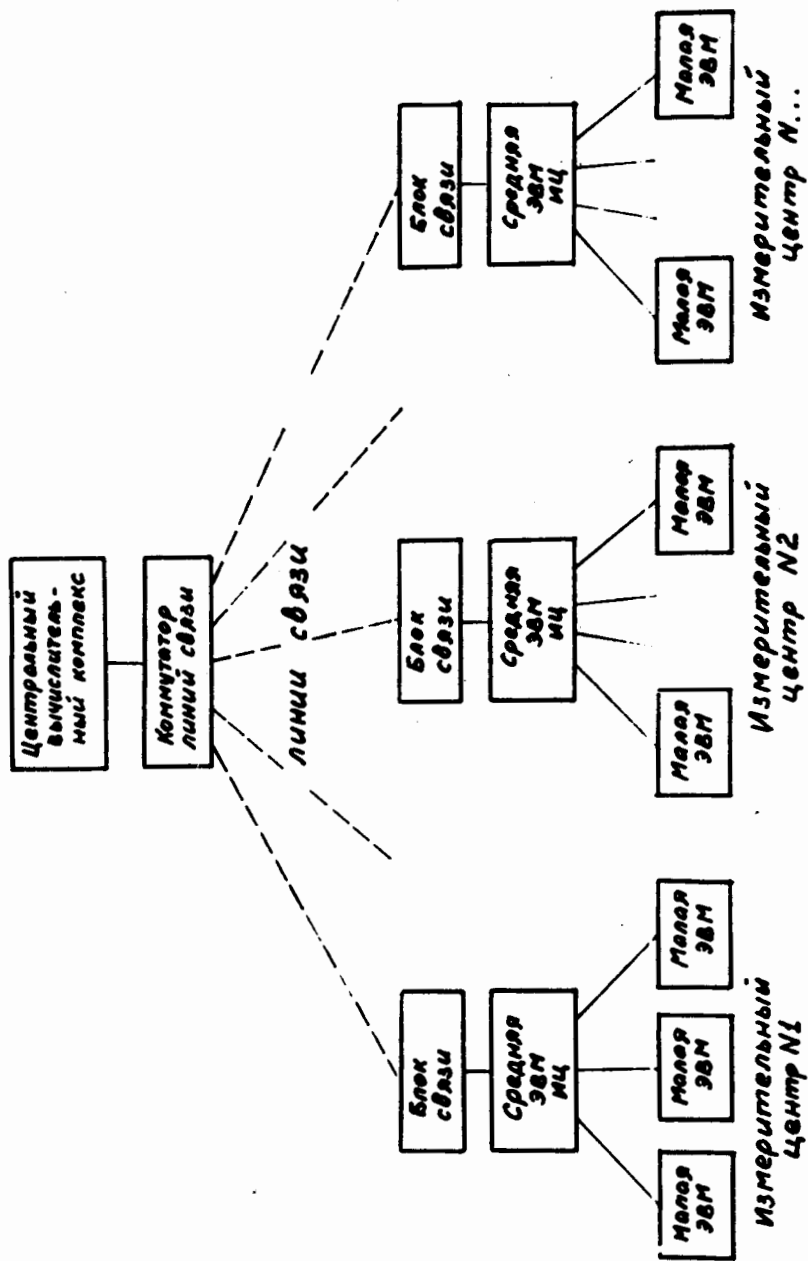


Рис.3. Многоступенчатая система вычислительных машин.

2.4. В следующих ниже разделах на примерах некоторых систем вычислительных машин физических центров будут рассмотрены более подробно особенности многомашинных систем. Основное внимание уделено системам, в состав которых входят специальные быстродействующие линии передачи данных между ЭВМ ЦВК и другими ЭВМ.

Второй особенностью отобранного в качестве примеров материала является то, что по отдельным крупным физическим центрам приведены характеристики не только действующих или разрабатываемых многомашинных систем, но и отмечены более ранние этапы работ, обусловившие формирование идеологии построения систем.

3. Объединение цифровых устройств и двухмашинные системы

В экспериментальных исследованиях по физике низких энергий создание вычислительных систем, предназначенных для сбора и обработки экспериментальных данных, началось с объединения в единый комплекс (измерительный центр) оборудования, **необходимого** для регистрации многоканальных спектров (многоканальных анализаторов) и связи этих комплексов с универсальными ЭВМ, на которых осуществлялась основная обработка получаемой экспериментальной информации. По мере оснащения физических лабораторий универсальными машинами все более высокого класса развивались и системы связи измерительных центров с ЭВМ. При этом преследовалась цель **возможности** транслировать экспериментальную информацию на более мощные ЭВМ непосредственно или через промежуточные машины. Таким образом, анализаторные комплексы развиваются в многомашинную систему сбора и обработки экспериментальных данных.

В экспериментах физики высоких энергий системы регистрации вначале также включали специализированные цифровые блоки с собственным запоминающим устройством, которые связывались линиями передачи данных с универсальными ЭВМ. Однако с появлением малых ЭВМ электронная методика с искровыми камерами и счетчиками практически полностью перешла на применение в эксперименте универсальных ЭВМ.

Наибольшее распространение в настоящее время получили простые двухмашинные системы, включающие малую (или среднюю) ЭВМ, работающую с экспериментальной аппаратурой и связанную с большой машиной, на которой производится основная обработка экспериментальных данных.

3.1. Одной из первых систем вычислительных машин, созданных для обработки данных в области физики низких энергий, является система Аргоннской национальной лаборатории (США) /13,14/. Этой системой обрабатываются данные, полученные в измерительных спектрометрических центрах на генераторе Ван-де-Графа с энергией 4 Мэв и тандем-генераторе с энергией 12 Мэв. Система эксплуатируется в течение нескольких лет и прошла в своем развитии несколько последовательных этапов.

В первом варианте ядром системы являлась ЭВМ ASI-2100 с памятью 8К слов и циклом памяти 2 мксек (длина слова 21 разряд). К машине подключались стандартные внешние устройства ЭВМ (накопители на магнитных лентах, АЦПУ, перфокартное оборудование, телетайпы, графикопостроитель и др.), многоканальные амплитудные анализаторы и специально разработанная аппаратура передачи данных по линиям связи. ЭВМ ASI-2100 имеет достаточно развитое математическое обеспечение, в том числе эффективный транслятор с ФОРТРАНа.

К машине подходят следующие линии связи:

а) линия связи с двумерным 4096-канальным анализатором (длиной около 25 м), обеспечивающая передачу данных в обоих направлениях;

б) линия связи с измерительным центром генератора Ван-де Граафа (длиной 135 м), в состав которого входит станция приема-выдачи информации с карточным перфратором, печатающим устройством, телетайпом и клавиатурой для управления режимом работы станции;

в) линия связи с большой вычислительной машиной CDC-3600, длиной около 250 м.

Передача данных производится по кабелям со скрученными парами, на **обеих** сторонах **которых** находятся дифференциальные приемные и передающие усилители. Передача производится параллельным 12-разрядным кодом с контролем по четности. Максимальная скорость передачи данных по линиям связи - 1,75 М бит/сек. Опыт эксплуатации показал, что для передачи 4096 слов в CDC-3600, обработки их и обратной передачи результатов затрачивается около 1 секунды.

Организация связи осуществляется вручную. Для того, чтобы начать передачу данных, оператор ASI-2100 с пульта управления посылает сигнал прерывания, по которому CDC-3600 переходит к выполнению программы обслуживания линии связи.

Первые же физические результаты, полученные с помощью системы, привлекли к ней повышенное внимание физиков-экспериментаторов. Стало трудно распределять машинное время между двумя ускорителями. Одним из возможных решений было создание для

ASI-2100 специальной операционной системы для работы в режиме разделения времени. Однако для этого требовались квалифицированные

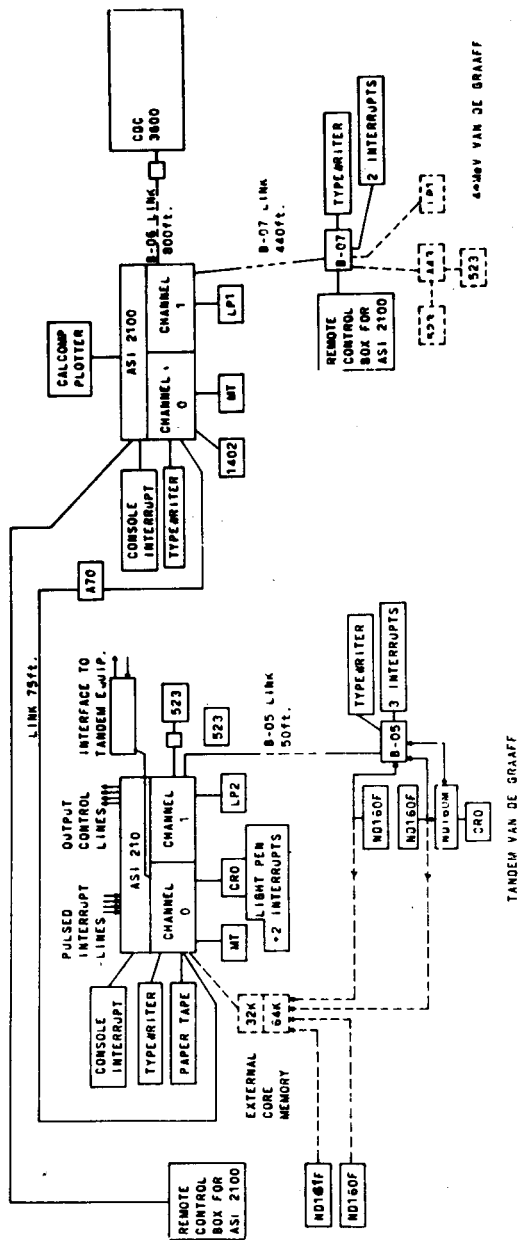


Рис.4. Система обработки данных Аргоннской физической лаборатории.

программисты, поэтому было принято решение установить в измерительном центре специальную ЭВМ ASI-210 (аналог ASI-2100), к которой присоединили всю экспериментальную аппаратуру одного измерительного центра (рис.4) /15/.

В таком варианте ASI-2100 стала "фокусом" системы. К ней присоединены измерительный центр генератора Ван-де-Граафа, ASI-210, линия связи с CDC-3600 и стандартная аппаратура пользователей, считающих обычные математические задачи в режиме пакетной обработки. Всем пользователям по-прежнему доступна большая ЭВМ CDC-3600. Обычно программы для ASI-210 подготавливаются на ASI-2100, последняя используется также как промежуточный буфер при передаче данных из ASI-210 в CDC-3600 и обратно. Следует заметить, что ASI-210 используется также и для управления пучком тандем-генератора.

3.2. В Объединенном институте ядерных исследований было разработано и введено в эксплуатацию несколько машинных систем для обработки информации, поступающей от специализированных цифровых систем сбора данных. Первая из этих систем была создана для двустороннего обмена цифровыми данными между накопительной аппаратурой спектрометрического измерительного центра Лаборатории нейтронной физики, включающего несколько специализированных устройств со своими блоками памяти, и ЭВМ "Киев", которая позднее была заменена ЭВМ "Минск-2" /16,17/. Информация передавалась последовательно по коаксиальному кабелю со скоростью до 250 кбит/сек (длина линии связи около 1,5 км).

Данные из многоканальных измерительных устройств выводились и передавались в виде отдельного сообщения (несколько сотен или тысяч 16-разрядных двоичных чисел). Сопровождающая информация

(до 8 десятичных четырехразрядных чисел) набиралась экспериментатором на специальной клавиатуре. В машину передавались набираемое на клавиатуре обращение и затем - данные из одного из запоминающих устройств, подключенных к приемо-передающему устройству при помощи коммутатора /18/ (рис.5). Управление обменом информацией с машиной выполнялось по сигналам, передаваемым по кабелю управления. В системе использовалось более пяти потенциальных управляющих сигналов.

В дальнейшем система была развита путем подключения более мощной ЭВМ М-20, которая была соединена линией связи с ЭВМ "Минск-2" /19/. Окончательная обработка результатов производилась на М-20, куда информация передавалась в сеансы связи, предусмотренные расписанием.

