



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

10 - 8675

K-615 КОЛПАКОВ Игорь Филиппович

ЭЛЕКТРОННАЯ АППАРАТУРА НА ЛИНИИ
С ЭВМ В ФИЗИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ

Специальность 05.12.08 - электронная техника
и приборы

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

(Диссертация написана на русском языке)

Дубна 1975

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий Объединенного Института ядерных исследований.

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник Голубков Б.Б. (ФИАН),

доктор технических наук, проф. Цитович А.П. (ИАЭ им. Курчатова)

доктор технических наук, проф. Штраух И.В. (ИЯИ АН СССР)

Ведущее научно-исследовательское учреждение: Московский инженерно-физический Институт.

Автореферат разослан " " 1975 года.

Защита диссертации состоится " " 1975 года в

час. на заседании Ученого Совета Лаборатории высоких энергий Объединенного Института ядерных исследований, г. Дубна, Московской области, Лаборатория высоких энергий ОИЯИ, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь Совета,

кандидат физико-математических наук

М. Ф. Дичачев

Дичачев М.Ф.

10 - 8675

КОЛПАКОВ Игорь Филиппович

ЭЛЕКТРОННАЯ АППАРАТУРА НА ЛИНИИ С ЭВМ В ФИЗИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ

Специальность 05.12.08 - электронная техника
и приборы

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

(Диссертация написана на русском языке)

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

В связи с широким использованием малых ЭВМ третьего поколения организация автоматизированных измерений в физической лаборатории существенно изменилась. Малые ЭВМ используются как часть электронной аппаратуры таких отдельных установок, как спектрометры физики высоких энергий и ускорители частиц /1+7/. Изменился и характер обычной электронной аппаратуры, используемой для физических измерений. Прежде всего появилась необходимость в организации сопряжения комплекса электронной аппаратуры с ЭВМ. Модули электронной аппаратуры стали программно-управляемыми. Сами функциональные модули в связи с прогрессом электроники стали выполняться на интегральных схемах.

Программно-управляемая электронная аппаратура физических экспериментов, выполненная на основе микросхемотехники, может быть охарактеризована как электроника 3-го поколения, и её создание является новым этапом в развитии ядерной электроники.

В Лаборатории высоких энергий ОИЯИ были достигнуты определенные успехи в создании современной аппаратуры третьего поколения, соответствующей технологии и физических установок на основе электроники 3-го поколения. В 1970-1974 гг здесь впервые для социалистических стран была разработана и широко внедрена программно-управляемая электронная аппаратура в системе КАМАК и организовано её мелкосерийное производство. Описание этих этапов работы составляет основу настоящей диссертации. В диссертацию также вошли работы по созданию набора модулей электроники счетчиков 2-го поколения в системе "Вишня", выполненные в 1968-1970 гг^{8,9/}. Разработанный набор выпускался мелкими сериями (выпущено до 3000 штук) и используется в спектрометрах, установленных на синхрофазотроне, на ускорителе на 76 ГэВ в ИФВЭ и ряде физических институтов СССР.

Диссертация содержит введение, четыре главы, заключение и приложение.

В I-й главе рассматривается состав электронной аппаратуры спектрометров физики высоких энергий, задачи, решаемые ею, и требования к ней. Совокупность электронной аппаратуры и ЭВМ спектрометра образует её измерительный модуль. Измерительный модуль спектрометра 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 мониторинга событий с быстрой логикой отбора, спектрометрической и время-пролетной электроникой, 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 модификаций 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 этой главе также формулируются задачи автоматического контроля и управления базовыми физическими установками, такими как ускорители частиц высоких энергий, и требования к автоматической системе измерения параметров и управления ускорителей. Электроника системы должна обеспечить: 1) съём диагностической информа-

ции, аналоговых и цифровых сигналов с сотен датчиков и контрольных устройств ускорителя и передачу сигналов на расстояния порядка десятков-сотен метров на регистрирующую аппаратуру, 2) передачу аналоговых и цифровых сигналов на управляемые источники питания и двигатели, 3) модульную структуру 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 пульта, касательные панели и информационные табло.

Во 2-й главе рассматривается разработанный нами набор модулей электроники счетчиков 2-го поколения для спектрометров физики высоких энергий. Требование модульности для электроники спектрометров могло быть обеспечено выбором определенного стандарта. Рассматривалась возможность применения систем NIM /10/ и "Визня" /11/. Для выполнения модулей был выбран и использован стандарт "Визня" с модификациями, использующими преимущества системы NIM и устраняющими недостатки стандарта "Визня", а именно, - была введена единая высота модуля - 160 см и источник питания поместили позади кассеты для размещения модулей. Разработанный набор модулей представляет собой функционально полный набор блоков ядерной электроники из 22-х модулей и предназначен, в основном, для счетчиковой части спектрометров и для выполнения логических и аналоговых операций /8/. На рис. I показана структурная схема электроники сцинтилляционных детекторов спектрометра. В ней можно выделить две части - логическую, принимающую решение и выдающую триггерный импульс для запуска установки, и годоскопическую, производящую регистрацию события.

Все блоки разработанного набора сопрягаются по сигналам в

соответствии с требованиями системы NIM и "Вишня". Они обеспечивают максимальную частоту регистрации событий до 100 Мгц. Как правило, все связи выполнены в модулях по постоянному току. Длительность перепадов сигналов составляет 2 нс. Большинство блоков выполнено на транзисторах и только отдельные – на интегральных схемах, поэтому их в целом можно характеризовать как модули 2-го поколения.

Сигналы подаются и снимаются через передние панели блоков через высокочастотные разъемы типа ВМС.

Логические модули подразделяются на две подгруппы – блоки предварительного преобразования сигналов (6 модулей) и блоки выполнения логических операций (5 модулей). В первую подгруппу логических модулей входят: 1) двойной формирователь импульсов от сцинтилляционных счетчиков 2Ф100; 2) двойной формирователь со следящим порогом 2ФС100; 3) размножитель логических сигналов 4Р100; 4) смеситель логических сигналов С100; 5) блок задержки наносекундного диапазона БЗ100М и 6) блок задержки микросекундного диапазона. К блокам второй подгруппы относятся: 1) четырехкратная схема совпадений с каналом антисовпадений 4СС100, 2) четырехкратная мажоритарная схема совпадений 4МСС100, 3) двойная схема двукратных совпадений 2СС100М, 4) 4-канальная стробируемая схема совпадений ССТ100 и 5) 24-канальная схема ворот для годоскопов на интегральных схемах 24ГСВ100 /13/.

