

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

10-93-90

УДК 681.3

ЕФИМОВ
Леонид Георгиевич

**СОЗДАНИЕ АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫХ
КОМПЛЕКСОВ И ОРГАНИЗАЦИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНО-
УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ
ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
НА СИНХРОТРОНАХ ОИЯИ, ИФВЭ**

**Специальность: 01.04.01 — техника физического
эксперимента, физика приборов,
автоматизация физических исследований**

**Автореферат диссертации
на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Дубна 1993

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий
Объединенного института ядерных исследований.

Научные руководители:

доктор технических наук,
старший научный сотрудник

ШЕЛАЕВ
Игорь Александрович

кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник

СМИРНОВ
Виталий Анатольевич

Официальные оппоненты:

доктор технических наук,
профессор

СИШАЕВ
Алексей Николаевич

доктор физико-математических наук,
старший научный сотрудник

ПЕШЕХОНОВ
Владимир Дмитриевич

Ведущее научно-исследовательское учреждение:
Научно-исследовательский институт ядерной физики МГУ, г. Москва

Защита диссертации состоится 10 июня 1993 г. в 10³⁰ час. на заседании специализированного совета Д-047.01.02 при Лаборатории высоких энергий Объединенного института ядерных исследований, г. Дубна Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЛВЭ ОИЯИ.

Автореферат разослан 27 апреля 1993 г.

Ученый секретарь
специализированного совета

Научно-техническая библиотека
ОИЯИ

М.Ф. ЛИХАЧЕВ

Проблематику настоящей диссертации определяет широкий круг вопросов автоматизации экспериментальных исследований на циклических ускорителях синхротронного типа.

Диссертация основана на материалах аналитических исследований и практических разработках, выполненных автором в ОИЯИ с 1974 по 1988 гг.

Актуальность темы. В современных экспериментах физики высоких энергий особую значимость имеет организация как основных процессов получения информации об изучаемых свойствах материальных объектов, так и процессов контроля и настройки всех элементов используемого оборудования (генераторов и детекторов частиц, устройств регистрации, обработки и представления данных). Исторически в развитии средств и методов обеспечения указанных процессов выделились два больших направления, одно из которых относится к автоматизированной диагностике и управлению работой систем ускорителей заряженных частиц, а другое связано с автоматизированным сбором данных на физических установках (спектрометрах).

Совместное решение этих задач в течение длительного периода исследований по физике высоких энергий и релятивистской ядерной физике в ЛВЭ ОИЯИ является крупной и актуальной научной проблемой.

К первой группе задач диссертации относится автоматизация систем синхрофазотрона ОИЯИ (СФ) – главного звена экспериментальной базы ЛВЭ. Актуальность начата в середине 70-х годов создания аппаратно-программных средств, впервые обеспечивающих комплексный контроль ряда важнейших параметров СФ на линии с малыми ЭВМ, определялась необходимостью сокращения длительности настройки требуемых режимов и обнаружения неисправностей при эксплуатации ускорителя, а также повышения качества его пучков. Решение части этих задач было необходимо и для модернизации систем базового ускорителя ЛВЭ в рамках выполнения проекта НУКЛОТРОН.

Вторая группа задач диссертации связана с автоматизацией модельного сверхпроводящего синхротрона, который был создан в ЛВЭ в 1985 г. по программе сооружения ускорителя релятивистских ядер с широким спектром масс как вероятный Сверхпроводящий Инжектор Нуклотрона (установка СПИН). Синхротрон СПИН проектировался с учетом активной роли средств вычислительной техники в его измерительно-управляющем оборудовании. Это объяснялось не только необходимостью достижения высоких эксплуатационных качеств установки, но и общей спецификой функционирования сверхпроводящих ускорителей, конструктивными особенностями синхротрона СПИН и экспериментальным характером проводившихся на нем исследований. В частности, требовалось обеспечить изучение различных режимов работы установки отдельно в теплом и криогенном вариантах, высокую надежность управляющих средств и дистанционный контроль параметров по измерениям сигналов от нескольких сот датчиков.

Ввиду полной неисследованности в странах-участниках ОИЯИ практических вопросов автоматизации сверхпроводящих ускорителей, представлял интерес весь круг связанных с нею проблем – от обоснования структуры комплекса средств автоматизации синхротрона СПИН до их конкретного воплощения.

Третья группа задач диссертации относится к разработке средств и методов организации сбора данных на спектрометрах в экспериментах на синхротронах. Актуальность этой тематики обусловлена непрерывным усложнением постановки экспериментов, увеличением количества каналов измерения и регистрации сигналов от детекторов и, следовательно, – резким ростом информационной нагрузки систем сбора данных (ССД). Например, в современных экспериментах по изучению множественных и редких процессов на коллайдерах с постановкой исследований в 4π геометрии суммарное количество каналов детекторов исчисляется величиной $10^5 - 10^6$, а входной поток информации от детекторов оценивается десятками Гбайт/с.

Поэтому представляет интерес определение специфики основных требований к средствам организации сбора данных по важнейшим критериям оценки их эффективности с помощью анализа известных способов обработки входного потока, структурного построения ССД и их оснащения адекватными вычислительными ресурсами.

Удовлетворение некоторых указанных требований при проведении с 1978 г. экспериментов в области ядерной физики на крупнейшем магнитном спектрометре, действующем на пучке нейтронов серпучовского синхротрона ИФВФ, впервые в странах-участниках ОИЯИ вызвало необходимость создания средств организации многопроцессорной ССД с объемом аппаратуры, превышающим рамки стандартных конфигураций.

Для выполнения с 1979 г. исследований в области релятивистской ядерной физики и других экспериментов на СФ при использовании в качестве ведущих источников программ удаленных стационарных ЭВМ измерительно-вычислительного центра ЛВФ потребовалось решить ряд уникальных технических и методических задач. К ним относятся разработка и внедрение на установках универсальных средств управления аппаратурой спектрометров, алгоритмов синхронизации ССД и передачи полезной информации в ЭВМ на расстоянии 1,2 км. Целевой функцией организации сбора данных здесь являлось предельное сокращение мертвого времени ССД при обеспечении всестороннего контроля хода экспериментов и комплексного тестирования аппаратуры в режиме "on-line".

Цель работы. Диссертация ставит целью исследование вопросов комплексной разработки, реализации и практического внедрения аппаратно-программных средств и методов организации контроля параметров циклических ускорителей синхротронного типа (СФ, модельного сверхпроводящего синхротрона), а также сбора данных в ряде спектрометров для обеспечения экспериментов по физике высоких энергий и релятивистской ядерной физике на СФ и синхротроне ИФВФ.

Методика проведения исследований основана на применении методов структурного анализа и синтеза сложных систем, математического аппарата теории информации, теории вероятностей и статистики, теории надежности. Практическая часть диссертации опиралась на использование ресурсно развитых ЭВМ вычислительных центров, малых ЭВМ, микро-ЭВМ, персональных компьютеров, модульной аппаратуры и устройств информационного обмена в разных стандартах электроники (NIM, КАМАК, VME). При разработке математического обеспечения систем использовались методы объектно-ориентированного и модульного программирования.