ЭВМ "Минск-2" использовалась так же как буферная машина, к которой, кроме измерительного центра ЛНФ, были подсоединены устройства ручного измерения фотографий с пузырьковых камер. Позднее в систему была включена вторая ЭВМ М-20 /20/. Во всех случаях использовалась последовательная система передачи данных по коаксиальным кабелям.

В настоящее время в ОИЯИ создается система машин с более широкими возможностями (см. раздел 5.2), а от упомянутой выше системы используется только связь ЭВМ "Минск-2" с измерительным центром Лаборатории ядерных проблем /21/.

Последовательная система передачи цифровых данных, получаемых на установке из магнестрикционных искровых камер, в ЭВМ БЭСМ-3М, создана в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ /22/. Для передачи данных на расстояние 1 км использовались коаксиальные кабели со скоростью передачи информации в обоих направлениях до 1 мегабита/сек. В той же Лаборатории была выполнена другая система

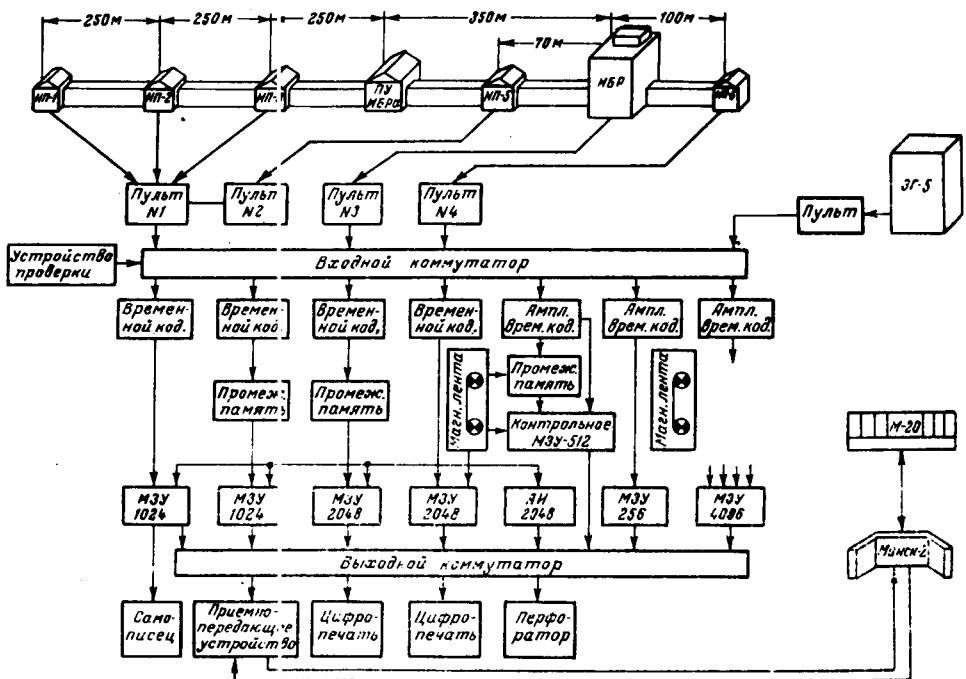


Рис.5. Измерительный центр ЛНФ ОИЯИ.

связи физической аппаратуры с ЭВМ БЭСМ-3М /23/, в которой производится параллельная передача 45-разрядных слов по симметричному магистральному кабелю типа МКСБ со скоростью до 100 тысяч слов в сек.

3.3. Примером организации двухмашинной системы обработки данных применительно к задачам электронной методики физики высоких энергий может служить система CDC 6600 - PDP -8 (PDP -5), созданная в Лаборатории Лоуренса (Беркли, США) /24+28/. Характерным отличием этой системы является то, что из-за большой загрузки CDC-6600 связь с малыми ЭВМ организуется сеансами по расписанию. Несмотря на широкие возможности одной из самых больших ЭВМ, которой является CDC-6600, организация связи двух машин не рассчитана на полную автоматизацию. Это объясняется, в основном, тем, что существующая операционная система CDC-6600 не эффективна при работе в реальном масштабе времени.

Малые машины работают на линии с экспериментальной аппаратурой, состоящей из искровых камер и счетчиков. Передача данных между малой и большой ЭВМ производится дуплексным способом по телефонным кабелям со скрученными парами с эхо-контролем передаваемых сигналов. Длина линии связи около 1 км. Параллельно передается слово длиной 12 разрядов (соответствует длине слова PDP-8), для передачи слов в обоих направлениях используются две группы линий. Передача слова сопровождается передачей признака данных по 13 служебной линии. Слова и признаки передаются в обоих направлениях потенциальными сигналами. Кроме этого, по линиям связи передаются специальные высоконадежные импульсные сигналы, используемые для передачи критической информации, такой как "ошибка", "конец массива", "начать ввод" и др.

Авторы при проектировании линии учитывали следующие предположения:

а) Модификация оборудования вычислительных машин должна быть минимальной. Так как работа с линиями связи занимает очень малую долю от общей загрузки ЦВК, желательно, чтобы влияние линии связи на обычную пакетную обработку было незначительным.

б) Скорость передачи данных выбирается относительно высокой, по крайней мере не ниже, чем у магнитных лент CDC-6600.

в) Применяется достаточно мощная система коррекции ошибок, причем контрольное оборудование максимально встроено в аппаратуру линий связи, с тем чтобы избежать трудоемкой программной проверки и в малой и в большой машинах.

г) Линия связи работает сеансами не чаще, чем один-два раза в час. Данные передаются блоками по 20×30000 слов.

д) Быстрая реакция на вызов со стороны CDC-6600 не нужна, потеря нескольких минут со времени запроса до времени ответа вполне допустима.

е) Аппаратура линий связи не должна зависеть, насколько это возможно, от типа применяемых машин, для того чтобы в будущем можно было использовать другие типы машин.

Перед началом передачи данных программы ввода-вывода машин на каждом из концов телефонной линии должны обмениваться информацией о формате передаваемых данных. Первое слово, поступающее из малой машины, используется для вызова оператора центральной машины, обслуживающего запрос, с помощью светового сигнала "вызов", расположенного на пульте управления. Оператор нажатием кнопки извещает малую машину о том, что запрос будет обслуживаться. Затем оператор загружает в машину перфокарты программы

анализа, которая использует линию связи как накопитель на магнитной ленте. Связь между машинами далее устанавливается и поддерживается автоматически. Информация передается по линиям связи блоками, в начале каждого блока имеется служебная информация, в которой определяется длина блока и то, является ли передаваемый блок последним в массиве и др.

Передача управляющих слов по линиям связи отличается от передачи данных состоянием дополнительного разряда, который передается 13-ым параллельно с каждым словом. При передаче данных 13-ий разряд равен "1", при передаче управляющих слов - "0". Так как каждое передаваемое слово должно содержать по крайней мере одну "единицу", чтобы быть опознанным приемником, 13-ий разряд обеспечивает опознавание нулевых слов данных.

Аппаратура линий связи состоит из двух синхронизаторов, преобразующих сигналы сопряжения вычислительных машин в сигналы, передаваемые по телефонным линиям (рис.6). Синхронизаторы являются идентичными, за исключением схем, вырабатывающих сигналы сопряжения ЭВМ. Вся система из синхронизаторов и линий связи разработана как асинхронное логическое устройство, состоящее из набора буферных регистров.

Четыре регистра, соединенные с приемными и передающими усилителями, являются центральной частью системы передачи данных и системы обнаружения ошибок. Так как операции ввода-вывода между машинами и синхронизаторами выполняются с передачей слова по линиям связи и эхо-приемом, скорость вывода зависит от длины линий связи.

Если схема сравнения с эхо-сигналами обнаружит ошибку, абоненту посылается специальный импульсный повторяющийся сигнал для оповещения о том, что в ранее переданном слове обнаружена ошибка. Этот сигнал очищает регистр абонента и позволяет произ-

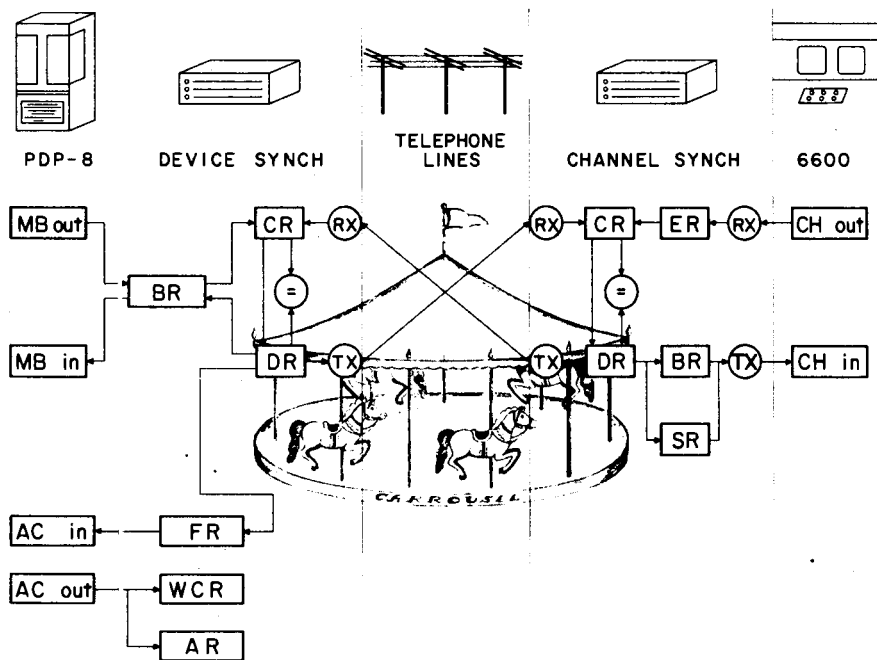


Рис.6. Аппаратура передачи данных физической лаборатории Лоуренса (Беркли).

водить ретрансляцию предыдущего слова. Одно и то же слово может посыпаться в линию связи несколько раз до тех пор, пока не будет получен правильный эхо-ответ. Однако если этот процесс продолжается слишком долго, предполагается, что в линии связи произошла серьезная авария, о чем сообщается программам ввода-вывода обеих машин.

Непрерывный сигнал для указания ошибок является одним из нескольких сигналов, которые, вследствие их особой роли в работе системы, должны быть максимально защищены от помех. Это обеспечивается посылкой пачки импульсов вместо одного импульса, посылаемого при передаче данных. Так как по сравнению с данными

сигналы посылаются достаточно редко, дополнительное время, необходимое для посылки пачки импульсов, заметно не увеличивает времени, необходимого для передачи каждого массива.

3.4. Другим характерным примером двухмашинной системы с быстродействующей линией передачи данных может служить система из вычислительных машин PDP-9 и IBM 360/65 в университете Манитобы (Виннипег, Канада) /29/.