Для спектрометрических измерений амплитуды выполнен набор линейных блоков (7 модулей) для усиления, сложения, размножения и отбора аналоговых сигналов. В набор входят следующие линейные блоки: 1) двойной линейный суммирующий усилитель 2ЛУ100, 2) линейный размножитель ЛР100, 3) линейный сумматор 2ЛС100, 4) линейные ворота 2ЛВ100, 5) двойной аттенуатор 2А100, 6) интегральный дискриминатор ДИ100 и 7) дифференциальный дискриминатор ДД100.

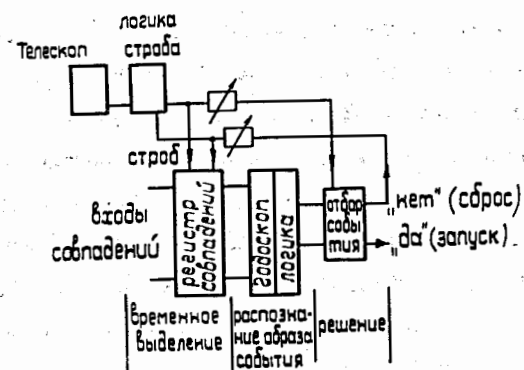


Рис.1. Структурная схема электроники сцинтилляционных детекторов спектрометра физики высоких энергий.

Для контроля и управления режимами работы спектрометра и для преобразования временных и аналоговых сигналов в цифровую форму для выдачи на ЭВМ применялось 5 основных модулей преобразования и управления /8,14/: 1) время-амплитудный конвертор ВАК100, 2) аналого-цифровой преобразователь БАП024С, 3) генератор управления ГУ100, 4) импульсные ворота ИВ100 и 5) 22-канальный генератор импульсов для светодиодов 22ГИИС.

По своим характеристикам модули разработанного набора не уступают аналогичным блокам зарубежных фирм /15+18/, что обеспечило совместное использование их в спектрометрах /3/.

В заключительной части 2-й главы рассматриваются физические установки, выполненные с использованием разработанного набора модулей 2-го поколения. Система из 300 модулей использовалась в магнитном искровом спектрометре на линии с ЭВМ БЭСМ-4 для изучения регенерации K^0 -мезонов /6/ на ускорителе на 76 Гэв (Серпухов) (см.рис.2). Система осуществляла прием сигналов от счетчиков, отбор нужных событий с помощью логических блоков и организацию запуска для искровых камер. Её чувствительность составляла по входам 30 ± 20 мв, разрешающее время - 18 ± 2 нс и мертвое время - 30 нс. /19,20/

Для запуска от сцинтилляционных счетчиков и ливневых черенковых счетчиков на основе быстрой электронной логики в магнитном искровом спектрометре на линии с ЭВМ НР2116В для изучения упругого P -е рассеяния /3/ на ускорителе на 76 Гэв в Серпухове использовалась система из 120 модулей совместно с модулями фирм EGG /15/, IRS /16/ и Chronetics /17/.

На основе разработанных блоков - логических, линейных и управления-была создана электроника 2-канального черенковского масс-спектрометра для исследования e^+e^- - распадов нейтральных векторных мезонов на синхрофазотроне ОИЯИ /21/. Разрешение спектрометра было не хуже $\pm 5\%$ для электронов с энергией 4 Гэв. Для сопряже-

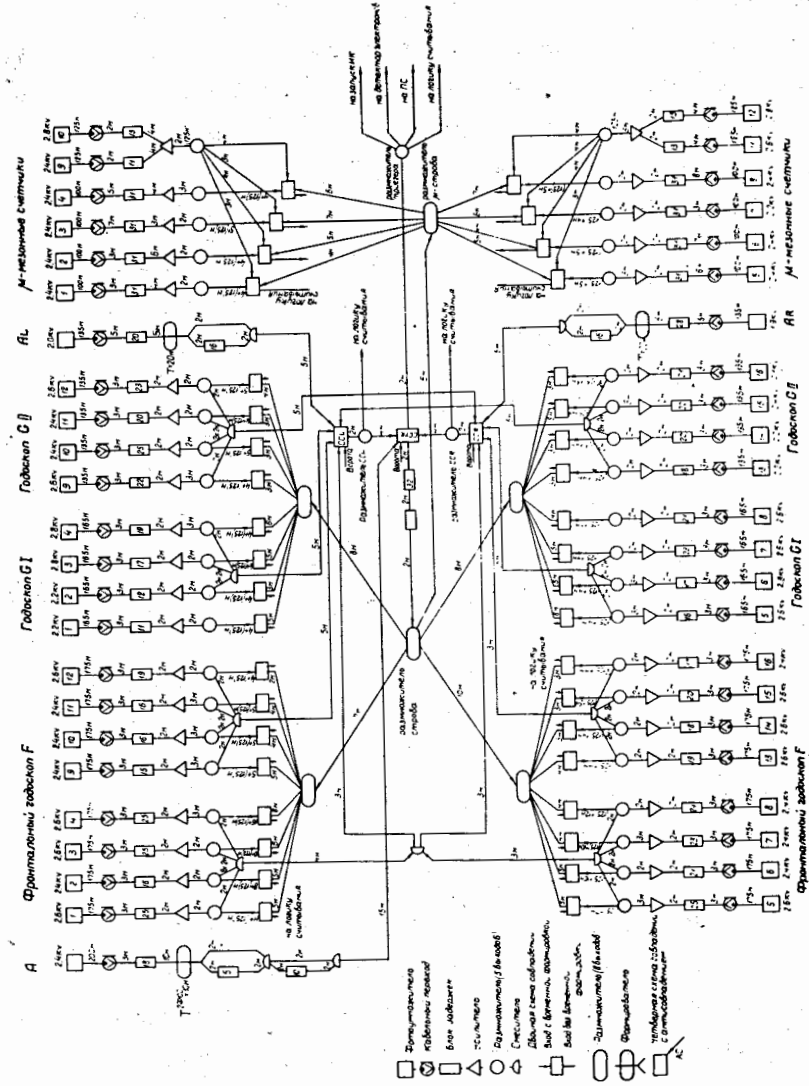


Рис.2. Структурная схема электронной логики отбора событий спектрометра для изучения регенерации K^0 -мезонов на ускорителе 76 Гэв.