Научная новизна диссертационной работы:

– впервые в странах-участниках ОИЯИ разработан, создан и внедрен в состав средств автоматизации систем СФ ОИЯИ ряд ключевых аппаратно-программных элементов для организации в реальном времени на линии с малыми ЭВМ комплексных многоканальных измерений и автоматических коррекций важнейших параметров ускорителя синхротронного типа;

– впервые в странах-участниках ОИЯИ разработан, создан и внедрен на крупнейшем магнитном спектрометре аппаратно-программный комплекс интерфейсных средств организации многопроцессорной системы сбора данных с тремя разнородными источниками программ для обеспечения возможности дистанционного приема экспериментальной информации, местного контроля оборудования и экспресс-анализа данных, а также оперативного ввода-вывода терминальной и командно-статусной информации;

– впервые в странах-участниках ОИЯИ разработаны и применены для осуществления ряда физических экспериментов на СФ универсальные технические средства и методика организации высокопроводящего сбора данных со спектрометров в удален-

ные стационарные ЭВМ лабораторного измерительно-вычислительного центра;

– впервые в странах-участниках ОИЯИ проведен выбор общей структуры средств автоматизации сверхпроводящего синхротрона, создана измерительно-управляющая система многорежимного задания и контроля параметров его цикла в теплом и холодном вариантах работы, реализовано комплексное аппаратное и математическое обеспечение системы;

– разработана и внедрена на сверхпроводящем синхротроне нестандартная методика обеспечения отказоустойчивости управляющей системы на основе промышленной микро-ЭВМ, а также впервые в странах-участниках ОИЯИ предложена методика реального увеличения производительности этой системы с помощью многопроцессорной шины и модульной аппаратуры в стандарте VME;

– предложен анализ способов обработки потока информации в ССД современных спектрометров, действующих на пучках синхротронов, в рамках анализа определена специфика основных требований к комплексам средств обеспечения сбора данных и их структурной организации;

– аналитически обоснована и выполнена разработка системных аппаратно-программных средств, обеспечивающих на базе унифицированных параллельных каналов передачи данных управление в реальном времени на линии с различными промышленными ЭВМ (ЕС ЭВМ, СМ ЭВМ и других малых ЭВМ) сверхбольшими многокредитными комплексами аппаратуры КАМАК; разработан и создан широкий набор ранее не существовавших в стране цифровых модулей КАМАК разного функционального назначения.

Практическая ценность полученных результатов заключается в том, что предложенные автором принципы и методики построения измерительно-управляющих систем, равно как и созданные комплексы аппаратно-программных средств способствовали проведению большинства первоочередных экспериментов Лаборатории высоких энергий ОИЯИ и во многом определили успешное выполнение научной программы исследований ЛВФ на синхротронах ОИЯИ и ИФВФ в течение 14-летнего периода.

Внедрение средств автоматизированного контроля параметров системы медленного вывода пучка и ряда других параметров СФ способствовало сокращению длительности настройки ускорителя и улучшению характеристик выводимых из него пучков (равномерности временной растяжки, стабильности положения на внешней мишени и минимальности пространственных размеров), а также обеспечению физических установок необходимой служебной информацией. Предложенные интерфейсы СМ ЭВМ в комплексе средств контроля параметров инжектора СФ создают возможность практически неограниченного и минимального по затратам функционального расширения этого комплекса на единой аппаратно-программной основе.

Выбор общей структуры комплекса средств автоматизации модельного сверхпроводящего синхротрона и последующая реализация системы задания и контроля параметров цикла ускорителя СПИН обеспечили проведение работ по его наладке и исследованию, что стало основой решения ряда проблем сооружения в ОИЯИ базовых установок нового поколения по проектам НУКЛОТРОН, СУПЕРНУКЛОТРОН.

Так, бесспорную практическую ценность имело решение многопрофильной и достаточно универсальной задачи воспроизведения разделенных функций управления группами магнитных элементов установки путем дистанционного привода их мощных источников питания с одновременным обеспечением измерений форм и амплитуд задаваемых токов, защиты установки от возможных аварий по вине генератора программы промышленной микро-ЭВМ в дисконфортных условиях ее эксплуатации, а также гибкой перестраиваемости в реальном времени программируемых режимов работы установки.

С помощью созданной системы были проведены сеансы длительных теплых и крио-

генных испытаний синхротрона и достигнута многооборотная циркуляция пучка протонов в его камере. Опыт обеспечения отказоустойчивости системы позже использовался в ЛВФ при организации контроля параметров стримерной камеры спектрометра ГИБС.

Внедрение в автоматизированную систему синхротрона СПИН модульной аппаратуры VME, давшее существенное (в 250-300 раз) сокращение длительности межциклового изменения режимов работы установки, имело особую практическую значимость с точки зрения опыта прототипного использования наиболее современных и совершенных средств организации многопроцессорных систем будущих ускорителей.

В экспериментах на синхротроне ИФВФ применение созданного комплекса системных интерфейсов ЭВМ и других элементов многопроцессорной ССД магнитного спектрометра способствовало получению принципиально новых сведений о характеристиках рождения нейтронами со средней энергией 40 Гэв гиперонов, антигиперонов, очарованных барионов Λ_c^+ , а также узкого барионного резонанса $N(1660)$ и U/Ms -бариониев с мультикварковой структурой и скрытой странностью.

Практическая ценность созданного в ЛВФ комплекса универсальных периферийных средств управления модульной аппаратурой физических установок на линии с удаленными стационарными ЕС ЭВМ подтверждается длительным и успешным проведением с помощью этих средств серии экспериментов в области физики высоких энергий и релятивистской ядерной физики на СФ.

Предложенное и осуществленное в ряде указанных экспериментов решение методических и технических задач организации высокопроизводительного сбора данных на время-пролетном спектрометре способствовало всестороннему изучению кумулятивного рождения частиц в адрон-ядерных процессах и получению фундаментальных сведений о кварк-партоновой структуре ядер. В проведенных на этой установке экспериментах были измерены уникально малые сечения кумулятивного рождения мезонов вплоть до значений $5 \cdot 10^{-36} \text{ см}^2 \text{ Гэв}^{-2} \text{ с}^3 \text{ ср}^{-1} \text{ нуклон}^{-1}$, исследованы кумулятивное рождение протонов и барионных систем, кумуляция простейших ядерных систем, а также получены новые данные по двухчастичным pp -, pp -, dp - корреляциям при взаимодействиях протонов, дейтронов и α -частиц с ядрами.

Найденные решения аналогичных методических и технических задач организации сбора данных на другом спектрометре, действующем в режиме оперативной связи с ЕС ЭВМ, позволили получить новую информацию по исследованию процессов упругого рассеяния легких ядер и ядерных реакций с образованием фрагментов, а также обнаружению высоковольтных состояний ^4He с измерением дифференциальных сечений их выхода.