Упрощенная схема экспериментальной системы приведена на рис.7. Пучок протонов с энергией 45 Мэв из циклотрона поступает на длинную газовую водородную мишень. Каждый из двух протонов отдачи проходит через две из четырех проволочных искровых камер и сцинтилляционные счетчики. Информация, поступающая из искровых камер, определяет траекторию протонов, а амплитуда импульсов счетчиков определяет их энергию. Программа PDP-9 вычисляет вершину траекторий протонов, т.е. устанавливает с точностью до нескольких миллиметров, принадлежат ли оба наблюдаемых протона одной и той же точке мишени. Если это подтверждается, текущие

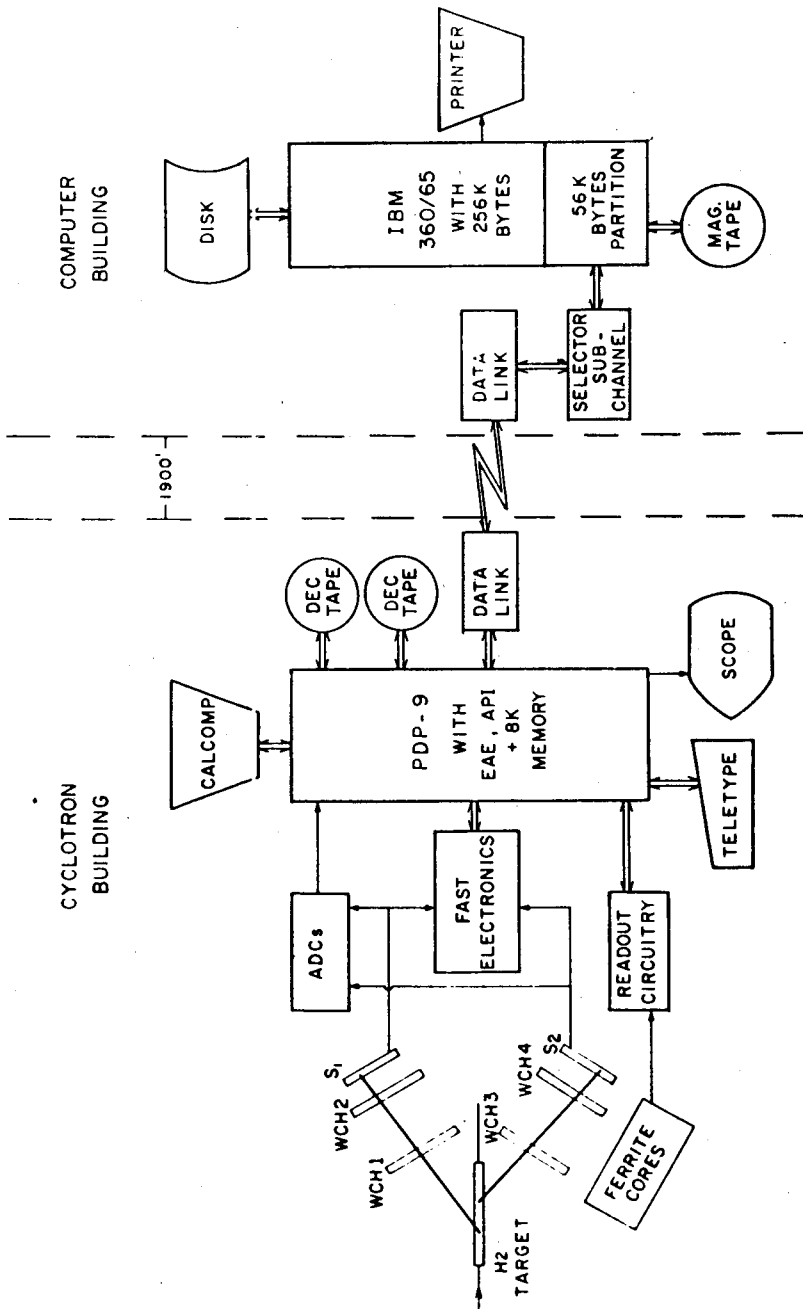


Рис.7. Система университета Манитобы.

координаты траекторий и величина энергии протонов посылаются в ЭВМ 360/65, в противном случае событие отбрасывается. Большая ЭВМ затем производит полный кинематический и статистический анализ событий по программам, написанным на ФОРТРАНе, и передает гистограммы обратно в PDP-9 для визуального отображения на осциллографе или графопостроителе. Результаты анализа запоминаются также на магнитной ленте большой ЭВМ для дальнейшей сортировки, отбора и построения гистограмм.

Оборудование линии связи подсоединяется к PDP-9 через канал прямого доступа в память, а к 360/65 через селекторный канал. Расстояние между двумя ЭВМ около 600 метров, скорость передачи данных не менее 50 килобайтов/сек. В аппаратуре линии связи производится группировка данных для совмещения слова PDP-9, имеющего длину 18 разрядов, с ориентированной по байтам ЭВМ 360/65. Режим группировки может изменяться по командам ЭВМ.

Для установления связи между ЭВМ оператор 360/65, оповещенный по телефону, загружает вручную в ЭВМ программы обработки данных и связи между ЭВМ. Программы обработки не отличаются от применяемых при пакетной обработке задач, операционная система 360/65 автоматически замещает инструкции обращения к магнитным лентам инструкциями обращения к линиям связи. После загрузки программы нажимается кнопка на пульте большой ЭВМ и на экспериментальную площадку посылается сигнал о готовности системы. Обмен данными между ЭВМ производится автоматически стандартным для системы 360 способом /30/.

Программа PDP-9, контролирующая работу экспериментальной аппаратуры и производящая сравнительно мало арифметических операций, написана в автокоде. Программы обработки данных, требующие большого количества арифметических операций, написаны на ФОРТРАНе и не требуют частых изменений. Поэтому с точки зрения удобства

пользования программами разделение их между двумя ЭВМ экономически оправдано и позволяет производить изменения программ только на малой дешевой ЭВМ PDP-9.

Программы обработки данных занимают объем 110К байтов (27К слов) в памяти 360/65. Параметры программ обработки могут изменяться экспериментатором через телетайп PDP-9, вмешательство оператора 360/65 ограничивается загрузкой программ, сменой магнитных лент и текущим обслуживанием ЭВМ.

3.5. В качестве примера промышленной системы передачи данных уместно упомянуть устройство межмашинной связи фирмы Контрол Дейта (США), вычислительными машинами которой оснащено большинство физических центров. Это устройство /31/, предназначенное для связи между ЭВМ класса CDC-1604A, CDC-160 A, CDC-8090 обеспечивает последовательную передачу данных на большие расстояния с максимальной скоростью 2,5 М бит/сек. Оно управляется программно и может быть подключено к каналу прямой передачи 1604 или к каналам 160, с использованием или без использования системы прерывания.

Данные между машинами передаются 12-разрядными слогами по линиям связи, причем на каждый слог передается или принимается последовательно 24 разряда. Первые 12 разрядов - данные, остальные - дополнительные, для повышения надежности передачи и возможности определения 100% количества ошибок в аппаратуре связи. Данные и дополнительные разряды передаются как одно 24-разрядное слово в двоичном коде по одному дуплексному каналу с помощью коаксиального кабеля, радиорелейной линии или наземной высокочастотной телефонной линии. Для передачи требуется полоса частот шириной 3 мГц. В комплект аппаратуры входят средства телефонной связи между объектами.

Аппаратура связи не делает различий между данными и служебной информацией, разделение их производится программным путем. Передача информации производится удвоением частоты, т.е. каждый разряд передается двумя импульсами противоположной полярности так, чтобы заряд линии за период был равен нулю. Передача единицы отличается от передачи нуля инвертированием сигнальных элементов. При отсутствии информации по линиям не передается никаких сигналов. Между словами для различения их друг от друга оставляются короткие промежутки, между блоками слов — более длинные. Аппаратура устройства межмашинной связи может измерять длительность промежутков между словами и тем самым управлять поступлением слов в машину.

Установление связи между машинами производится программным путем. Для этого перед передачей массива информации абоненту передается заголовок, в котором указывается источник информации, направление передачи, длина массива, количество блоков в массиве и другая служебная информация. Передача заголовка начинается передачей заранее определенного контрольного кода, по которому производится прерывание программы вызываемой на связь машины. При обнаружении ошибок передача массива продолжается до конца, после чего опознавшая ошибку машина выходит на связь и сообщает об ошибках в заголовке своего массива. В зависимости от программы передача массива, содержащего ошибки, может быть повторена несколько раз. Блок-схема устройства межмашинной связи (УМС) изображена на рис.8.

В режиме передачи из машины принимается 12-разрядное слово в буферный регистр А и из него передается в регистр Х. Счетчик разрядов сканирует регистр Х с частотой 2,5 мгц, помещая на линию связи последовательно разряды с 1 по 12. Затем регистр Х сразу же сканируется второй раз для образования избы-

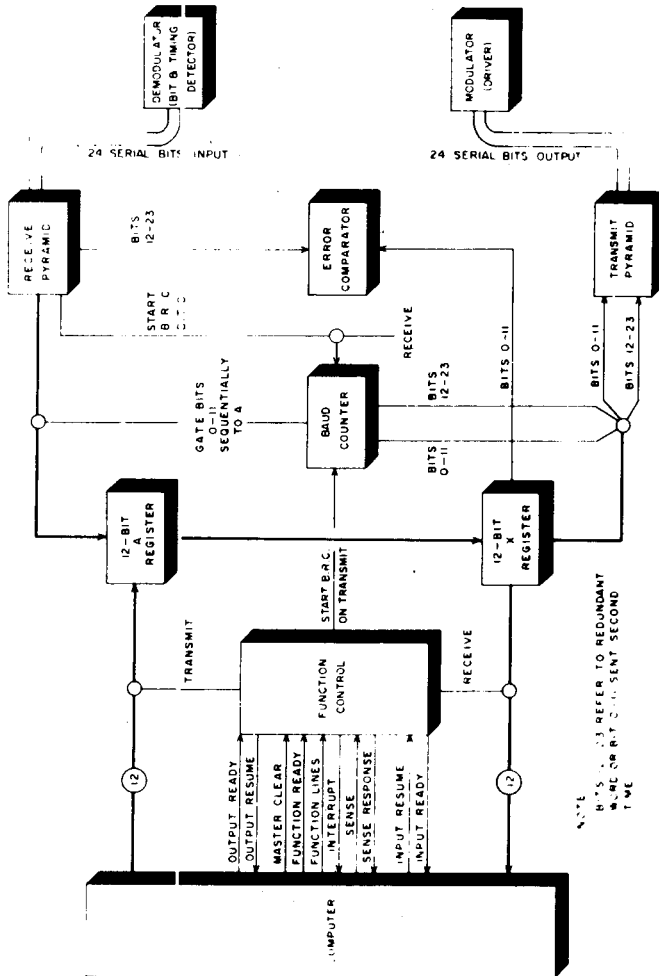


Рис.8. Блок-схема устройства передачи данных фирмы Контрол Дейта.

точных разрядов 13-24, которые образуют дублирующее слово для определения приемным оборудованием наличия ошибок. После передачи избыточного кода из машины принимается новое слово и передается последовательно в линию связи после некоторого промежутка времени между словами. Величина промежутка между словами должна оставаться неизменной при работе.

В режиме приема все получаемые по линии связи данные принимаются для передачи в машину в регистр А, который работает как группирующий регистр. Прием первой половины слова производится в регистр А, затем слово передается в регистр Х. Схема обнаружения ошибок сравнивает каждый проходящий разряд избыточного слова с соответствующим разрядом регистра Х. После приема всего слова содержимое Х посылается в машину.

В режиме прерывания УМС сравнивает первое слово каждого блока данных с предварительно установленным на тумблерном регистре кодом прерывания. Если коды совпадают и нет ошибок при передаче, в машину выдается сигнал прерывания.

3.6. В ряде физических центров созданы сосредоточенные двухмашинные системы обработки данных, в которых обмен информацией между ЭВМ осуществляется с помощью общих запоминающих устройств или через каналы ввода-вывода ЭВМ. Эти системы не имеют в своем составе линий связи, однако их опыт может быть полезен при проектировании многомашинных систем.

К числу таких систем относятся: один из первых комплексов анализаторы - ЭВМ в лаборатории Чок-Ривер (Канада) /4/, системы в ядерном исследовательском центре в Карлсруэ (ФРГ) /32/, на Стенфордском линейном ускорителе (США) /33/, в Техасском университете (США) /34/, в Рочестерском университете (США) /35,36/ и в Оксфордском университете (Англия) /37/.

4. Многомашинные системы обработки данных

В ряде физических исследовательских центров работают или проектируются многомашинные системы обработки данных, в которых к мощным ЭВМ центрального вычислительного комплекса присоединены несколько ЭВМ, работающих на линии с экспериментальной аппаратурой.

4.1. Наибольший интерес в этой области представляют работы, которые ведутся в Европейском центре ядерных исследований (ЦЕРН, Швейцария). Общее количество ЭВМ в ЦЕРНе в последнее время достигает 30 /38/. В основу проекта системы положена иерархическая структура. Интересно проследить отдельные этапы развития многомашинной системы ЦЕРНа, поскольку они отражают в какой-то мере последовательное развитие идеи многомашинной системы исследовательского центра.