ния спектрометра с ЭВМ HP2116B была разработана специальная интерфейсная плата /22/.

Для изучения потерь протонов во времени с целью определения исходных данных для расчетов защиты и радиационной обстановки на синхрофазотроне была разработана 19-канальная система контроля потерь частиц с регистрацией на цифропечать /23,24/ (см.рис.3). Система регистрировала потоки частиц до 10^5 част./см². В методических исследованиях для создания детектора нейтронов использовались время-пролетные модули разработанного набора /25/ с выводом на амплитудный анализатор. Следует отметить, что разработанный набор обеспечивает съём информации с детекторов, но не содержит универсальных средств для сопряжения с устройствами вывода информации и ЭВМ. Следующий этап развития системы модулей физической лаборатории заключался в создании универсальных средств сопряжения с устройствами вывода информации с ЭВМ на основе системы КАМАК /26,27/.

В 3-й главе рассматриваются особенности применения малых ЭВМ третьего поколения в задачах физической лаборатории и требования к ним. Возможности процессоров, структура и гибкость ввода-вывода этих ЭВМ позволяют широко их использовать для физических измерений в реальном времени и для целей управления /5/. 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 /28/. Длина слова в этих ЭВМ составляет обычно 16 разрядов, объём памяти от 4к до 32к. Время цикла памяти – около 1 мксек. Малая длина слова ЭВМ обуславливает страничную организацию памяти, введение прямой и косвенной адресации к ней и разделение системы команд на группы команд с обращением к памяти, обмена и ввода-вывода. Широко используется микропрограммирование для быстрого выполнения многих операций

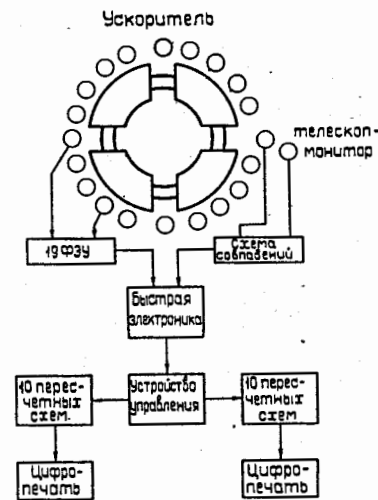


Рис.3. Структурная схема системы для изучения потерь протонов во времени на синхрофазотроне.

внутри одного цикла памяти ЭВМ. 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 микро-секунд. Набор стандартных внешних устройств малой ЭВМ включает в себя телетайп, быстрый считыватель 8-дорожечной перфоленты и ленточный перфоратор, дисковое ЗУ, 9-дорожечный магнитофон со способом записи NRZI /5/, линейную печать и дисплей /29/. С ЭВМ поставляются служебные программы, трансляторы-ассемблер, ФОРТРАН и программа-диспетчер или дисковая операционная система.

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. Малые размеры процессора и памяти и надежность малых ЭВМ третьего поколения позволяют использовать их как часть аппаратуры физических установок и свести к минимуму обслуживание.

Задачи малых ЭВМ третьего поколения при использовании в спектрометрах физики высоких энергий формулируются следующим образом: 1) проверка и контроль наладки аппаратуры при подготовке эксперимента, 2) прием, программный отбор, накопление, запись информации на магнитные ленты, контроль работы аппаратуры и качества экспериментальной информации в ходе эксперимента, 3) автоматическое управление режимами работы установки и 4) обработка части зарегистрированных событий. Для выполнения этих задач конфигурация использу-

емой ЭВМ должна удовлетворять определенным требованиям. Прежде всего она должна иметь достаточные объём оперативной памяти и скорость каналов обмена. Объём ОЗУ M складывается из трех составляющих: $M_{И}$ - информативной части памяти для приема слов событий, $M_{П1}$ - части для записи программ обслуживания установки и $M_{П2}$ - части для записи стандартных программ:

$$M = M_{И} + M_{П1} + M_{П2} \quad (1).$$

Максимально возможное число слов, поступающих с установки за импульс ускорителя N определяется числом слов, снимаемых с установки за одно событие m или её информационной емкостью и числом событий в импульсе n :

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

Для приема всей информации с установки необходимо, чтобы выполнялось условие:

$$N \leq M_{И} \quad (3).$$

Для спектрометров физики высоких энергий $M_{И}$ выбирают до 8к.

С другой стороны, вся информация, полученная с установки за импульс ускорителя, должна быть введена в ОЗУ ЭВМ за время длительности паузы между импульсами ускорителя T :

$$n \cdot (t_{пр} + t \cdot m) \leq T, \quad (4),$$

где $t_{пр}$ - время реакции на прерывание и t - время записи одного слова в ЭВМ в режиме блочной передачи. Часть памяти $M_{П1}$ определяется объемом установки и её задачами.

В задачах контроля и управления базовыми установками физической лаборатории, например ускорителями, ЭВМ должна принять за время импульса ускорителя информацию и его параметров, содержащую

тысячи слов, и в паузе между импульсами ускорителя обработать эту информацию и выдать управляющие сигналы^{/30/}. Несмотря на различие в задачах при использовании ЭВМ в спектрометрах и в системах управления большинство требований к ним являются общими. ЭВМ должна иметь: 1) объём памяти не менее 32к, 2) несколько десятков уровней прерывания с аппаратным и программным приоритетом, 3) несколько программных и не менее 2-х автономных каналов обмена, 4) скорость обмена по КЦД $3 \cdot 10^5 + 10^6 \frac{\text{слов}}{\text{с}}$, время реакции на прерывание $5 + 10$ мкс, 6) возможность организации радиального сопряжения, 7) стандартное матобеспечение, основанное на системе работы в реальном времени с разделением времени, 8) полный набор внешних устройств включающих не менее двух магнитофонов, совместимых с НМЛ больших ЭВМ, и дисплей запоминающего типа либо рециркуляционный с собственной памятью, 9) сервисное обслуживание.