Разработанные методики построения измерительно-управляющих систем и цифровые электронные устройства, общая номенклатура которых насчитывает более 30-ти типов модулей и блоков, успешно использовались для решения прикладных задач как в ОИЯИ, так и в сторонних учреждениях — в частности, для создания систем автоматизации технологических процессов на базе ИВК СМ ЭВМ, оснащения терминальных пользовательских сетей ЭВМ, приема и представления данных на различных измерительных стендах и т.д.

Основные результаты работ реализованы в семи крупных автоматизированных установках (в ССД четырех спектрометров и в комплексах средств контроля трех систем ускорителей), в том числе, в крупнейших для стран-участниц ОИЯИ установках на пульте СФ (с 1974 г.) и на магнитном спектрометре БИС-2 в ИФВФ, г. Серпухов (с 1978 г.).

Разработанные автором технические средства и методика организации сбора данных в экспериментах на СФ были частично опробованы на спектрометре КРИСТАЛЛ

в 1979 г. и в полном объеме реализованы на время-пролетном спектрометре ДИСК-2/3 (с 1979 г.) и многопараметровым спектрометре легких ядер СЯО (1980-1982 гг.).

Предложенные автором решения задач, относящихся к разработке и созданию комплекса средств контроля параметров сверхпроводящего ускорителя, реализованы на модельном синхротроне СПИН в ЛВФ ОИЯИ в 1985-1988 гг.

Часть разработанных автором электронных устройств освоена для мелкосерийного выпуска в Опытном производстве ОИЯИ.

Апробация диссертационной работы. Результаты исследований, вошедших в диссертацию, неоднократно докладывались автором и обсуждались специалистами на научно-методических семинарах ОИЯИ, а также представлялись на 14-ти Всесоюзных и Международных совещаниях, симпозиумах, конференциях, семинарах.

В частности, по итогам исследований автором лично делались сообщения на VIII Международном симпозиуме по ядерной электронике (Дубна, 1975), I Всесоюзном совещании по автоматизации научных исследований в ядерной физике (Киев, 1976), Всесоюзной практической конференции "Многомашинные системы автоматизации научных исследований" (Рига, 1978), I Международном симпозиуме по применению микрокомпьютеров и микропроцессоров МММ-79 (Будапешт, 1979), 10-м и 11-м Всесоюзных совещаниях по ускорителям заряженных частиц (Дубна, 1986, 1988), а также на XII Международном симпозиуме по микропроцессингу и микропрограммированию EUROMICRO-86 (Венеция, 1986).

Кроме того, результаты диссертационной работы представлялись и обсуждались на II Международном симпозиуме по применению систем КАМАК (Брюссель, 1975), IX Международном симпозиуме по ядерной электронике (Варна, 1977) 5-м, 7-м и 9-м Всесоюзных совещаниях по ускорителям заряженных частиц (Дубна, 1976, 1980, 1984), XII Международном симпозиуме по ядерной электронике (Дубна, 1985), 5-м Всесоюзном семинаре "Автоматизация исследований в ядерной физике и смежных областях" (Ташкент, 1988).

За выполнение циклов исследований, рассмотренных в диссертации, автор совместно с соавторами в составе двух творческих коллективов удостоивался вторых премий ОИЯИ по разделам научно-методических и научно-технических работ в 1982 и 1990 гг.

Публикации. Основные результаты по теме диссертации опубликованы в 46-ти печатных работах в виде препринтов и сообщений ОИЯИ, а также статей в сборниках "Ядерная физика" и "Краткие сообщения ОИЯИ", отечественных и зарубежных журналах (ПТФ, IEEE Transactions on Nuclear Science, Microprocessing and Microprogramming — The Euromicro Journal), сборниках трудов указанных симпозиумов, конференций, совещаний, семинаров.

Структура и объем диссертации отвечают избранной теме, содержанию излагаемого материала и требованиям его цельности. Работа состоит из введения, трех глав, заключения и списка цитируемой литературы во 151-го наименования, содержит 175 страниц машинописного текста и 40 иллюстраций в виде схем, графиков, временных диаграмм, алгоритмов программ и таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении определены основные направления разработки технических средств и методов, обеспечивающих автоматизацию экспериментальных исследований на циклических ускорителях синхротронного типа. Обоснована актуальность комплексного решения ряда задач по данной тематике на разных этапах развития исследований в области физики высоких энергий и релятивистской ядерной физики в ЛВФ ОИЯИ. Сформулирована цель работы, отмечены ее новизна и практическая ценность, изложены главные положения диссертации.

В первой главе рассматриваются различные аспекты реализации аппаратно-программных средств контроля систем СФ ОИЯИ. Приведено методическое обоснование разработки и описание ключевых элементов крупнейшей в странах-участницах ОИЯИ автоматизированной установки на базе аппаратуры КАМАК, созданной с целью получения эффективных средств диагностики и настройки системы медленного вывода (МВ) пучков. Комплексным применением этих элементов были впервые обеспечены совместные многократные измерения в цикле СФ токов магнитных устройств МВ (магнитов, линз, резонансных обмоток), пространственных параметров выводимого пучка (профилей, размеров, положения) в диапазоне интенсивностей $10^6 - 10^{11}$ частиц/цикл, временных характеристик работы СФ и устройств МВ, а также параметров СФ, определяющих режимы МВ (индукции главного магнитного поля B , интенсивности пучка I_0 и др.). Представлены элементы комплекса, с использованием которых на основе указанных измерений была решена одна из конечных задач создания установки - оптимизация параметров p методом межциклового корректирования тока i_μ μ -го магнитного устройства МВ по алгоритму

$$i_\mu^{l+1} = i_\mu^l \pm k_\mu(p) \cdot (p - p^0),$$

где l - индекс шага коррекции (цикла СФ), $k_\mu(p)$ - экспериментально подбираемый коэффициент и p^0 - номинальное значение p . В качестве p выбирается смещение геометрического центра тяжести пучка от оси канала МВ, поперечный размер пучка или собственно корректируемый ток управляемого устройства, а процесс оптимизации считается завершенным при выполнении условия $|p - p^0| < \xi(p)$, где $\xi(p)$ - допустимое отклонение p .

К найденным новым аппаратным решениям перечисленных задач относилась разработка средств привода цифровых вольтметров, обеспечивавших измерения в реальном времени тока форманта ФМ, тока резонансной обмотки P_1 и других параметров с относительной погрешностью $\delta \approx 10^{-4}$ при динамическом диапазоне измеряемых сигналов $D=35$. Для организации временных измерений разработаны разравнивающие формирователи сигналов пересчетных модулей, оформленные в виде блока управляемых многоканальных входов. Измерения пространственных параметров пучка с требуемым интервалом времени съема, кодирования и валомидания информации от шести 60-канальных ионизационных камер обеспечило разработанное устройство, производящее в течение вывода пучка по вышестоящей программе до 15-ти серий опроса датчиков, форматирования и валисы данных в буферную память. Получаемая длительность каждой серии (1,3 мс) почти на порядок меньше времени выполнения такого процесса по программе управляющей ЭВМ ЕС-1010. Для помехоустойчивого ввода команд с пульта СФ при организации диалога оператор-ЭВМ осуществлена разработка релейных регистров с полной электрической изоляцией магистралей КАМАК от оборудования пульта.