4.1.1. На раннем этапе была разработана двухмашинная система для передачи информации между мощной ЭВМ CDC 6600 и машинами SDS-920 (память 8К 24-разрядных слов, цикл 8 мксек) или IBM-1800 (память 8К 16-разрядных слов, цикл 2 мксек), работающими с экспериментальной аппаратурой. Длина линии связи около 1 км. Эта система находилась в опытной эксплуатации в реальных условиях (рис.9) /39+44/.

К SDS-920 подсоединена экспериментальная аппаратура миссинг-масс-спектрометра, данные в ЭВМ поступают с бесфильмовых камер и счетчиков. Простые проверки оборудования в реальном масштабе времени увеличивают скорость накопления полезных экспериментальных данных, но эффективность работы всей экспериментальной установки может быть определена только после обработки ре-

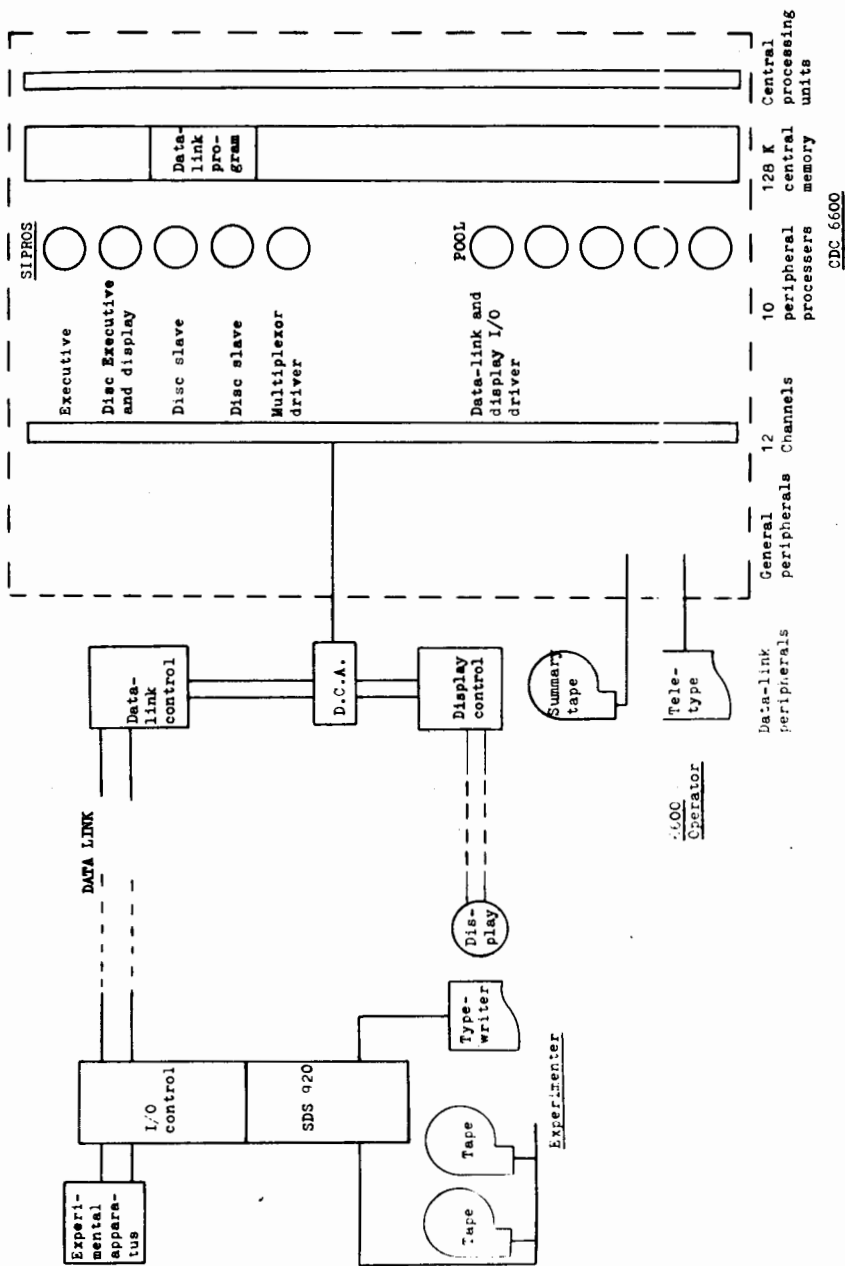


Рис.9. Блок-схема двухмашинной системы ЦЕНРА.

зультатов на большой ЭВМ. Для того, чтобы пользоваться возможностями большой ЭВМ в реальном масштабе времени, SDS-920 связана с CDC-6600 через аппаратуру линии связи, которая состоит из устройства управления линией связи, находящегося рядом с ЭВМ CDC-6600, сопряжения ЭВМ SDS-920 и приемо-передающего оборудования линий связи между ними. Устройство управления линией связи предназначено для выборки линии связи, передачи управляющих слов при установлении диалога между машинами, преобразования формата слов, выработки и проверки четности и синхронизации между двумя машинами, каналы ввода-вывода которых работают с различной скоростью. Приемо-передающая аппаратура состоит из телефонных кабелей со скрученными парами, приемных и передающих кабельных усилителей и специальных схем согласования уровней передаваемых сигналов. В передатчиках и приемниках используются дифференциальные потенциальные усилители.

По линиям связи передаются полностью сигналы сопряжения малой вычислительной машины, всего до 80 потенциальных сигналов. Производится передача блоков данных из одного из периферийных процессов CDC-6600 в малую ЭВМ и, наоборот, со скоростью, определяемой малой машиной: одно 24-разрядное слово за 8 мксек. Для каждого слова вырабатывается и передается разряд четности, которая проверяется принимающим оборудованием, передаются также сигналы состояния оборудования.

Математическое обеспечение системы машин состоит из двух программ: программа анализа на CDC-6600 и программа накопления данных на SDS-920. Последняя находится в памяти SDS-920 на протяжении всего эксперимента, а первая загружается в память центральной машины по мере надобности. Связь между двумя программами осуществляется через оперативную память CDC-6600, периферийные процессоры, линию связи и сопряжение соответствующей

малой машины. Будучи один раз загружена в СДС-6600, программа пользователя находится в оперативной памяти на протяжении всего эксперимента.

При установлении связи между машинами последовательность событий начинается с того, что малая машина посылает в СДС-6600 запрос на передачу данных. Так как в ее оборудовании отсутствует система внешнего прерывания, этот запрос поступает в устройство управления линией связи в виде слова состояния малой машины. Оборудование осуществляет прием этого слова состояния либо прямо в канал СДС-6600 из устройства управления, либо через подканал медленного периферийного мультиплексора.

В первом случае необходимо постоянное приписывание периферийного процессора к программе связи между машинами, так как в применяемой операционной системе нет средств опроса периферийного процессора через регулярные интервалы времени для целей управления. Память центральной машины в этом случае используется неэффективно, но зато не будет пропущено ни одного запроса на связь от малой машины.

Использование мультиплексора для вызова центральной машины является попыткой преодолеть неэффективность, вызванную постоянным приписыванием периферийного процессора к линиям связи. Мультиплексор может принимать слово состояния линии связи через каждые 10 мсек, и при обнаружении запроса на передачу данных он может вызвать программу обработки с помощью операционной системы. Будучи вызванной, эта программа требует приписывания периферийного процессора на все время ввода данных. На ожидание, пока один из периферийных процессоров освободится от выполнения предыдущей задачи, может уйти несколько секунд, т.е. может произойти потеря информации.

После приписывания периферийного процессора между программами машин устанавливается синхронизация путем обмена управляющими словами, данные вводятся в CDC-6600 в форме блочков. Заголовок каждого блока определяет количество передаваемых слов, количество блоков и другую служебную информацию. При обнаружении ошибок о них сообщается программам обеих машин. Может быть сделано несколько попыток повторить передачу и при повторном возникновении ошибок на телетайпах печатается информация, необходимая для вмешательства оператора в работу.

После завершения ввода в CDC-6600 периферийный процессор вызывает операционную систему, которая переходит к программе обработки данных. Эта программа их анализирует, запоминает результаты на итоговой магнитной ленте, и, если это требуется по программе или по желанию экспериментатора, передает результаты обратно по линии связи в малую машину. Результаты могут быть также выведены в виде гистограммы на осциллограф, являющийся устройством вывода центральной машины и расположенный на экспериментальной площадке. На практике используется последний способ, так как в памяти малой машины не хватает места для хранения результатов обработки.

При подключении к линиям связи других малых машин, например, IBM-1800, принципы работы системы не меняются. Изменяется лишь характер сигналов в линиях связи в соответствии с сигналами сопряжения малой машины. Для подключения машины нового типа устройство управления линиями связи подвергается модернизации.

Опыт эксплуатации такой системы позволяет сделать следующие выводы:

а) Операционная система большой ЭВМ не может полностью обслуживать все поступающие требования при сохранении высокой производительности. Необходимо предварительное составление

расписания работы большой машины, при этом эксперименты в реальном масштабе времени должны проводиться не более 3-5 часов в день в один или два сеанса. Использование линий связи в течение более длинного промежутка времени или более часто может делаться только в тех случаях, когда эксперимент имеет особую важность или приоритет в экспериментальных программах.

б) При работе большой машины в реальном масштабе времени программа обработки постоянно находится в оперативной памяти и занимает около 25 тысяч слов. При этом центральный процессор из-за низкой скорости поступления данных с экспериментальной установки используется только на 3-4%. Более высокая эффективность использования времени центрального процессора может быть достигнута в системе, где программа обработки хранится во внешнем накопителе и вызывается по мере необходимости в оперативную память.

в) Запросы на передачу данных со стороны малой машины удовлетворяются при этом не всегда. Малая машина может передавать данные только в промежуток времени между окончанием проверки данных, поступивших во время текущего импульса ускорителя, и началом следующего импульса, так как экспериментальная аппаратура имеет наивысший приоритет. Хотя операционная система CDC-6600 присваивает программе обработки наивысший приоритет среди программ большой машины, средства ввода-вывода могут оказаться занятыми выполнением предыдущей программы, т.е. произойдет потеря данных.

г) Возможные потери информации делают очень желательным применение промежуточной памяти. Полезным побочным эффектом применения промежуточной памяти является возможность для пользователя повторять обработку своих данных с изменением параметров.

Промежуточное накопление информации особенно полезно в тех случаях, когда программа обработки данных еще не полностью отлажена. В этом случае могут вноситься улучшения в программу, и возможные ошибки в ней не несут опасности полной потери информации.

4.1.2. Опыт эксплуатации системы в ЦЕРНе позволил оценить и способы передачи данных по линиям связи в системе машин в условиях физического исследовательского центра /47,48/. Во-первых, уровень электромагнитных помех довольно высок, вследствие работы высокочастотных физических установок. Во-вторых, из-за большой мощности физических установок величина разности потенциалов между заземляющими электродами на концах линии связи может быть значительной. В-третьих, скорость передачи информации по линиям связи должна быть во всяком случае не ниже скорости поступления информации с магнитных лент (50000 слогов/сек) вплоть до скорости работы памяти ЭВМ (10^6 слогов/сек).

В ЦЕРНе для передачи данных применяются симметричные телефонные кабели со скрученными парами. По сравнению с коаксиальными кабелями симметричные обладают следующими преимуществами:

- а) кабель со скрученными парами намного дешевле;
- б) как правило, они имеют меньшие потери по постоянному току, что важно при передаче потенциальных сигналов;
- в) кабели со скрученными парами имеют относительно более высокую помехозащищенность. Разность помех, наведенных электромагнитными полями на проводах скрученной пары меньше, чем разность помех между внутренней и внешней жилами коаксиального кабеля;
- г) поскольку кабель со скрученными парами является симметричным, становится несущественной разность потенциалов между заземляющими электродами аппаратуры на разных концах кабельной линии;

д) вследствие относительно низкой стоимости кабеля со скрученными парами можно производить параллельную передачу информации, что позволяет избежать группировки данных при передаче по коаксиальным кабелям.