Для задачи управления ускорителями дополнительными требованиями являются: 1) объём ОЗУ более 64к, 2) мультипрограммный диспетчер, 3) полный набор внешних устройств с дисковым накопителем емкостью 7,25 Мбайт и более и с дисплеем со световым пером и другими средствами взаимодействия. В задачах измерений параметров установок типа стендов может быть использована минимальная конфигурация ЭВМ.

Наиболее полно всем требованиям, предъявляемым к ЭВМ спектрометров, удовлетворяла ЭВМ HP2116B в полной конфигурации, использованная в дальнейшем^{/3,21,31/}. Другой малой ЭВМ, выбранной для задач физической лаборатории, была ЭВМ ЕС 1010^{/32/} в полной конфигурации. Ограничение на использование этой ЭВМ накладывает отсутствие КЦД при скорости обмена по программному каналу до $2 \cdot 10^5$ байт/с. Для небольших измерительных установок использовались ЭВМ TRAI001 и TRAI001^{/33/} с памятью 4к, телетайпом и быстрым считывателем.

В 4-й главе рассматриваются разработанный набор цифровых функциональных модулей, универсальная система сопряжения с ЭВМ и установки физической лаборатории, выполненные на основе модулей в системе КАМАК. Вся информация, поступающая от модулей электроники детекторов в спектрометрах и от датчиков в системах управления установками, предварительно запоминается и преобразовывается в цифровых модулях, а оттуда считывается в ЭВМ. Функционально цифровые модули подразделяются на группы: счетчики и регистры, преобразователи, интерфейсы нестандартных периферийных приборов и модули взаимодействия, блоки сопряжения с ЭВМ. Набор функциональных цифровых модулей должен содержать: 1) двоичные счетчики (последовательные регистры) на 16 и 24 разряда со скоростью счета 100 МГц, десятичные счетчики с индикацией, реверсивные счетчики, генераторы тактовых синхронизирующих импульсов и временных интервалов, параллельные входные и выходные регистры и драйверы линий связи; 2) преобразователи кодов и уровней сигналов, аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи, аналоговые ЗУ и мультиплексоры; 3) интерфейсы цифровых вольтметров, амплитудных анализаторов, цифрпечати, дисплеев, ленточных перфораторов, шаговых двигателей и т.д.; 4) блоки ввода констант, регистры-индикаторы.

Задача сопряжения разработанных функциональных модулей 2-го поколения к каждому отдельному блоку решалась путем создания отдельных индивидуальных интерфейсов, как показано на рис.4. Например, для спектрометра для изучения радиационных распадов резонансов на линии с ЭВМ HP2116B^{/21/} была разработана специальная интерфейсная плата, помещаемая на магистраль обмена ЭВМ^{/32/}, для ввода информации с АЦП и счетчиков путем радиального сопряжения. Такое решение было применимо только для установок с небольшой информационной ем-

костью (~ 10 слов). Требования, предъявляемые к электронике спектрометров и систем 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 ТЛ и ЭСД появилась возможность выполнения на них всех функциональных модулей для физических экспериментов. Опыт разработки надежной магистрали обмена на основе микросхем ТЛ для микрокомпьютеров позволял решить задачу сопряжения ЭВМ с функциональными модулями на интегральных схемах на основе универсального интерфейса-контроллера (см. рис. 5). Функциональные модули размещаются в крейте-шасси с магистралью обмена. Для сопряжения с ЭВМ используется лишь один вспомогательный модуль-контроллер данной ЭВМ. В связи с использованием микросхем и необходимостью магистрали обмена значительно увеличилось число функций, выполняемых модулем, и связей между модулями, поскольку они стали программно-управляемыми. Ни один из существовавших в 1970 году стандартов ядерной электроники, в том числе NIM /I0/ и "Вишня"/II/, не удовлетворял новому этапу развития электронной аппаратуры физических установок третьего поколения. Поэтому в 1970 году мы выбрали систему КАМАК /I2/ как основу для создания унифицированного набора цифровых модулей физической лаборатории. Широкое распространение системы КАМАК в крупнейших физических лабораториях мира позволяло сократить этап разработок и накопления опыта и применять аппаратуру, разработанную в других лабораториях, обеспечивая совместимость аппаратуры при совместных интернациональных экспериментах. В дальнейшем применение этой системы обещало возможность использования промышленной аппаратуры стран-участниц Института. Система КАМАК является совокупностью стандартных требований к логике обмена, уровням сигналов и конструктивных /34+36/. Системы с информа-

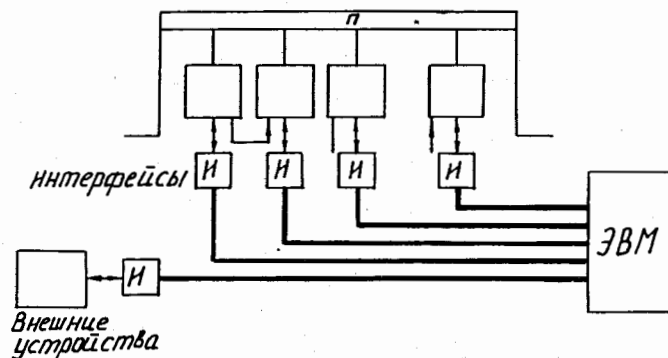


Рис.4. Структурная схема организации сопряжения с ЭВМ модулей электроники 2-го поколения.

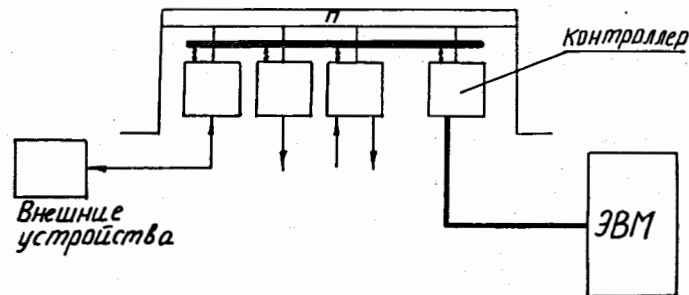


Рис.5. Структурная схема универсального сопряжения модулей электроники 3-го поколения на основе интерфейса-контроллера и вынесенной магистрали обмена.