Общая схема комплекса средств контроля МВ (1979 г.) показана на рис.1, где выделены элементы и узлы, созданные на основе разработок автора.

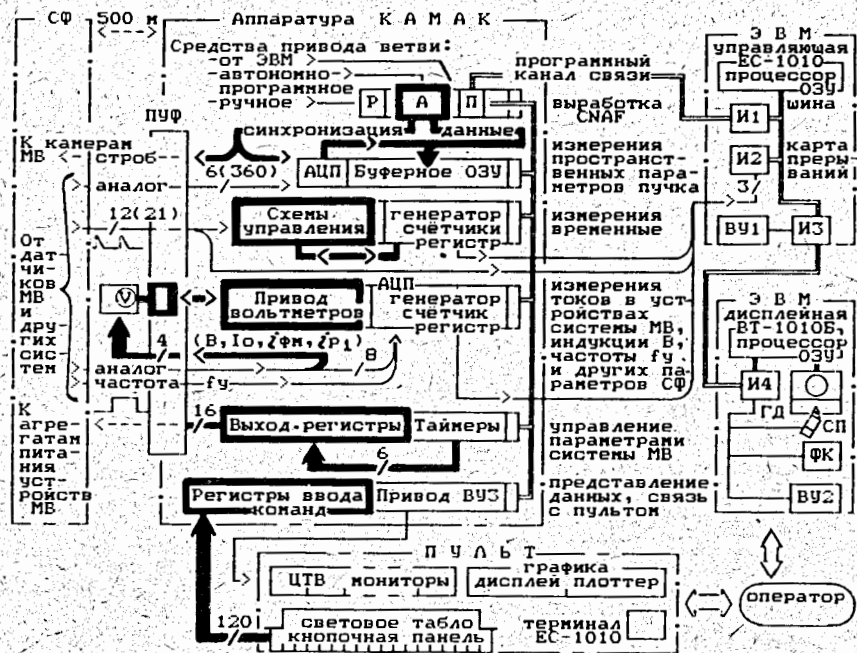


Рисунок 1: Структурная схема первой очереди комплекса средств контроля МВ. ПУФ - аппаратура преобразования уровней, усиления и формирования сигналов; ВУ, ГД, СП и ФК - устройства ввода-вывода, хранения и представления данных.

Во второй части главы изучаются вопросы разработки и создания системообразующих элементов установок на базе модульной аппаратуры и ЭВМ с унифицированной магистралью типа UNIBUS, "Общая шина" и т.п., широко применяемых на СФ.

При изучении различных способов сопряжения аппаратуры с магистралью для сравнения существующих устройств обмена выполнен детальный анализ их важнейших характеристик - совокупной модульной вместимости M_0^* , пропускной способности C_0 , относительных затрат как функции требуемого объема подключаемой аппаратуры $e_0(M_T)$, количества генерируемых векторов прерывания V_0 и обеспечиваемого времени реакции ЭВМ на валросы прерывания T_r . По результатам анализа обоснован выбор устройств, оптимально соответствующих условиям работы в составе средств контроля систем ускорителей.

Осуществлена разработка аппаратно-программного обеспечения 4-адресных сканирующих крейт-контроллеров КАМАК типа U (СК). Показано, что СК по сравнению со стандартными контроллерами ИВК СМ ЭВМ обладают большей на 2 порядка M_0^* , имеют более высокую C_0 и дают 3-кратный выигрыш по T_r .

СК внедрены на инжекторе СФ, где с их помощью были организованы измерения сигналов от элементов магнитной оптики линейного ускорителя ЛУ-20, а также измерения параметров инжектируемого в камеру СФ пучка (рис.2).

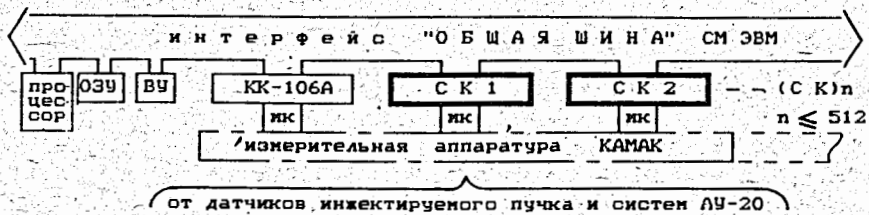


Рисунок 2: 4-адресные сканирующие контроллеры в комплексе средств измерения параметров инжектора СФ. МК – магистрали крейтов.

Вторая глава объединяет материалы, относящиеся к техническому и методическому обеспечению сбора данных и контроля оборудования спектрометров в исследованиях на синхротроне.

В аналитической части изучаются способы обработки входного потока информации $F_{вх}(t)$ в ССД современных физических установок и специфика построения их средств, оцениваемых по трем критериям – адекватности постановке эксперимента, достижению максимальной скорости набора статистических данных и максимальной полезности выходной информации, накапливаемой в устройствах массовой памяти с пропускной способностью C_n .

Обсуждаются особенности техники редуцирования величины $F_{вх}(t)$, численно выражаемого коэффициентом

$$c = \frac{\bar{F}_{вх}}{\bar{F}_{вых}} = \frac{n_c \cdot \sum_{j=1}^L (D_j)_{вх}}{(1 + n_c \tau_n) \bar{D}_{вых} \cdot \nu_{вых}} = c_n \cdot c_d,$$

где $\bar{F}_{вх}$ и $\bar{F}_{вых}$ – средние значения аддитивного потока данных на входе и потока данных на выходе ССД соответственно, n_c – интенсивность выработки сигналов запуска ССД (СЗУ), L – количество групп однотипных детекторов спектрометра, $(D_j)_{вх}$ – объем первичной информации при каждом запуске в j -ой группе, $\bar{D}_{вых}$ – средний объем информации, несущей образ одного события, τ_n – интервал времени невосприимчивости ССД к СЗУ, $\nu_{вых}$ – максимальная частота записи выходных данных в накопителе ($\nu_{вых} \leq C_n$), c_n и c_d – коэффициенты редуцирования частоты ослупка ССД и объема данных соответственно.

Рассмотрены методы уменьшения τ_n , а также методы получения требуемых значений c_n и c_d – фильтрация и компрессия (сжатие) данных. Предложена обобщенная структурная схема ССД с многоуровневой организацией. Дан краткий анализ методов оснащения ССД необходимыми вычислительными ресурсами в аспекте развития концепции "интеллектуентного параллелизма".