Современные ЭВМ, объединяемые в систему, имеют, как правило, в сопряжении потенциальные сигналы, передача информации производится по принципу запрос-ответ. Но длина в сопряжении, так же как и количество управляющих сигналов, не стандартизованы и меняются в зависимости от типа ЭВМ. Обычно сопряжение ЭВМ является несимметричным, т.е. количество и функции входных и выходных сигналов отличаются друг от друга. Наконец, принцип передачи запрос-ответ непригоден для работы с удаленными объектами, поскольку на передачу каждого слова информации в сопряжении в этом случае затрачивается около 20 мксек/км.

Все это побуждает применять специальные устройства управления линиями связи, которые выступают перед ЭВМ как стандартные устройства ввода-вывода информации. Эти устройства преобразуют сигналы сопряжения ЭВМ в сигналы линий связи, производят необходимую группировку информации, проверяют качество работы линий связи и выполняют ряд других логических функций, в частности, могут организовывать очереди обслуживания при работе на несколько линий связи в режиме разделения времени.

4.1.3. Следующим этапом в развитии многомашинной системы ЦЕРНа является система с использованием буферной ЭВМ для промежуточного накопления данных (проект ФОКУС). /45+50/

В качестве буферной ЭВМ в системе машин центрального вычислительного комплекса используется средняя ЭВМ СДС-3100, имеющая несколько каналов ввода-вывода и память на дисках. Эта ЭВМ является "фокусом" системы, состоящей

из периферийных ЭВМ и телетайпных пультов на экспериментальных площадках с одной стороны и из мощных ЭВМ ЦВК (СДС-6600 и СДС-6400) с другой (рис.10). По отношению к пользователю СДС - 3100 является системой обработки массивов, позволяющей нескольким пользователям одновременно вводить, накапливать и обрабатывать массивы информации. При этом пользователям предоставляются следующие возможности:

а). Накопление на дисках буферной ЭВМ в реальном масштабе времени программ и массивов данных активных пользователей.

б). Ввод, обработка и изменение в реальном масштабе времени программ и массивов данных с телетайпов.

в). Передача данных между СДС-3100 и периферийными ЭВМ через линии связи.

г). Приоритетный доступ к мощным ЭВМ ЦВК для массивов данных, накопленных в системе ФОКУС.

д). Передача результатов обработки данных из ЭВМ ЦВК удаленным пользователям. Кроме того, для пользователя доступна операционная система центральных ЭВМ.

По отношению к центральным ЭВМ СДС-3100 выступает как станция ввода-вывода информации, такая же, как перфокартное оборудование. Массивы данных, полученные из СДС-3100, ставятся в очередь обработки массивов, поступивших с читающего устройства. Затем производится обработка в порядке, зависящем от приоритета каждого массива. Массивы результатов выводятся в 3100 так же, как на перфоратор. Поэтому в операционной системе СДС-6600 требуются минимальные изменения.

Математическое обеспечение ФОКУСа состоит из следующих основных частей:

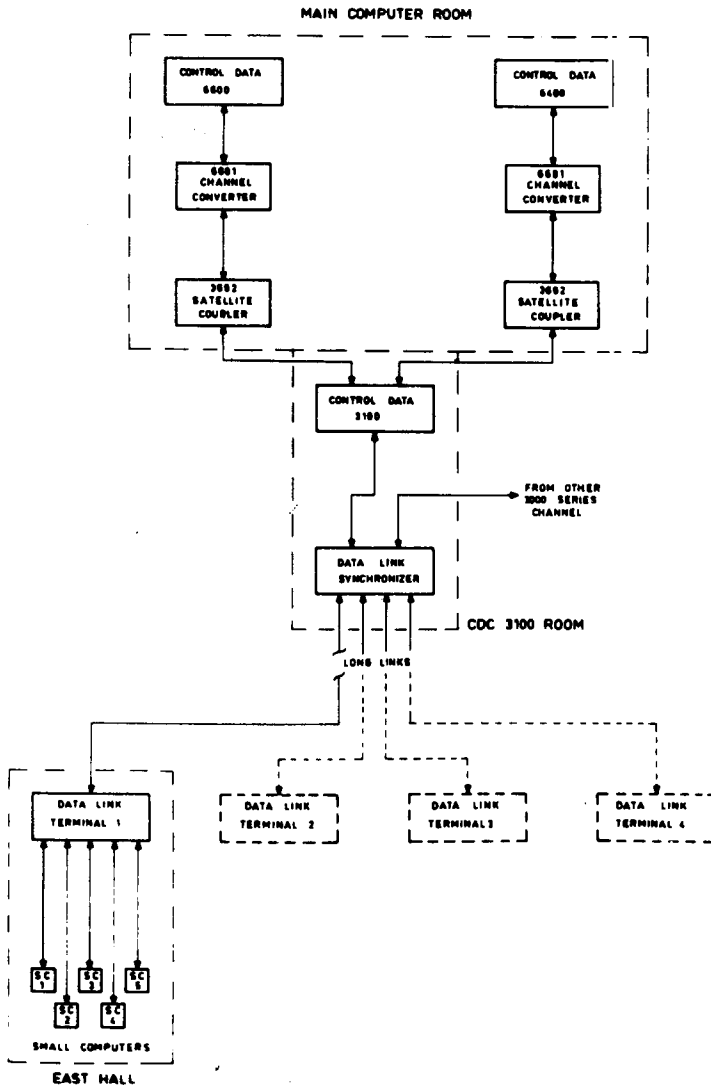


Рис.10. Проект ФОКУС (ЦЕРН).

- а). Основная управляющая программа.
- б). Программа управления телетайпами.
- в). Программа управления массивами.
- г). Программа управления линиями связи.

Передача по линиям связи сигналов сопряжения малой ЭВМ является неудобной, так как логика их работы становится зависимой от типа машины. При подключении новой ЭВМ требуется производить модернизацию устройства управления линиями, что связано с прекращением проведения экспериментов на всех остальных машинах. Поэтому предложена схема подсоединения малых машин к линиям связи, не зависящая от типа применяемых ЭВМ. По этой схеме в ЦВК остается устройство управления, работающее на 4 линии связи длиной до 3 км, сигналы в которых стандартизованы. На экспериментальных площадках устанавливаются коммутаторы, которые преобразуют сигналы сопряжений малых ЭВМ в сигналы линий связи и синхронизируют работу малых ЭВМ. К коммутатору может быть подключено до 5 малых машин, использующих линии связи в режиме разделения времени.

Техническая скорость линий связи - 1 миллион слов в секунду. В настоящее время скорость передачи данных ограничена быстродействием канала ввода-вывода CDC-3100 и составляет 100К 12-рядных слов в секунду.

Система ЭВМ ЦЕРНа является наиболее полно разработанной.

4.2. В исследовательском центре Британской комиссии по атомной энергии (Харуэлл, Англия) при проектировании многомашинной системы используются средства передачи данных по высокочастотным телефонным сетям общего пользования. Скорость передачи данных намного ниже, чем в ЦЕРНе (880 кбит/сек), но авторы проекта считают, что этого достаточно для обслуживания одновременно

большого количества экспериментов при условии применения буферной ЭВМ для управления линиями связи. Следует отметить относительно низкую стоимость линий передачи данных последовательным способом по однопроводной линии связи, хотя блоки связи являются достаточно сложными.

В Харуэлле вычислительные средства состоят из центрального вычислительного комплекса, в который входят ЭВМ IBM-360/65,

СОПРАС 4060 и PDP-8; а также из быстро растущего числа малых ЭВМ, расположенных на экспериментальных площадках /51,52/. Из этих машин с помощью быстродействующих линий связи организована система ЭВМ, основным назначением которой является обработка данных в реальном масштабе времени. Данные с периферийных малых машин поступают в ЦВК на малую буферную ЭВМ PDP-8, которая, в свою очередь, связана с мультиплексным каналом большой ЭВМ IBM-360/65. Это дает возможность производить обработку экспериментальных данных на большой ЭВМ в реальном масштабе времени и передавать экспериментатору результаты его экспериментов так быстро, чтобы он мог производить настройку своей аппаратуры на максимальную производительность. Имеется также еще одно большое преимущество - на большой машине можно транслировать программы, написанные на одном из языков автоматического программирования и передавать их затем быстро и удобно в малую машину.

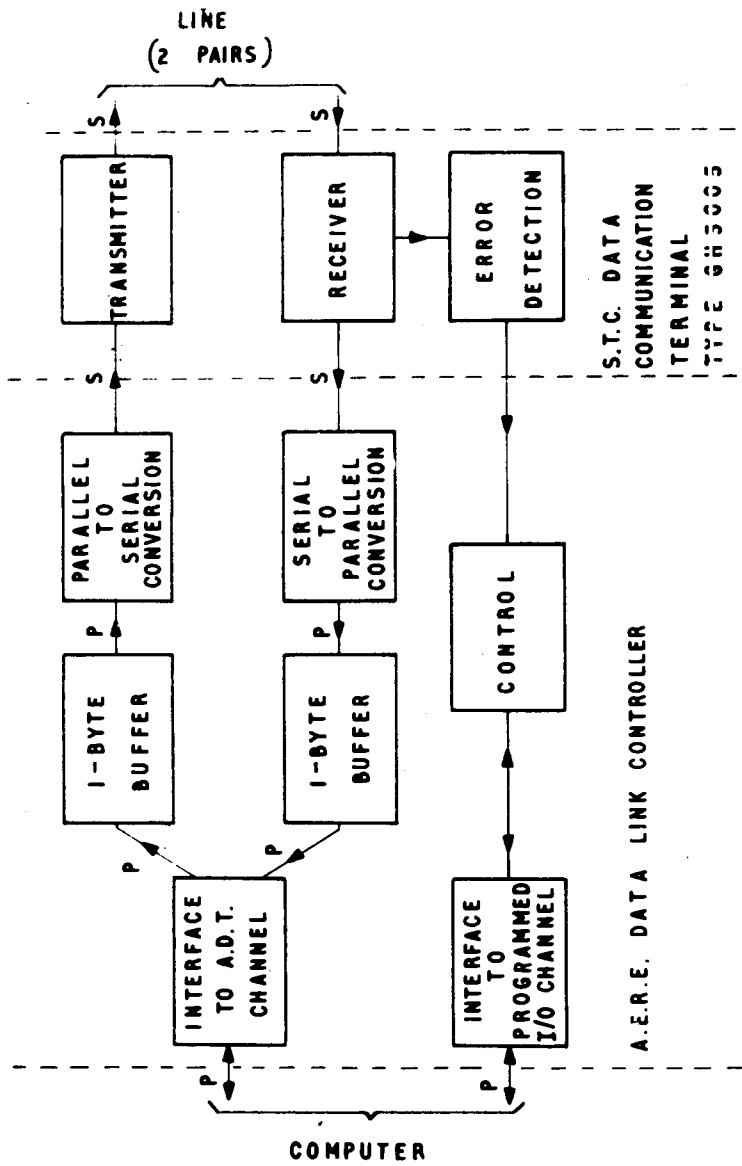
Линии связи имеют длину от нескольких сот метров до двух километров. В них используется аппаратура и методы, принятые в высокочастотных телефонных линиях связи общего пользования с импульсно-кодовой модуляцией. Устройство управления линией связи и программы машин разрабатывались так, чтобы скорость поступления данных по линиям связи была не ниже скорости работы магнитных лент и была сравнима со скоростью мультиплексного

канала большой машины. Помехоустойчивость и надежность линий связи должна быть достаточно высокой, коммутация - максимально простой.

Блок-схема устройства управления линией связи показана на рис. II. В нем производится дуплексная передача с помощью двух независимых: однонаправленных каналов, каждый из которых работает на отдельную пару телефонного кабеля со скрученными парами. По кабелям передаются последовательные двоичные сигналы с удвоением частоты. Оконечный блок состоит из передатчика, приемника и схемы обнаружения ошибок. Канал передачи получает из ЭВМ параллельно байт, запоминает его в регистре и преобразует в последовательный код, который посылается в передатчик.