ционной емкостью до 368 слов выполняются в одном крейте. Обмен информацией в крейте осуществляется через контроллер по командам типа NAF , где N — номер модуля ($I + 23$), A — субадрес внутри модуля ($0 + 15$) и F — команда 24 разрядными словами. Прерывание осуществляется по сигналу запроса от модуля. Как подтверждение приема команды модуль выдает сигнал $X^{/5/}$. Время цикла на магистрали t_{Π} может быть равным 1 мкс и скорость обмена с магистралью крейта может достигать 24 Мбит/с. Информационная емкость m однокрейтной системы равна:

$$m = \sum_{i=1}^{N_{\max}} \sum_{j=1}^{A_{\max}} N_i A_j \quad (5)$$

и при $N_{\max} = 23$ и $A_{\max} = 16$ составляет 368 слов. Время съема информации с крейта в ЭМ t_c равно:

$$t_c = t_{\text{пр}} + 2t_{\Pi} \cdot m \quad (6)$$

Для выполнения систем с большей информационной емкостью выполняется ветвь, содержащая до C крейтов ($C = I + 7$). Обмен в ветви организуется через специальный контроллер-драйвер ветви, сопрягаемый с ЭМ. Информационная емкость ветви m_B равна:

$$m_B = \sum_{k=1}^{C_{\max}} \sum_{i=1}^{N_{\max}} \sum_{j=1}^{A_{\max}} C_k N_i A_j \quad (7)$$

и при $C_{\max} = 7$, $N_{\max} = 23$ и $A_{\max} = 16$ составляет 2576 слов. Время считывания с ветви t_c равно:

$$t_c = t_{\text{пр}} + m_B t_B \quad (8)$$

где t_B — длительность цикла ветви.

При необходимости выполнения систем с большей информационной емкостью организуется системный крейт, позволяющий подключить до

II ветвей или источников управления. Число слов, которое может быть принято такой системой одновременно, достигает 28336. Для сбора и управления системами, занимающими большую территорию, используется последовательная стандартная магистраль, охватывающая до 63 отдельных крейтов $/37/$.

В каждом модуле, выполненном для использования в системе универсального сопряжения, можно выделить две части: функциональную, выполняющую основную задачу модуля, и часть, обеспечивающую обмен информацией с контроллером. Это дополнение к обычному модулю является ценой универсальности сопряжения и должно обеспечивать прием и дешифрацию команды NAF , выдачу сигналов L , X и $Q^{/5/}$, прием неадресуемых команд и ввод-вывод информационных слов на шины магистрали.

Применение универсального сопряжения влечет за собой создание специальных модулей сопряжения крейтов с ЭМ, к которым относятся: 1) модули ветви: драйверы ветви (ДВ) для всех используемых типов ЭМ и ручные, контроллер типа А, согласователь ветви, шифратор запросов, 2) контроллеры однокрейтных систем: для ЭМ, ручные и программные $/38,39/$. Набор модулей интерфейсов измерительных приборов и внешних периферийных устройств должен обеспечивать их сопряжение с крейтом. ДВ обеспечивает сопряжение с ЭМ, пропускает на ветвь команду вида $CNAF$, принимает запросы L от модулей в виде сигнала ВД и посылает запрос ВВ приема кода L . Контроллер типа А обеспечивает связь ветви с магистралью крейта — преобразует двусторонний обмен данными по общим шинам чтения-записи BRW ветви на шинах чтения R и записи W крейта, организует генерацию цикла ветви и прием слова кода запросов GL. Шифратор запросов L кодирует возможное число запросов $C \cdot N$ в 24-разрядное слово. Контроллеры однокрейтных систем обеспечивают сопряжение магистрали крейта с магистралью обмена ЭМ. Они вырабатывают команду NAF ,

принимают сигналы L , X , Q и генерируют цикл магистрали. Программные контроллеры крейта применяются для организации бескомпьютерных небольших систем. Все функциональные и специальные модули 3-го поколения выполняются в виде одной-двух плат, размещаемых в крейте.

Для вывода информации со спектрометров физики высоких энергий и измерительных систем был разработан набор модулей процессорной периферии в системе КАМАК, включающий в себя 30 типов основных модулей /40-45/. Внешний вид разработанных модулей показан на рис.6. Модули полностью соответствуют требованиям системы КАМАК. Система модулей аналогична наборам, разработанным в CERN /46/ и выпускаемым зарубежными фирмами /47/. Модули набора подразделяются на классы /38,39/: 1) преобразователей, 2) регистров и счетчиков, 3) интерфейсов приборов и модулей взаимодействия, 4) контроллеров многокрейтных систем.

В I-ю группу входят 5 блоков: преобразователь логических уровней TTL - модули 2-го поколения - ПУБ303, 8-разрядные АЦП-332 и ЦАП-341, преобразователь код-время ЦВП-351 и преобразователь двоичного кода в двоично-десятичный ДДП-371 /48/.

Вторую группу образуют 8 модулей: двоичные счетчики емкостью 24 разряда со скоростью счета 70 МГц ИСЧ-411 и ИСЧ413, выполненные на схемах ЭСЛ и ДТЛ и ЭСЛ и ТТЛ, соответственно: двоичные счетчики 2СЧ412 и 2СЧ414 емкостью 2 x 16 разрядов со скоростью счета 20 МГц, выполненные на схемах ДТЛ и ТТЛ, соответственно: генератор тактовых импульсов ГТИ-741 с задающей частотой 1 МГц, стабилизированный кварцем, с выходными частотами от 1 МГц до 1 Гц через декаду; установочный счетчик УСЧ-431 с набором любого числа от 1 до $9,9 \cdot 10^7$ вручную и кодом с частотой счета 1 МГц; параллельно стробируемый входной регистр РСВ-441 на 16 входов ИИ и параллельный дуплексный 24-разрядный регистр БСД-801 для работы на длинные линии связи.

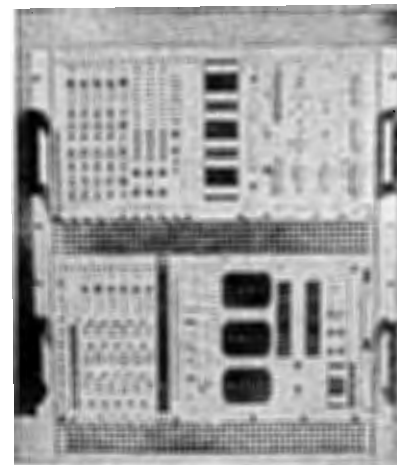


Рис.6. Внешний вид разработанных цифровых модулей КАМАК.