В следующем разделе главы разбирается практическое выполнение ряда сформулированных требований при реализации сбора данных с магнитного спектрометра БИС-2 в экспериментах на синхротроне ИФВЭ. Осуществлена разработка комплекса системных интерфейсных средств организации многопроцессорной ССД этой установки. Созданные аппаратные и драйверные программные средства позволяли проводить как быстрый прием информации о зарегистрированных событиях в ведущую ЭВМ ЕС-1040, так и местную наладку оборудования (в частности, пропорциональных камер ПК) на линии с малой ЭВМ ТРА-1001i, а также включить последнюю в основной процесс сбора

данных. Созданием других аппаратно-программных средств, работающих по протоколу GPIB (IEEE 488, МЭК.625), обеспечено внедрение в ССД микрокомпьютерной станции ТЕКТРОНИХ-4051 для экспресс-анализа получаемых данных и их представления в графической форме. Разработана аппаратура интерфейсных устройств для ввода-вывода терминальной и командно-статусной информации, а также синхронизации приема данных в ЭВМ. Блок-схема многопроцессорной ССД спектрометра БИС-2 приведена на рис.3.

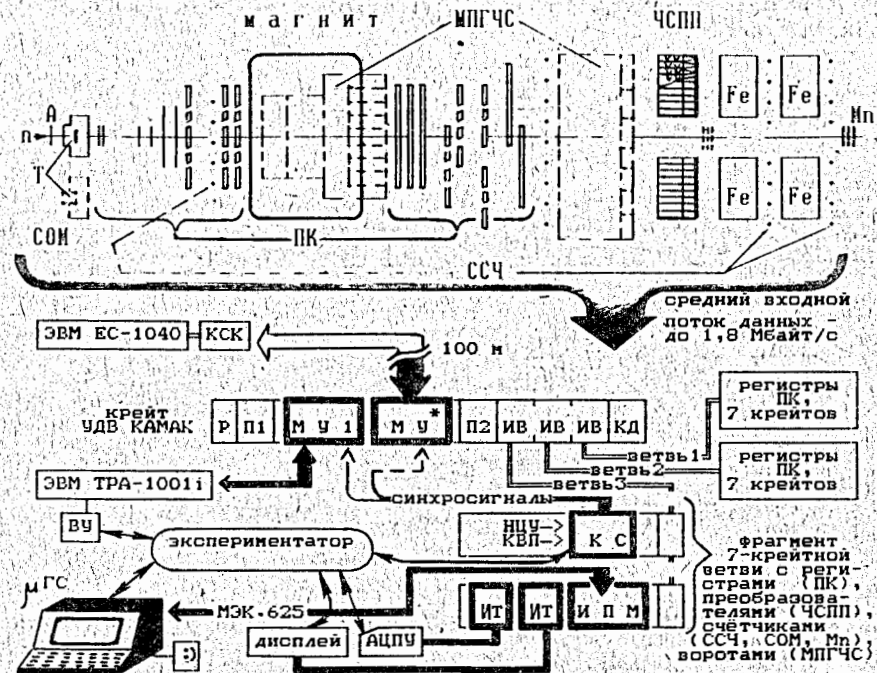


Рисунок 3: Блок-схема многопроцессорной ССД спектрометра БИС-2 в экспериментах на нейтронном пучке синхротрона ИФВЭ (пунктиром отмечены элементы позднейшей конфигурации установки, выделены разработки автора). Т – мишень; А, СОМ, ПК, МПГЧС, ЧСПП, ССЧ, Мп – узлы детекторного оборудования; МУ – управляющие модули системных интерфейсов (* – для первого варианта ССД); КС – устройство синхронизации и контроля ССД; ИПМ – модуль интерфейса приборной магистрали МЭК.625; ИТ – модуль привода терминальных устройств; ГС – микрокомпьютерная графическая станция; П – модули автономных процессоров; Р, ИВ, КД – модули универсального драйвера ветви УДВ; КСК – контроллер селекторного канала; НЦУ и КВП – сигналы начала цикла ускорения и окончания вывода пучка на мишень.

В третьем разделе главы дано описание комплекса разработанных универсальных средств управления аппаратурой физических установок на линии со стационарными удаленными ЭВМ лабораторных измерительно-вычислительных центров.

Комплекс включает повторяемые для N поочередно работающих в цикле ускорителя установок ($N \leq 8$) средства привода системных крейтов КАМАК от нестандартного

синхронного интерфейса с полудуплексным каналом, а также средства синхронизации и контроля процессов сбора данных. Уникальность созданных средств заключается в достигнутом сочетании их характеристик - высоким значением $C_0 = 1,2$ Мбайт/с, унифицируемости, адаптируемости к меняющимся условиям экспериментов выбором любого из 44 возможных режимов работы и совместимости в рамках лабораторной сети передачи данных, объединяющей установки протяженными параллельными линиями скоростного информационного обмена.

Комплекс использован для построения ССД 3-х спектрометров, связываемых с ЕС ЭВМ вычислительного центра ЛВЭ Бия (рис.4). Кратко обосновано внедрение ЕС ЭВМ в "on-line" эксперименты.

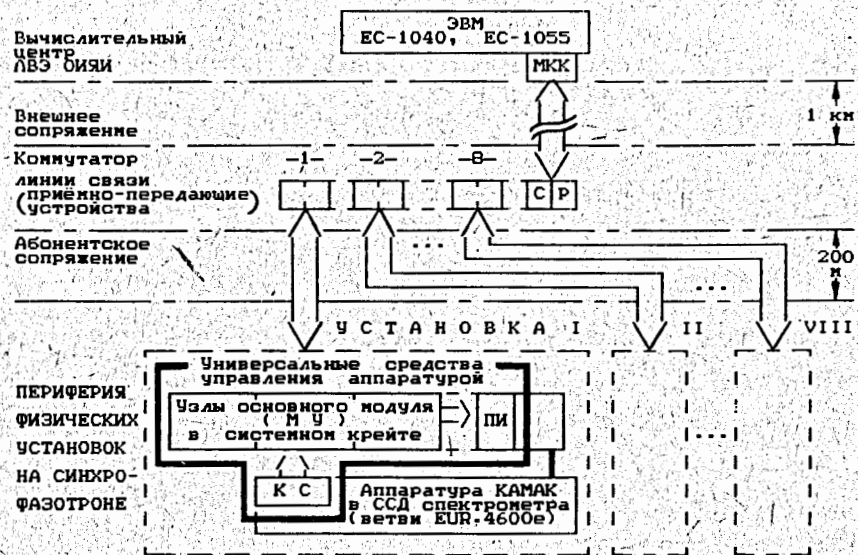


Рисунок 4: Комплекс универсальных средств управления аппаратурой физических установок в оборудовании для проведения экспериментов на линии с ЕС ЭВМ. КС - синхронизирующая консоль оператора; ПИ - панель индикации принимаемых и передаваемых данных; С,Р - смеситель и размножитель сигналов линии связи; МКК - микропрограммный контроллер канала ЕС ЭВМ.

Заключительная часть главы посвящена практическому решению задач организации высокопроизводительного сбора данных в экспериментах на СФ (1979-1991 гг.), осуществившихся с помощью рассмотренных средств.