Линия связи работает в телеграфном режиме, код "0" посылается как стоповый сигнал и в режиме ожидания при отсутствии информации передача каждого байта сопровождается передачей стартового сигнала "1". Вся информация передается по линиям связи 8- или 12-разрядными байтами, перед каждым байтом посылается стартовый сигнал, а за ним посылается дополнительный разряд, отличающий служебную информацию от данных.

Для установления связи между машинами производится обмен служебной информацией, закодированной в стандартном коде для передачи данных /53/. Данные передаются блоками байтов, между которыми могут передаваться нулевые сигналы ожидания, если скорость приема данных в ЭВМ окажется меньше, чем скорость линии связи. Программа ЭВМ различает между собой два вида блоков данных: текст переменного формата, состоящий из 8- или 12-разрядных байтов в двоичном коде и заголовок фиксированного формата, состоящий из 8-разрядных байтов телеграфного кода. Заголовок определяет источник информации, направление



A. E. R. E. R5598. FIG. 1. BLOCK DIAGRAM OF ONE DATA LINK TERMINAL

(P = PARALLEL TRANSFER, S = SERIAL TRANSFER)

Рис. II. Блок-схема устройства передачи данных (Харуэлд).

передачи и формат следующего за ним текста. Таким образом, вся процедура обмена данными между ЭВМ состоит из контрольного диалога, осуществляемого с помощью служебных символов и символов связи телеграфного кода, заголовка и текста.

Максимальная скорость передачи данных по линии связи равна 880 кбит/сек. В целях повышения надежности линии связи и для независимости скорости работы от передаваемого кода в системе выбран способ передачи с удвоением частоты, т.е. каждый разряд передаваемого кода представляется двумя равновеликими сигналами противоположной полярности. При таком способе передачи заряд линии связи не зависит от передаваемого кода и всегда близок к 0 (за период, но частота следования импульсов повышается вдвое. Единица отличается от нуля изменением полярности передаваемой пары импульсов. Так как нуль передается так же, как и единица, парой сигналов, в режиме ожидания при отсутствии информации по линиям связи всегда передаются нулевые сигналы. Это позволяет решить сложную проблему синхронизации двух удаленных друг от друга объектов и отказаться от посылки синхросигналов по отдельной линии. Синхросигналы вырабатываются в приемнике путем детектирования парных сигналов, поступление которых не прекращается во время ожидания. Начало передачи символа определяется поступлением в приемник стартового сигнала единицы, за которым всегда следует информация. Подсчет числа поступивших разрядов производится в приемнике независимо от передатчика, коэффициент пересчета может изменяться программным путем, что позволяет соединять в систему ЭВМ с разной разрядностью в сопряжении.

В системе связи используются достаточно мощные средства обнаружения ошибок. Во-первых, обеспечивается 100% избыточность вследствие кодирования каждого передаваемого разряда двумя

сигналами. Это позволяет опознавать любые одиночные ошибки при передаче и часть групповых, за исключением тех маловероятных случаев, когда групповая ошибка начинается с первого элемента разряда и распространяется на четное число сигнальных элементов, инвертируя при этом все сигналы. На таком уровне обнаружение ошибок производится аппаратно оконечным устройством, и эта система является более эффективной, чем контроль по четности. Второй уровень избыточности используется при диалоге установления связи, где применяется около десяти символов связи, закодированных в 8-разрядном байте. На этом уровне определение ошибок производится программным путем. Кроме того, может производиться продольный контроль передаваемого текста путем подсчета контрольных сумм.

4.3. В национальной физической лаборатории Дересбури (Англия) в систему объединяются малые ЭВМ PDP-8 с мощной ЭВМ ЦВК IBM 360/65 /54/. Вначале была сделана попытка использовать для линий связи коаксиальные кабели, которые позднее были заменены симметричными кабелями со скрученными парами.

В центре системы, обслуживающей электронный ускоритель с энергией 5 Гэв, находится ЭВМ 360/65. С ней соединены линиями связи две ЭВМ PDP-8 с памятью 8К каждая. В первом варианте линии связи, состоящие из миниатюрных коаксиальных кабелей с волновым сопротивлением 50 ом, подключаются к каналу 360/65 через мультиплексор. Длина линий связи около 100 м, скорость работы линий зависит только от ЭВМ PDP-8 и составляет 1,2 или 1,8 мегабит/сек. В системе используется телетайп, установленный на экспериментальной площадке и подключенный к мультиплексору 360/65.

Во втором варианте используется буферная ЭВМ IBM-1800, входящая в состав ЦВК. Линии связи длиной до 400 м, выполненные симметричным телефонным кабелем со скрученными парами, позволяют

производить параллельную передачу 16-разрядных слов со скоростью 250 К слов/сек. Передаваемая информация контролируется по четности.

4.4. К вычислительным средствам центрального вычислительного комплекса Резерфордской физической лаборатории (Англия) присоединены как линии связи с малыми ЭВМ, расположенными на экспериментальных площадках, так и аппаратура центра обработки фотографий /55,56/. В состав ЦВК (рис.12) входят мощная ЭВМ IBM 360/75 и буферная ЭВМ DDP-224. К двум каналам 360/75 подключена малая ЭВМ IBM-II30, управляющая в реальном масштабе времени работой нескольких просмотровых столов. К DDP-224, кроме линий связи, подсоединены сканирующий автомат HPD, автомат на электронно-лучевой трубке и осциллограф со световым карандашом, который используется операторами сканирующих автоматов для коррекции ошибок измерений. В системе предусмотрена возможность подключения ее к быстродействующей телефонной линии связи через стандартное связанное оборудование (связь с Лондонским институтом вычислительных машин).

4.5. Система, созданная в ядерном исследовательском центре Гренобля (Франция), интересна с точки зрения возможности обслуживания большого количества пользователей, которые одновременно могут пользоваться сравнительно скромными средствами ЦВК (IBM 360/40 и буферная машина CII 90/10)/57/. Обработка данных производится на IBM 360/40, CII 90/10 управляет работой линий связи. Скорость передачи полезной информации около 120 кбит/сек. В системе может быть подключено до 15 одновременно работающих пользователей, передача данных производится последовательно по коаксиальным кабелям или кабелям со скрученными парами.

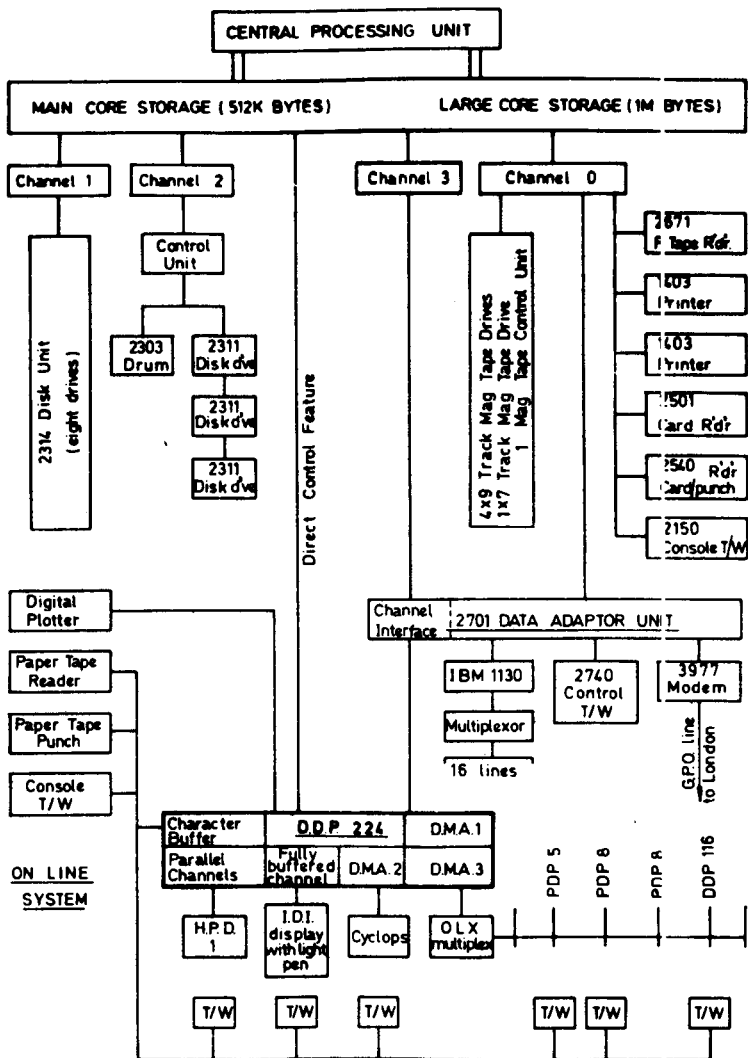


Рис.12. Вычислительная система лаборатории Резерфорда (Англия).

Промежуточная ЭВМ СИ 90/10 (объем памяти 8К 12-разрядных слов) сканирует оборудование пользователей, принимает данные при обнаружении сигнала вызова, контролирует передачу и посылает эти данные во внешнюю память центральной машины. Для обработки массивов экспериментатор посылает центральной ЭВМ необходимые указания через телэтайп. Результаты обработки выводятся на осциллограф или телэтайп, расположенные на экспериментальных площадках.

5. Многоступенчатые многомашинные системы.

Увеличение количества малых вычислительных машин, работающих в экспериментальных физических установках в реальном масштабе времени и связанных в систему с мощными машинами, возлагает на ЭВМ ЦВК большой объем "административной" работы: упорядочение запросов на обслуживание, манипулирование программами обработки данных, приписывание оборудования системы к решаемой задаче и др. Если физические эксперименты, использующие малые ЭВМ, имеют сходную методику, общие программы обработки данных, что часто бывает на одной физической установке (ускорителе, реакторе), то проблема "администрирования" сравнительно просто решается путем включения в ЦВК буферной ЭВМ, что было рассмотрено в предыдущем разделе. Однако такое решение оказывается недостаточным для крупных физических центров, в которых проводятся эксперименты на разных физических установках, с использованием совершенно различных методик и программ обработки данных.

В этом случае оказывается эффективным устанавливать в измерительном центре при каждой крупной физической установке, на которой производится большое число экспериментов, ЭВМ среднего класса, имеющую достаточно развитое математическое обеспечение и большой парк внешних устройств. На ЭВМ измерительного центра производится полная математическая обработка относительно несложных задач, редактирование результатов обработки, отображение результатов на экранных пультах и др. ЭВМ ИЦ устанавливает очередность обслуживания экспериментальных установок, в состав которых могут входить малые ЭВМ, осуществляющие предварительный анализ данных и управление установками. Мощные средства ЦВК подключаются лишь по мере необходимости, если мощность ЭВМ ИЦ недостаточна для проведения полной обработки. При этом в ЦВК производится установление очередности обслуживания измерительных центров, а основная трудоемкая "административная" работа выполняется средними ЭВМ ИЦ. В состав ЦВК может по-прежнему входить буферная ЭВМ, если количество измерительных центров достаточно велико.

5.1. Примером такой многоступенчатой системы может служить система обработки данных Брукхевенской национальной лаборатории (США) /58,59/. В Брукхевене работает одновременно большое количество измерительных центров при различных физических установках: измерительные центры высоких энергий, низких энергий, материаловедческий, медицинский, центр обработки фотографий и др. Все они связываются быстродействующими линиями связи с ЭВМ центрального вычислительного комплекса.

В состав центрального вычислительного комплекса входят несколько крупных и средних ЭВМ. Ядром ЦВК являются две ЭВМ CDC -6600, объединенные между собой через общее быстродействующее запомина-

щее устройство емкостью I млн. слов /60,6I/. К одной из этих ЭВМ CDC-6600 подсоединены линии связи с измерительными центрами физических установок (рис.13). Эта вычислительная система, получившая название ВРООКНЕТ (вычислительная сеть Бруксхевена), была спроектирована с целью удовлетворения быстро растущих и часто противоречивых требований обработки данных всех экспериментальных установок лаборатории, как для экспериментов в реальном масштабе времени, так и для пакетной обработки задач, написанных на ФОРТРАНе, вводимых со станций ввода-вывода, расположенных на экспериментальных площадках.

При проектировании системы были учтены следующие основные требования:

а) При добавлении в систему новых ЭВМ любых типов не производить модификацию системы.