В третью группу модулей входит 10 блоков : блоки набора констант БНК-511 и БНК-512^{/49,50/} для ввода 3 констант на магистраль крейта в 4-разрядном десятичном и двоично-десятичном кодах, соответственно; индикаторный регистр ИНД-521 для вывода чисел с магистралей в виде 8 десятичных знаков на газоразрядные индикаторы; индикаторный регистр ИНМ-591 для вывода информации с магистрали в двоичном виде; блок сопряжения с цифровым вольтметром ВК7-10А/1 типа БСВ-531; интерфейсы цифropечати БЗ-15 типов БСП-541 и БСП-543, выполненные на интегральных схемах ДТИ и ТТИ, соответственно; интерфейс перфоратора ПЛ-150 БСПф-542; интерфейс 8-канальной системы АЦП и ЦАП БСЛ-561 и интерфейс ЭВМ БЭСМ-4 типа ИКБ-581, преобразующий 45-разрядное слово ЭВМ в 24-разрядное и передающий все необходимые управляющие сигналы в контроллер.

Разработано 6 контроллеров крейта для сопряжения крейтов с ЭВМ Лаборатории и для организации автономных безкомпьютерных систем: контроллер для программного канала ЭВМ ТРА 1001 типа КТ-601^{/50,51/}; контроллер для КЦД ЭВМ ТРА 1001 КТ-611; контроллер ЭВМ НР2116В КТР-604; контроллер ЭВМ БЭСМ-4 КБ-603; контроллер программный для организации автономных систем КП-641 для вывода 16 слов на цифropечать, перфоратор, индикатор и ручной контроллер РК-631 для автономной наладки и проверки модулей КАМАК.

Для организации выборочной работы систем до 7 крейтов разработан мультиплексорный драйвер ЭВМ НР2116В ДНР-821.

Для выпуска модулей 3-го поколения было организовано технологическое производство белков монтажных схем аппликационным методом, негативов печатных плат, двусторонних печатных плат с металлизацией отверстий в соответствии с требованиями технологии ТТИ^{/52/} и золочением контактных разъемов, выходящих на магистраль крейта. Был обеспечен выпуск 250 модулей в год.

В заключительной части 4-й главы рассматриваются разработанные установки в системе КАМАК. Разработанный набор цифровых модулей практически удовлетворяет большинству требований к организации измерительных модулей спектрометров физики высоких энергий и измерительных систем на линии с ЭВМ. На основе контроллера КП641 и интерфейсов БСП-543 и БСП-542 была организована система регистрации параметров 2-метровой стримерной камеры.

Для сбора и обработки информации о параметрах синхрофазотрона была разработана система из 2-х крейтов на линии с ЭВМ ТРА1001^{/53,54/}. Один из крейтов подключен к КЦД, а другой - к программному каналу ЭВМ через контроллеры КТ-611 и КТ-601, соответственно. Через аналоговый коммутатор на 15 входов производится измерение и контроль постоянных и медленно меняющихся уровней напряжения вольтметром ВК-7-10, связанным через блок БСВ-531 с крейтом. На АЦП выводится значение интенсивности. Быстроменяющиеся напряжения измеряются стойкой из 8 АЦП, связанной с крейтом через интерфейс БСЛ-561.

Для многоканального черенковского спектрометра была разработана четырехкрейтная система регистрации данных на линии с ЭВМ НР2116В^{/55,56/}. Структурная схема системы приводится на рис.7а. Система содержит 6АЦП, 24 двоичных счетчика и другие функциональные модули. Сопряжение с ЭВМ осуществляется через драйвер ДНР821 и контроллеры НР-КТР-604 в каждом крейте. Внешний вид системы показан на рис.7б.

Для связи ЭВМ БЭСМ-4 с экспериментальными установками, удаленными на 1,2 км, была выполнена параллельная линия связи и система сопряжения^{/57/}. Структурная схема системы показана на рис.8. Система содержит 2 крейта. В крейте, расположенном рядом с ЭВМ, находятся блоки согласователей уровней ПУБ-303, интерфейс ЭВМ ИКБ-581 и кабельные регистры БСД-801. Удаленный крейт содержит кабель-

ные регистры БСД-801 и контроллер крейта КБ-603. Система обеспечивает прием 45-разрядного слова информации в режиме блочной передачи за время 8 мкс. На изменение направления работы требуется 100 мкс. Следующий шаг в направлении развития систем на основе разработанных модулей заключается в создании системных крейтов для сопряжения со многими ветвями и ЭВМ, модулей ветви и увеличения 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.

Разработанная система модулей 3-го поколения имеет также большое прикладное значение. Универсальная система сопряжения и модули могут быть использованы в неядерных научных исследованиях, для создания систем контроля и управления промышленными установками и технологическими процессами и для автоматизации в области медицины.

Основные результаты диссертации заключаются в следующем:

1. Сформулированы требования к электронной аппаратуре третьего поколения для задач физической лаборатории и проведен выбор стандарта и элементной базы для программно-управляемых систем и устройств сопряжения с ЭВМ. Показано единство требований к модулям электронной аппаратуры спектрометров физики высоких энергий и задач измерения и управления базовыми установками. В качестве стандарта выбрана система КАМАК. Проведены оценки информационной емкости систем, выполненных в этом стандарте.
2. Сформулированы требования к малым ЭВМ третьего поколения для спектрометров физики высоких энергий и задач измерения и управления установками. Показана возможность использования единой

конфигурации ЭВМ для основных применений в физической лаборатории. Проведен выбор малых ЭВМ третьего поколения.