Детально обсуждается организация сбора данных с действующего на лучах МВ магнитного время-пролетного спектрометра ДИСК. Представлена структура ССД (рис.5), обеспечившей на установке ДИСК-2 проведение экспериментов по фрагментации ядер мишени в инклюзивной постановке $a + b \rightarrow c + X$, где изучалось кумулятивное рождение частиц при взаимодействии адрона a с локальной группой нуклонов ядра b . ССД с той же структурой использовалась и на установке ДИСК-3 при последующем исследовании двухчастичных корреляций (дополнительное внедрение ЭВМ СМ-4 выполнено с целью местной настройки подсистем ССД).

Изложены принципы организации сбора данных и трехуровневого контроля ССД спектрометра легких ядер на основе полупроводниковых детекторов - установок СЯО.

Для реализации ССД обеих установок предложены схемы размещения и функциональных связей элементов программно-управляемой аппаратуры, временные диаграммы процессов сбора данных и синхронизации условий ССД, а также алгоритмы программы приема данных в ведущую ЕС ЭВМ (примеры приведены на рис. 5-8).

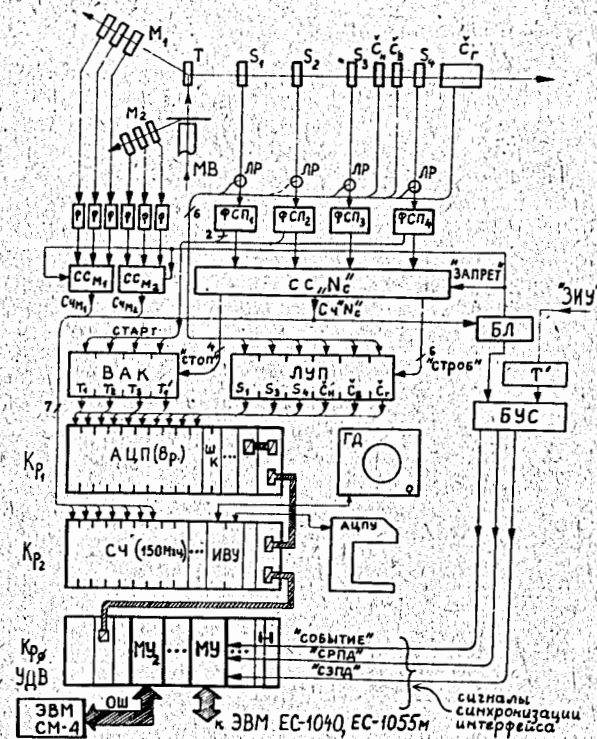


Рисунок 5: Структурная схема ССД спектрометра ДИСК. Т - мишень; S, C, M - элементы детекторного оборудования; ЛР - линейные размножители; Ф, ФСП, СС, ВАК, ЛУП - элементы аппаратуры формирования сигналов; БЛ - блокирующее устройство; Т - таймер; СЧ - счетчики; ИВУ - интерфейсы ВУ; ШК - генератор шахматных кодов; БУС - блок выработки сигналов управления приемом данных в ЭВМ; ЗМУ - задержанный НДУ; СРПД и СЭПД - сигналы разрешения и завершения приема данных в цикле СФ; ОШ - "Общая шина" СМ-4/125.

Ключевым моментом в организации сбора данных со спектрометров являлось полное использование конструктивных и скоростных возможностей созданных управляющих средств, при котором серия опроса регистрирующей аппаратуры индиферировалась автономно, а синхронное считывание данных в ЭВМ проводилось в темпе сканирования регистров КАМАК с предельной скоростью, определяемой пропускной способностью наименее быстродействующего звена - магистрали ветви (1 Мбайт/с < C_0).

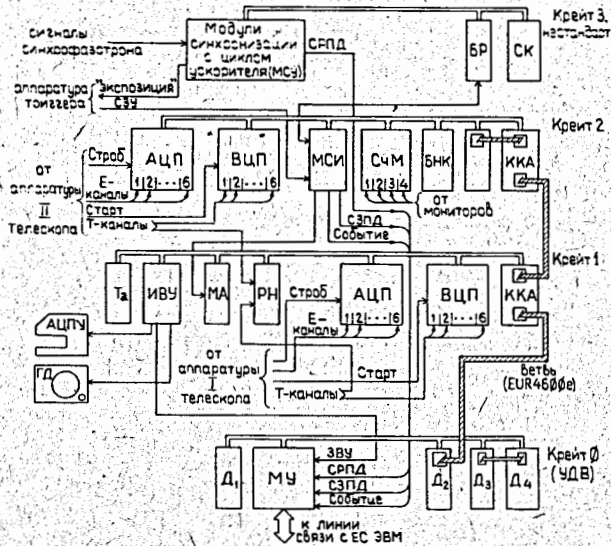


Рисунок 6: Структурная схема программно-управляемой части ССД спектрометра СЯО. МСИ – модуль синхронизации интерфейса ЭВМ; МА – генератор "Системного адреса" в крейте 1; Та – модули для калибровки детекторов и тестов аппаратуры; РН – регистр наложенных импульсов во временных каналах; БНК – регистр констант; БР и СК – буферный регистр и контроллер крейта с нестандартными модулями; Д – модули системного крейта; ККА – крейт-контроллеры типа А1; ЗВУ – сигнал вопроса от ВУ.

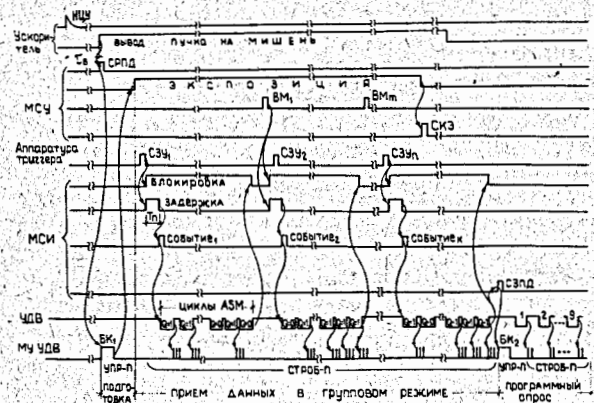


Рисунок 7: Временная диаграмма работы ССД спектрометра СЯО в цикле СФ. ВМ – синхросигналы "Временная метка", вырабатываемые по импульсам В-таймера СФ; СКЭ – сигнал завершения экспозиции; Строб-П, Упр-П и БК – синхросигналы и контрольный байт информации в линии связи с ЕС ЭВМ.