б) Не делать изменений в математическом обеспечении при расширении системы в будущем.

в) Конструкция системы должна быть модульной, чтобы облегчить изменение конфигурации системы.

г) Скорость передачи данных по линиям связи должна быть не меньше скорости работы оперативной памяти ЭВМ.

Между ЦВК и пятью экспериментальными площадками под землей проложены многожильные коаксиальные кабели линий связи, максимальная длина которых около I км. Аппаратура связи состоит из следующих основных узлов:

а) Синхронизаторов линий связи, подсоединенных к каналу CDC-6600.

б) Собственно линий связи.

в) Мультиплексоров на другом конце линий связи, к которым может быть подсоединено до 8 периферийных ЭВМ к каждому.

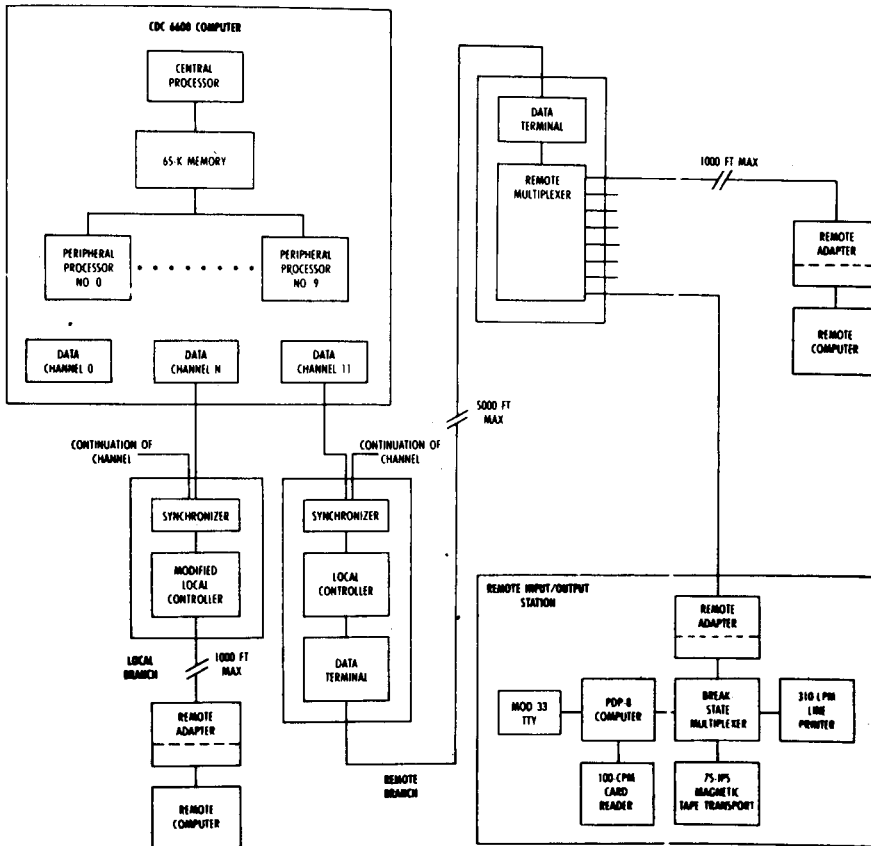


Рис.13. ВРООКНЕТ - система вычислительных машин Брукхевенской лаборатории.

г) Аппаратуры для подключения ЭВМ к мультиплексору (на расстоянии до 300 м от мультиплексора в пределах одной экспериментальной площадки).

Станция приема-выдачи информации, написанной на ФОРТРАНе, включает в себя малую ЭВМ (PDP-8), к которой подключено перфокартное оборудование, АЦПУ, телетайп, накопитель на магнитной ленте. Через аппаратуру системы станции приема-выдачи имеют доступ к мощным ЭВМ ЦВК.

Некоторые измерительные центры лаборатории используют средние ЭВМ, к которым может быть одновременно подсоединено несколько экспериментальных установок. Например, в измерительном центре низких энергий установлена ЭВМ Сигма-7 (рис.14), имеющая оперативную память 32К 32-разрядных слов с циклом 0,85 мсек^{62,63/}

Этот измерительный центр обслуживает эксперименты, выполняемые на 60-дюймовом циклотроне, генераторе Ван-де-Граафа и двух тандем-генераторах. Пользователи используют ЭВМ в режиме разделения времени. В состав ЭВМ входят два независимых процессора (канала) ввода-вывода, которые управляют потоком данных между оперативной памятью и внешними устройствами. Кроме стандартных внешних устройств (перфокартное оборудование, печатающее устройство, телетайп системы, накопители на лентах и дисках), были разработаны два специальных блока управления. Один предназначен для сбора данных, поступающих со средней скоростью, другой позволяет производить быструю передачу данных на диски, обмен данными с амплитудными анализаторами и по линиям связи с мощными ЭВМ ЦВК.

Простейшим абонентом измерительного центра является телетайп, с помощью которого можно управлять прохождением массивов данных в системе. В более сложном случае с ЭВМ связан амплитудный анализатор. Наиболее сложные абонентские станции включают в себя

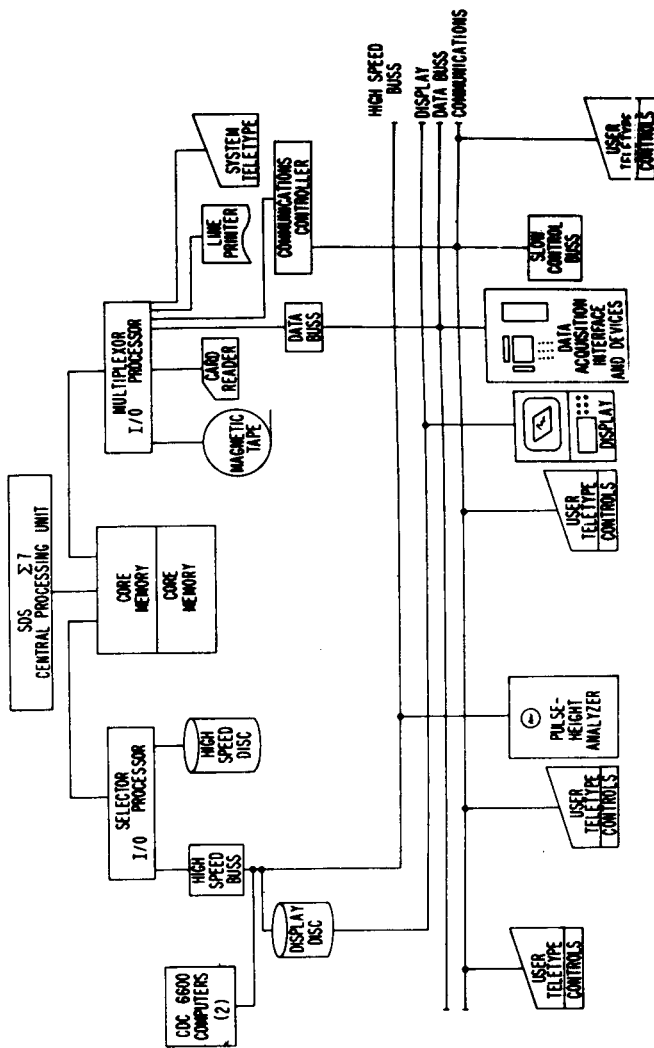


Рис.14. Измерительный центр низких энергий Бруквевенской лаборатории

телетайп, осциллограф со световым карандашом и специальное устройство сопряжения, к которому могут подключаться до 8 устройств, включая анализаторы и малые ЭВМ.

Один из измерительных центров специализирован на обработке данных, получаемых с просмотровых столов /64+66/. К ЭВМ Сигма-7, связанной линиями связи с ЦВК, подключается 16 просмотровых столов. Диалог оператора с ЭВМ осуществляется с помощью пульта, в который входят телевизор, телетайп и трекболл для движения точек по экрану телевизора. Регенерация изображения телевизора осуществляется с помощью быстрого магнитного барабана. Данные, полученные оператором при просмотре пленки, проверяются ЭВМ ИЦ и оператору дается указание об ошибке. Этим исключается необходимость повторных измерений из-за ошибок оператора. Система предполагает исключение магнитных лент как промежуточного носителя информации для повышения общей эффективности обработки filmовой информации.

Особое место среди вычислительных средств Брукхевена занимает комплекс ЭВМ для обработки в реальном масштабе времени данных, получаемых в экспериментах на синхротроне (OLF) /67+69/. Идеологи этого комплекса, имея в своем личном распоряжении достаточно мощные ЭВМ, считают, что создание системы BROOKNET недостаточно эффективно для решения их задач, и предпочитают идти по пути увеличения мощности своего комплекса. Однако при этом ядром комплекса является вычислительная система из двух средних ЭВМ PDP-6 и PDP-10 с общей оперативной памятью емкостью 128K 36-разрядных слов (цикл 1+2 мксек), общими дисками и другими устройствами. Вычислительная мощность такой системы близка к мощности ЭВМ ЦВК. В состав комплекса входят также малые ЭВМ (PDP-8 и PDP-9), присоединенные к экспериментальной аппаратуре. Проект системы предусматривает работу 9 пользователей.

5.2. Многоступенчатая система обработки данных создается в Объединенном институте ядерных исследований (Дубна) /70,71/.

Основные вычислительные мощности системы сосредоточены в базовом вычислительном центре. Здесь концентрируется математическая обработка экспериментальных данных, требующая сложных вычислений, а также другие вычислительные работы, которые целесообразно проводить на больших ЭВМ (рис.15).

Наряду с этим вблизи основных физических установок ОИЯИ (синхрофазотрона с энергией 10 Гэв, синхроциклотрона с энергией 680 Мэв, импульсного реактора, ускорителей многозарядных ионов и др.) создаются измерительно-вычислительные центры лабораторий, предназначенные для сбора и обработки экспериментальных данных, получаемых средствами электроники. Эти центры базируются на машинах среднего класса. В качестве такой ЭВМ используются, в основном, машины БЭСМ-4 со специально созданными каналами обмена цифровыми данными.

Один из лабораторных центров специализирован для обработки фотографий, получаемых с пузырьковых и искровых камер.

В измерительно-вычислительный комплекс ОИЯИ входит и измерительно-вычислительный центр, созданный на ускорителе 70 Гэв (г.Серпухов) для обеспечения средствами сбора и обработки информации экспериментов, проводимых на этом ускорителе группами ОИЯИ.

Существенным отличием системы ОИЯИ является наличие в ее составе станций приема-выдачи информации, написанной на ФОРТРАНе. Такая станция организуется либо на основе ЭВМ ИЦ, либо с помощью специальной малой ЭВМ, расположенной в измерительном центре лаборатории /72,73/.

Для передачи данных между ЭВМ на расстояние до 7 км со скоростью до 500 тысяч 8-разрядных слов в секунду используются симметричные магистральные кабели со скрученными парами /74,75/.