3. Разработана впервые в социалистических странах система программно-управляемых модулей третьего поколения для физических экспериментов и задач управления в системе КАМАК, содержащая 30 типов основных блоков.
4. Внедрена технология производства и был организован впервые в СССР мелкосерийный выпуск цифровых программно-управляемых модулей и устройств сопряжения с ЭВМ в системе КАМАК.
5. На основе разработанных модулей КАМАК создан ряд установок для применения на синхрофазотроне ОИИИ, в том числе впервые разработана многокрейтная система регистрации многоканального черенковского спектрометра на линии с ЭВМ 3-го поколения и система для физических экспериментов на линии с ЭВМ БЭСМ-4, удаленная на 1,2 км. Разработанная система модулей используется в ряде институтов СССР.
6. Сформулированы требования и проведен выбор стандарта для создания универсальной системы модулей 2-го поколения электроники сцинтилляционных детекторов спектрометров физики высоких энергий.
7. Разработана универсальная система модулей для счетчиковой части спектрометров физики высоких энергий и впервые в стране организован мелкосерийный выпуск этих модулей (выпущено около 3000 модулей).
8. На основе разработанных модулей создана электроника спектрометров по изучению регенерации K^0 -мезонов и Π -e-рассеяния для экспериментов на ускорителе на 76 ГэВ в ИФВЭ, двухканального черенковского спектрометра для экспериментов на синхрофазотроне и система контроля потерь протонов на синхрофазотроне. Разработанные модули нашли применение в ряде физических институтов СССР.

Основные работы, изложенные в диссертации, докладывались на международных симпозиумах по ядерной электронике в Варне (1962 г), Варшаве (1971 г), Будапеште (1973 г), опубликованы в ведущих советских и зарубежных периодических изданиях и монографиях автора.

Основное содержание диссертации опубликовано в работах:

1. И.Ф.Колпаков, Электронная аппаратура на линии с ЭМ в физическом эксперименте (монография), Атомиздат., М., 1974.
2. Г.Т.Адьялов и др., Препринт ОИЯИ, ПЗ-7121, Дубна, 1972.
3. И.Ф.Колпаков, В кн. "Труды 6-го симпозиума по ядерной электронике", Варшава, 1971, Изд.ОИЯИ, ДЗ-6210, стр.252-265, Дубна, 1972.
4. В.А.Арефьев и др. Сообщение ОИЯИ, ПЗ-5447, Дубна, 1970.
5. И.Ф.Колпаков, Сообщение ОИЯИ, ПЗ-5352, Дубна, 1970.
6. И.Ф.Колпаков, В кн. "Труды симпозиума по ядерной электронике", Варна, Изд.ОИЯИ, ПЗ-4720, Дубна, 1969.
7. С.Г.Басиладзе и др. Сообщение ОИЯИ, ПЗ-5910, Дубна, 1971.
8. И.Ф.Колпаков, Препринт ОИЯИ, ПЗ-6122, Дубна, 1970.
9. И.Ф.Колпаков, Препринт ОИЯИ, ПЗ-6117, Дубна, 1971.
10. V.A.Arefiev et al., SAMAS bulletin, No5, 19+20, 1972.
11. И.Ф.Колпаков, Проблемы физики ЭЧАЯ, т.4, вып.1, стр.285-305, 1973.
12. В.А.Арефьев и др., В кн. "Труды 6-го симпозиума по ядерной электронике", Варшава, 1971, Изд.ОИЯИ, ДЗ-6210, стр.218-221, Дубна, 1972.
13. С.Г.Басиладзе и др. В кн. "Труды 6-го симпозиума по ядерной электронике", Варшава, 1971, Изд.ОИЯИ, ДЗ-6210, стр.52-56, Дубна, 1972.
14. В.А.Арефьев и др. Сообщение ОИЯИ, ПЗ-7326, Дубна, 1973.
15. И.Ф.Колпаков, Н.М.Никитяк, Препринт ОИЯИ, ПЗ-6122, Дубна, 1971.
16. И.Ф.Колпаков, Н.М.Никитяк, Препринт ОИЯИ, ПЗ-6124, Дубна, 1971.
17. И.Ф.Колпаков, Н.М.Никитяк, ПТЭ, №3, стр.84-86, 1972.

18. И.Ф.Колпаков и др., ПТЭ, №6, стр.70-74, 1973.
19. V.A.Arefiev et al., SAMAS bulletin, No10, p.13+15, 1974.
20. И.Ф.Колпаков и др. В кн. "Труды 6-го симпозиума по ядерной электронике", Варшава, 1971, Изд.ОИЯИ, ДЗ-6210, стр.245+ + 248, Дубна, 1972.
21. E.V.Chernykh et al., SAMAS bulletin, No10, p.21-22, 1974.
22. И.Ф.Колпаков и др. В кн. "Труды 7-го международного симпозиума по ядерной электронике", Будапешт, 1973, Изд.ОИЯИ, ДЗ-7616, стр.163+165, Дубна, 1974.
23. Т.Коба и др. В кн. "Труды 7-го международного симпозиума по ядерной электронике", Будапешт, 1973, Изд.ОИЯИ, ДЗ-7616, стр.119-123, Дубна, 1974.
24. И.Ф.Колпаков, В кн. "Труды 6-го симпозиума по ядерной электронике", Варшава, 1971, Изд.ОИЯИ, ДЗ-6210, стр.266-276, Дубна, 1972.
25. М.П.Белякова и др., В кн. Труды 6-го симпозиума по ядерной электронике, Варшава, 1971, Изд.ОИЯИ, ДЗ-6210, стр.270+ + 372, Дубна, 1972.
26. V.A.Gvozdev et al., Particle Accelerator, v.4, pp129-144, 1973.
27. Г.С.Казанский и др., В кн. Труды 7-го симпозиума по ядерной электронике, Будапешт, 1973, Изд.ОИЯИ, ДЗ-7616, стр.84-86, Дубна, 1974.