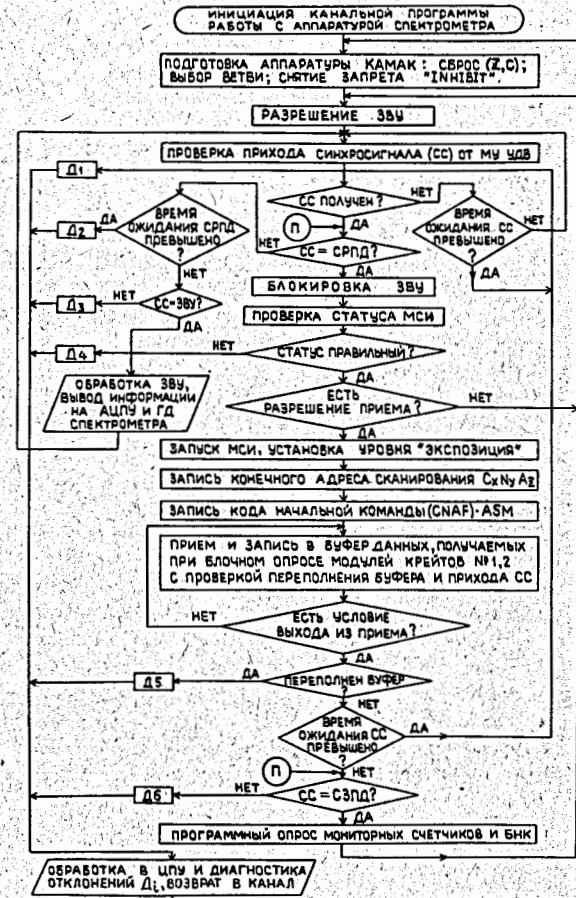


Рисунок 8: Алгоритм основной программы сбора данных со спектрометра СЯО. II – прерывание по синхросигналам от МУ.

При этом исключалось какое-либо программное вмешательство удаленной ЭВМ в процесс считывания образов физических событий (подготовка аппаратуры в цикле СФ производилась только один раз), а $t_{\text{с}}$ сокращалось до минимума, равного сумме задержки на преобразование сигналов в модулях АЦП, ВЦП (аналог-цифра, время-цифра) и длительности их опроса в режиме ASM.

Таким образом были достигнуты главные преимущества предложенных решений: максимально возможная скорость приема экспериментальных данных и рекордные для своего времени объемы информации, принимаемой за цикл ускорителя в ЭВМ, — до 120 Кбайт (~ 10^4 событий на установке ДИСК).

Особенностью приема данных с установки СЯО была переменная длина информационного массива в событии. Извлекая в режиме ASM информацию лишь от сработавших каналов модулей, МУ служит устройством сжатия данных, которое при указанном соотношении пропускных способностей интерфейсных средств сокращает и длительность передачи массивов в ЭВМ. Однако, такое сжатие при произвольном распределении источников информации создает проблему последующего распознавания их адресов.

Была предложена и внедрена нестандартная методика решения этой проблемы. Она основана на выработке в темпе опроса регистров служебного сообщения ("Системного адреса") как текущего содержимого счетчика всех ASM-циклов КАМАК, добавляемого модулями МСИ и МА (рис.6) к каждому считываемому в ЭВМ коду данных. Для программной обработки (сортировки) вносимых в память ЭВМ массивов путем анализа значений "Системного адреса" разработан алгоритм, приводимый в конце главы.

В третьей главе, представляющей результаты работ на модельном ускорителе СПИН, изучаются вопросы построения измерительно-управляющих систем сверхпроводящих синхротронов.

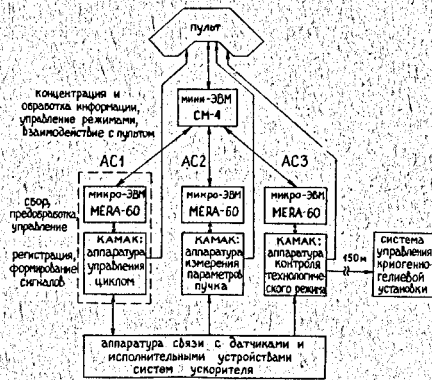


Рисунок 9: Обобщенная структурная схема комплекса средств контроля параметров синхротрона СПИН.

По выводам проведенного анализа исходных данных предложена и обоснована общая структура комплекса средств автоматизации установки СПИН с распределенным решением задач контроля ее параметров в трех системах АС1-АС3 на базе программно-совместимых микро-ЭВМ (рис.9).

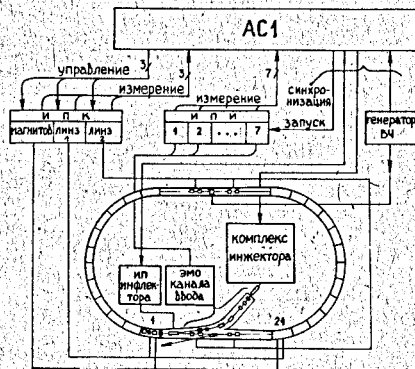


Рисунок 10: Схема функциональных связей АС1 с контролируемыми узлами. ИП-источник питания; ВЧ-напряжение высокой частоты.

Подробно рассматривается созданная под руководством и при определяющем участии автора важная и единственная управляющая система комплекса АС1. Последовательно реализованы 2 версии системы, первая из которых использовалась для теплых испытаний установки и вторая — для эксплуатации синхротрона в проектном (холодном) варианте при работе кольцевых магнитных элементов в криостате с жидким гелием.

Обе версии АС1 включают аппаратно-программные средства, обеспечивающие: исследование любых возможных режимов циклической работы синхротрона путем расчетного задания и генерации функций привода трех ИПК — источников питания соответствующих групп магнитов и лент его кольца; синхронизацию всех основных узлов ускорителя, в том числе, семи ИПИ — источников питания элементов магнитной оптики (ЭМО) канала ввода пучка формированием сигналов их запуска; проверку работоспособности ИПК и ИПИ с помощью измерений форм и амплитуд сигналов от их датчиков (рис.10).

Дано описание предложенной методики задания с пульта АС1 параметров цикла работы ИПК (интервалов времени линейного изменения токов, их "столбов" и плавных переходов по параболическим кривым, минимальных и максимальных значений токов), а также расчета и занесения в ОЗУ микро-ЭВМ соответствующих таблиц двоичных кодов, посылаемых в аппаратуру привода ИПК.

Необходимость разработки двух версий АС1 обусловлена их отличием как по задаваемой временной структуре цикла, так и по алгоритмам управления конструктивно разными ИПК (рис.11). В частности, в холодном варианте с применением мощных и удаленных от ЭВМ промышленных источников тока ИСТР-2500 управление магнитной системой сводится к генерации функций $I(t)$ с индивидуальными для каждого ИПК значениями всех перечисленных параметров (кроме общей длительности цикла и паузы между циклами). Данная задача решена созданием средств, осуществляющих совместную выработку последовательностей кодов $I_i(n)$ и $\frac{dI_i}{dt}(n)$, при этом $n = \left[\frac{t-T}{\sigma} \right]$, где t — текущее время цикла, n — номер временного шага задания кодов, $\sigma = 20$ мс — минимальное значение шага, $i = 1, 2, 3, \dots$ (задается аппаратно и в программах), $i = 1, 2, 3$.

Указаны особенности предложенной организации основных аппаратных средств АС1 в обеих версиях (на рис.12 приведена структурная схема измерительно-управляющей аппаратуры в ее конечной модификации). В этом разделе представлена техника временной привязки процессов выдачи из ЭВМ управляющих кодов ИПК и измерений форм токов ИПК к опорной частоте генератора кварцевых часов $f_r = 1$ кГц, а также техника амплитудных измерений токов ИПК и ИПИ в момент инжекции пучка.