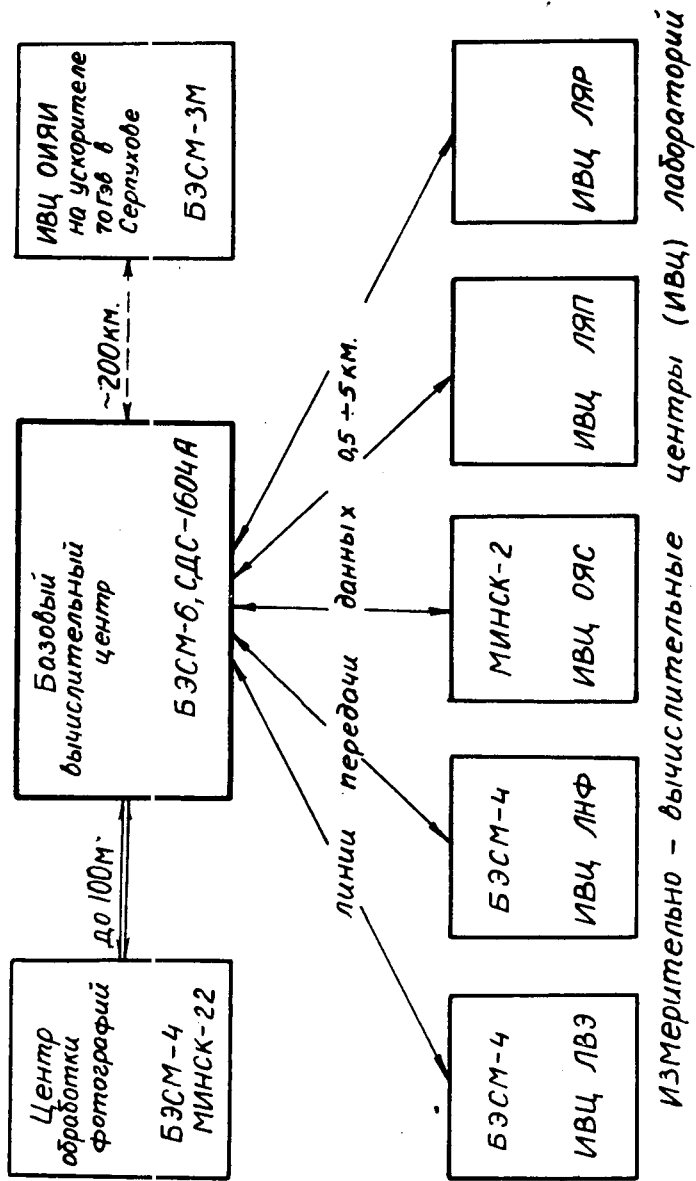


Рис.15. Многоотлученчатая система ЭВМ ОИЯИ.

6. Заключение

Системы вычислительных машин стали появляться в физических центрах в начале шестидесятых годов. В настоящее время многие системы находятся в эксплуатации, практически в любом исследовательском центре разрабатываются проекты их использования. Это показывает, что вычислительная техника идет не только по пути широкого внедрения ЭВМ во многие задачи экспериментальной физики, но и по пути создания крупных систем ЭВМ для обработки данных.

В заключение приведем таблицу, характеризующую некоторые параметры систем вычислительных машин исследовательских центров.

Характеристики систем ЭВМ некоторых крупных физических центров

Название центра	Центральная ЭВМ	Буферная ЭВМ	Количество периферийных ЭВМ, работающих или подготавливаемых соединений	Макс. длина линии связи, км	Скорость передачи данных в б.т./сек	Способ передачи	Тип кабеля	Способ контроля передачи
Аргонская национальная лаборатория (США)	СЭС 3600	-	2	0,3	1,7	параллельный 12 разрядов	скрученные пары	четность
Лаборатория Лоуренса (Беркли, США)	2 x СЭС 6600	-	1	1,0	1,2	" - "	" - "	ЭХО
Бруквевенская национальная лаборатория (США)	2 x СЭС 6600	СЭС-6411	8*	1,5	8,0	" - "	коаксиальные кабели	четность
Европейская организация ядерных исследований (ЦЕРН, Швейцария)	СЭС 6600 СЭС 6400	СЭС 3100	20*	3,0	12,0	" - "	скрученные пары	четность
Ядерный исследовательский центр в Харуэлле (Англия)	IBM 360/65	РРР-8	8*	2,0	0,88	последовательный	" - "	удвоенные сигналы
Лаборатория ядерной физики в Дересбурги (Англия)	IBM 360/65	IBM 1800	2	0,4	4,0	параллельный 8 разрядов	" - "	четность
Лаборатория Резерфорда (Англия)	IBM 360/75	DDP-224	6					
Университет Манитобы (Виннипег, Канада)	IBM 360/65	-	1	0,6	0,4	параллельный 8 разрядов		четность
Лаборатория электроники и обработки информации (Гренобль, Франция)	IBM 360/40	СИ 90/10	до 15*	3,0	0,12	последовательный	коаксиальный или скрученные пары	четность
Объединенный институт ядерных исследований (Дубна)	БЭСМ-6	-	8*	5,0	4,0	параллельный 8 разрядов	скрученные пары	четность

* проект.

Х

ЛИТЕРАТУРА

1. Г.И. Забиякин. Препринт ОИЯИ IO-423I, 1968.
2. D. Lord, G.R. Macleod. J. Sci. Instr., vol. 2, No.1, 1969.
3. L.J. Lidofsky. IEEE Trans., NS-15, No.1, 1968; EUR 4290e, p.p.11-26, Brussels, 1969.
4. Г.И. Забиякин. ПТЭ, № I, 1966.
5. Л.А. Маталин, Ж. Нарай, С.И. Чубаров.
Методы регистрации и обработки данных в ядерной физике и технике, Атомиздат, Москва, 1968.
6. G.A. Blaaw. IBM Systems J., vol. 3, No.2, 1964.
7. Ю.С. Голубев-Новожилов. Многомашинные комплексы вычислительных средств. Советское радио, Москва, 1967.
8. Э.В. Евреинов, Ю.Г. Косарев. Однородные универсальные вычислительные системы высокой производительности. Наука, Новосибирск, 1966.
9. J. Clayton. Proc. HPD Collaboration Meeting. p.p. 24-26. Zeeman Lab., Amsterdam, 1969.
10. Е.П. Абрамов. Аппаратура телепередачи информации ЭЦВМ. Энергия, Ленинград, 1968.
11. R.H. Franklin, H.B. Law. IEEE Spectrum, vol. 3, No.11, 1966.
12. I. Dorros a.o. BSTJ, vol. 45, No. 7, 1966.
13. R.H. Vonderohe, D.S. Gemmel. Proc. EANDC Conf. on the Automatic Acquisition and Reduction of Nuclear Data, p.p. 155-163, Karlsruhe, 1964.
14. D.S. Gemmel. Ibid, p.p. 483-493.
15. D.S. Gemmel. Nucl. Instr. and. Meth., vol. 46, No. 1, 1967.

16. В.А. Дорофеев, Г.И. Забиякин, В.Н. Замрий и др. Труды 5-ой конференции по ядерной радиоэлектронике, т. IV, стр. 7-14, Атомиздат, М, 1963.
17. Г.И. Забиякин, В.Н. Замрий. Труды 6-ой конференции по ядерной радиоэлектронике, т. III, ч. I, стр. 100-109, М, Атомиздат, 1965.
18. Г.И. Забиякин, В.Н. Замрий и др. ПТЭ, №2, 1968.
19. А.Я. Астахов, Н.Н. Говорун и др. Препринт ОИЯИ 2914, Дубна, 1966.
20. А.Я. Астахов, Н.Н. Говорун и др. Препринт ОИЯИ IO-3324, Дубна, 1967.
21. С.В. Кадькова, А.И. Ефимова. Препринт ОИЯИ IO-4096, Дубна, 1968.
22. И.А. Голутвин и др. Препринт ОИЯИ IO-3144, Дубна, 1967.
23. А.Я. Астахов, В.В. Ермолаев и др. Препринт ОИЯИ P10-3592, Дубна, 1967.
24. S.W. Andreae, R.W. Lafore. IEEE Trans., NS-15, No.1, 1968.
25. R.W. Lafore. UCRL-17934, 1967.
26. A.E. Oakes. UCRL-17960, 1967.
27. S.W. Andreae, R.W. Lafore. UCRL-17999, 1968.
28. S.W. Andreae, R.W. Lafore, F.A. Kirsten. Proc. of the Int. Symp. on Nuclear Electronics, vol. 2, report 136, Paris, 1968.
29. D. Reimer a.o. The On-Line Use of a PDP-9 and an IBM 360/65 in a Proton-Proton Bremsstrahlung Experiment Using Wire Chambers. Winnipeg, 1968.
30. A.D. Falkoff a.o. IBM Systems J., vol.3, 1964.
31. Control Data Digital Data Terminal. CDC Pub. No. 234.
32. S. Cierjacks a.o. KFK 982, Karlsruhe, 1969.
33. R.M. Brown a.o. Proc. IEEE, v.54, No.12, 1966.
34. University of Texas Accelerator Laboratory. Annual Progress Report, 1966.
35. A.W. Fulbright, J.A. Robbins. NIM, v.71, No.3, 1969.

36. J.B.S. Waugh, A.H. Yonda. IEEE Trans. NS-15, No.1, 1968.
37. K.W. Allen. EUR 4290 e, p.p. 1-4, Brussels, 1969.
38. Computers at CERN. CERN Courier, vol.9, No.4, p.102, 1969.
39. F. Marciano, H.J. Slettenhaar, CERN 65-5, 1965.
40. F. Marciano. CERN 65-40, 1965.
41. T.R. Bell a.o. CERN 67-31, 1967.
42. S. Bunodière, J. Austin. CERN-DD/DA/66/16, 1966.
43. F. Marciano. CERN-DD/DA/67/5, 1967.
44. M.L. Migaux, F. Marciano. CERN-DD/DA/67/11, 1967.
45. P.M. Blackall. CERN-DD/CO/67/7, 1967.
46. P. M. Blackall. CERN-DD/CO/68/13, 1968.
47. J.M. Joosten. Proc. of the Int. Symp. on Nuclear Electronics, vol.2, report 115, Paris, 1968.
48. J.M. Joosten. CERN-DD/DH/69/16, 1969.
49. V. Gerard, P.J. Marcer, E.M. Palandri. CERN-DD/DH/69/15, 1969.
50. D. Ball, P.M. Blackall a.o. CERN-DD/CO/69/9, 1969.
51. J.S. Austin, R.C.M. Barnes, P.J.B. Fergus. AERE-R5529, 1967.
52. J.S. Austin. AERE-R5598, 1967.
53. Г.А. Шигин. Электросвязь, № 12, 1966.
54. J.R. Brooks a.o. DNEL/P5, Daresbury, 1969.
55. The work of Rutherford Lab., RHEL-180, 1968.
56. K.M. Knight, F.R. Jacob. RHEL/M 166, 1969.
57. J.F. Gilbert a.o. EUR 4289e, p.331, Brussels, 1969.
58. Brookhaven Annual Report, BNL 50106, 1968.
59. Н.Н. Говорун, В.Н. Шигаев. Препринт ОИЯИ БИ-10-1433, Дубна, 1968.
60. K. Fuchel, S. Heller. Comm. ACM, v. 11, No. 5, 1968.
61. J.E. Denes. Proc. of the IFIP-68, p.p. 194-197, Edinburgh, 1968.
62. P.C. Rogers. IEEE Trans., NS-16, No.1, 1969.
63. G.E. Schwender, P.C. Rogers. IEEE Trans., NS-16, No.1, 1969.

64. B.B. Culwick a.o. ANL-7515, p.p. 184-193, Argonne, 1968.
65. D. Ophiz, B.J. Shepherd. Nucl. Inst. and Meth. v.62, No.3, 1968.
66. P.L. Connolly a.o. BNL-13060, Upton, 1968.
67. S.J. Lindenbaum. BNL-12900, Upton, 1968.
68. S.J. Lindenbaum. BNL-13130, Upton, 1968.
69. W. Love. BNL-13478, Upton, 1969.
70. Г.И. Забиякин и др. Труды IV Симпозиума по радиоэлектронике, Прага, 1967.
71. Н. Govorun, Yu. Karjavin, M.G. Mescheryakov, V. Moroz, V. Semashko, N. Chulkov, G. Zabyakin. Proc. of the Int. Symp. on Nuclear Electronics, vol. 2, report 126, Paris, 1968.
72. Н.Н. Говорун, В.А. Ростовцев, В.Н. Семашко. Материалы совещания по программированию и вычислительным методам решения физических задач. стр. 91-95, ОИЯИ II-4655, Дубна, 1968.
73. Н.Н. Говорун, В.А. Ростовцев, В.П. Шириков. Там же, стр.81-89.
74. Г.И. Забиякин, Э.В. Лысенко, В.Н. Поляков. Препринт ОИЯИ IO-4622, Дубна, 1969; ПТЭ № 2, 1970.
75. Э.В. Лысенко, В.Н. Поляков. Труды Семинара по ядерной электронике, ОИЯИ I3-4720, Дубна, 1969.

Рукопись поступила в издательский отдел
2 апреля 1970 года.