ЛИТЕРАТУРА

1. Macleod G.R., CERN report, CERN/DD/DP69/8 (1969).
2. А.С.Вовенко, И.А.Савин. В трудах международной школы молодых ученых по физике высоких энергий, Гомель, 1971, Изд.ОИЯИ 2-6371, Дубна (1972).
3. Г.Т.Адьялов и др. Препринт ОИЯИ, P13-7121, Дубна, 1972.
4. Zanella P., CERN report, DD/DP/68/3 (1969).
5. И.Ф.Колпаков, Электронная аппаратура на линии с ЭВМ. М., Атомиздат, 1974.
6. J.T.Nyman, Proc. 1972 Particle Accelerator Conf. IREEE, Trans., NS-22, 415-420 (1972).
7. И.Ф.Колпаков, В трудах 6-го симпозиума ОИЯИ по ядерной электронике, Изд.ОИЯИ, ДПЗ-6210, стр.252-265, Дубна (1972).
8. В.А.Арефьев и др. Препринт ОИЯИ, I3-5447, Дубна (1970).
9. Д.К.Акимов и др. Быстродействующая электроника для регистрации ядерных частиц. Атомиздат, М. (1970).
10. Standard Nuclear Instrument Modules, US AEC, TID-20893, Washington, 1966.
11. Ядерное приборостроение, Вып. X. Атомиздат., 1969, Гост I2863-67.
12. И.Ф.Колпаков, Препринт ОИЯИ, IO-5352, Дубна, 1970.
13. MCSI. Integrated Circuits Data Book, first edition, Motorola inc., USA, August (1971).
14. И.Ф.Колпаков, В трудах семинара по ядерной электронике, Варна, 1969 г., изд.ОИЯИ, I3-4720, стр.49-68, Дубна (1969).
15. M100 Modular Counting System. Edgerton, Germeshausen and Grier, Inc., Salem, Mass. USA (1967).
16. Проспект фирмы LRS, Elmsford, N.Y., USA (1967).
17. The Nanologic 100 System, Chronetics, Inc., Mt Vernon, N.Y., USA (1967).
18. Проспект фирмы Schlumberger-SAIP, France (1971).
19. С.Г.Басиладзе и др., Препринт ОИЯИ, P-5361, Дубна, 1970.
20. С.Г.Басиладзе и др., Препринт ОИЯИ, I-5910, Дубна (1971).

21. Р.Г.Аствацатуров и др., Препринт ОИЯИ, P13-6184, Дубна (1971).
22. И.Ф.Колпаков и др., В кн. "Труды 6-го симпозиума по ядерной электронике", Варшава, 1971, изд.ОИЯИ, ДПЗ-6210, стр.245-248, 1972.
23. V.Ja.Gvozdev et al., Particle Accelerators, v.4, pp 129-144, 1973.
24. М.П.Белякова и др., В кн. "Труды 6-го симпозиума по ядерной электронике", Варшава, 1971, Изд.ОИЯИ ДПЗ-6210, стр.370-372, 1972.
25. Р.Г.Аствацатуров и др., ПГЭ, №1, стр.77, 1971.
26. Euratom report, EUR 4100e, (1969).
27. Euratom report, EUR 4600e, (1971).
28. И.Ф.Колпаков, В трудах 6-го симпозиума по ядерной электронике ОИЯИ, Варшава, 1971, Изд.ОИЯИ, ДПЗ-6210, стр.252+265, Дубна, 1972.
29. И.Ф.Колпаков, Сообщение ОИЯИ, Б-2-II-6323, Дубна, 1972.
30. Г.С.Казанский и др., Препринт ОИЯИ, 9-5876, Дубна, 1971.
31. Проспект фирмы Newlett-Packard, USA (1971).
32. Проспект фирмы Видеотон, Будапешт, 1973.
33. TRA1/1001, Budapest, KFKI, January (1971).
34. И.Ф.Колпаков, Препринт ОИЯИ, IO-6919, 1971.
35. И.Ф.Колпаков, Препринт ОИЯИ, IO-6117, 1971.
36. 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.
37. SAMAC-Serial Systems Organisation, A description, Preprint E30NE/5H/01, Dec.1973.
38. И.Ф.Колпаков, Проблемы ЭЧАЯ, 4, вып.1, стр.284-303, 1973.
39. С.Г.Басиладзе и др., Сообщение ОИЯИ, IO-8372, 1974.

40. В.А.Арефьев и др., В трудах 6-го симпозиума по ядерной электронике ОИЯИ. Варшава, 22 сентября – I октября 1971 г. Изд.ОИЯИ, ДПЗ-6210, стр.218-221, Дубна, 1972.
41. В.А.Арефьев и др., ПТЭ, №3, стр.280, 1972.
42. В.А.Арефьев и др., В кн.Труды VII-го Международного симпозиума по ядерной электронике, Будапешт, 1973, Изд.ОИЯИ, ДПЗ-7616, Дубна, 1974.
43. В.А.Арефьев и др. Препринт ОИЯИ, Р10-7326, Дубна, 1973.
44. V.A.Arefiev et al., SAMAC bulletin, No5, p.19-20, 1972.
45. V.A.Arefiev et al., SAMAC bulletin, No 10, p. 13+15, 1974.
46. Iselin F. et al., Review I, CERN-NP, SAMAC Note 0-01 (1969).
47. SAMAC Compatible Modular Data Transfer System, Каталог фирмы Nuclear Enterprises, 1971.
48. И.Ф.Колпаков и др., ПТЭ, №6, стр.70-74, 1973.
49. И.Ф.Колпаков, Н.М.Никитяк, Препринт ОИЯИ, II-6122, Дубна, 1971.
50. И.Ф.Колпаков, Н.М.Никитяк, ПТЭ, №3, стр.84-87, 1972.
51. И.Ф.Колпаков, Н.М.Никитяк, Препринт ОИЯИ, II-6124, Дубна, 1971.
52. Дж.Скарлетт, Транзисторно-транзисторные логические интегральные схемы и их применение. Пер с англ., "Мир", Москва, 1974.
53. Г.С.Казанский и др., Препринт ОИЯИ, 9-5876, Дубна, 1971.
54. Г.С.Казанский и др. В кн."Труды VII Международного симпозиума по ядерной электронике, Будапешт, 1973, Изд. ОИЯИ, ДПЗ-7616, стр.84 + 86, Дубна, 1974.
55. И.Ф.Колпаков и др., В кн."Труды VII Международного симпозиума по ядерной электронике, Будапешт, 1973, Изд.ОИЯИ, ДПЗ-7616, стр.163-165, Дубна, 1974.
56. E.V.Chernykh et al., SAMAC bulletin, No 10, p.21+22, 1974.

57. Т.Коба и др., В кн.Труды 7-го международного симпозиума по ядерной электронике, Будапешт, 1973, Изд.ОИЯИ, ДПЗ-7616, стр. 119-123, Дубна, 1974.

Рукопись поступила в издательский отдел
10 марта 1975 г.