В криогенных режимах испытаний синхротрона особую значимость приобретает надежность АС1. Требовалось полностью исключить вероятность аварийных остановок циклического возбуждения ИПК из-за сбоя микро-ЭВМ, обусловленных близостью источников сильных электромагнитных наводок и помех по питанию. Трудность задачи состояла в том, что после сбоя должен был автоматически восстанавливаться выбранный режим исследований, определяемый как типом управляющей программы, так и заданными в ней параметрами. По этой причине, а также для документирования режимов необходимо их сохранение в самопишущем устройстве с содержимым, не разрушаемым при отключении питания.

Приведено описание разработанной программы развитого диалогового диспетчера, посредством которого оператором сохраняются или изменяются параметры цикла, а также по специальным директивам осуществляется переход к различным процедурам (диагностика неправильного задания параметров, калибровки АЦП, выбора конфигурации используемых терминалов, вывода информации на пульт и внешние устройства ЭВМ, прерывания и остановки программ, завершения сеанса работы установки и т.д.).

Третий (нижний) уровень созданного математического обеспечения АС1 образуют подпрограммы обслуживания аппаратуры. Они являются унифицированным ядром всех управляющих программ.

Рассмотренные базовые средства АС1 с применением ресурсов одной ЭВМ обладали существенным недостатком: ими не обеспечивалась возможность изменения параметров цикла в реальном времени работы ускорителя. Генерация циклов приостанавливалась при диалоговом расчете таблиц кодов ИПК, а длительность остановки зависела от скорости манипуляций оператора и задаваемых значений параметров. Проблема не преодолевалась с помощью двухзадачного монитора ОС типа RT11-FB из-за сложности расчета таблиц и недостаточной провозможности процессора. Решение достигалось только модификацией АС1 на многопроцессорной основе, при этом жесткие требования к быстродействию и надежности входящих в систему средств определяли неоптимальность модификации с подключением пультовой СМ ЭВМ (рис.9).

Был выбран наиболее актуальный подход к организации распределенной вычислительной мощности с использованием в качестве терминального сервера ПЭВМ типа IBM PC, а в качестве системных средств обмена – аппаратуры в стандарте VME, являющейся неотъемлемой частью всех современных ССД спектрометров и систем автоматизации ускорителей (LEP/SPS, DESY III и др.).

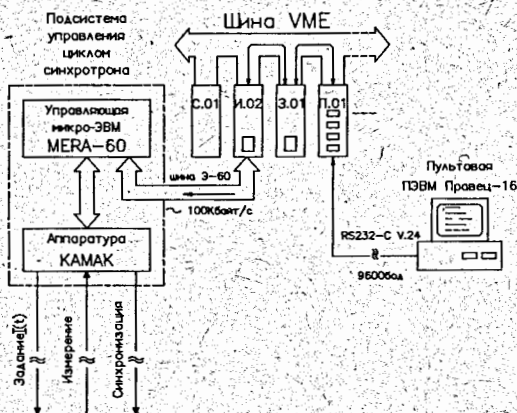


Рисунок 15: Схема организации распределенной вычислительной мощности АС1 на основе шины VME (1986 г.). С – контроллер шины; И – интерфейс канала MERA-60; 3 – буферная память; П – процессорный модуль с микропроцессором Intel-8085.

В предложенной расширенной конфигурации АС1 ведущая микро-ЭВМ освобождается от функций диалогового ввода параметров и расчета таблиц, которые возлагаются на ПЭВМ. Коммуникационные средства обмена выполнены в виде комплекса модулей VME (рис.15). Разработаны алгоритмы взаимодействия двух ЭВМ, основанные на

стартовой или провозводимой в конце каждого цикла проверке в MERA-60 флага ПЭВМ. При обнаружении флага перемещаемый массив расчетных данных в паузе между циклами считывается из буферной памяти VME в ОЗУ MERA-60 и спасается на ее диске, что обеспечивает возобновление циклов уже с новыми параметрами. Программы ПЭВМ написаны на ФОРТРАНЕ и работают по ранее отлаженным в MERA-60 алгоритмам. Выполненное расширение матобеспечения MERA-60 дает возможность выбора однопроцессорной или распределенной структуры вычислительных средств.

В результате модификации АС1 изменение режима работы сопровождается лишь допустимым удлинением паузы между циклами. Приведена формула оценки получаемого временного выигрыша G_t . Показано, что G_t резко растет с увеличением быстродействия дискового ЗУ MERA-60 и что при использовавшемся ЗУ $G_t \approx 250 \div 300$. Внедрение шины VME давало также возможность дальнейшего наращивания вычислительной мощности АС1 для решения других задач.

В заключении отмечается, что главным итогом диссертации является новое решение крупной научной проблемы комплексного создания и развития в экспериментальной базе одной из ведущих физических Лабораторий ряда основных элементов ее инфраструктуры, обеспечивающих автоматизацию исследований по физике частиц высоких энергий и релятивистской ядерной физике на протяжении длительного периода времени (с 1974 г.).

В диссертации предложены не имеющие аналогов решения многих актуальных вопросов аргументируемого выбора направлений разработок и практического внедрения новых средств и методов сбора данных на спектрометрах элементарных частиц, а также контроля систем действующего и создаваемого циклических ускорителей протонов и релятивистских ядер.

Основные результаты аналитических, научно-технических и научно-методических исследований автора формулируются в виде выводов, приводимых ниже.

1. Впервые в странах-участницах ОИЯИ разработан, создан и использован при построении средств автоматизации синхрофазотрона ОИЯИ ряд аппаратно-программных элементов, позволяющих осуществлять в реальном времени на линии с малыми ЭВМ комплексный контроль важнейших эксплуатационных параметров ускорителя синхротронного типа.

В частности, созданные элементы внедрены с целью организации многоканальных прецизионных измерений и автоматических коррекций параметров системы медленного вывода пучка и других систем ускорителя на центральном пульте синхрофазотрона, а также для эффективной связи измерительной аппаратуры с ЭВМ на пульте инжектора ЛУ-20.

Применение указанных разработок способствовало значительному сокращению длительности настройки режимов синхрофазотрона, улучшению качества выводимых из него пучков и получению возможности дальнейшего расширения круга решаемых задач диагностики систем базового ускорителя ЛВЭ ОИЯИ в рамках выполнения плана его реконструкции.

2. Впервые в странах-участницах ОИЯИ разработан, создан и внедрен на установке БИС-2 специализированный комплекс аппаратно-программных интерфейсных средств организации многопроцессорной системы сбора данных крупнейшего магнитного спектрометра.

Применение элементов указанного комплекса в 9-летнем цикле исследований на серпуховском синхротроне ИФВЭ обеспечило возможность получения принципиально

новых экспериментальных сведений о характеристиках адронного рождения в инклюзивных процессах гиперонов, антигиперонов, очарованных барионов Λ_c^+ с распадами по каналам $\Lambda_c^+ \Rightarrow K^0 p \pi^+ \pi^-$, $\Lambda_c^+ \Rightarrow \Lambda \pi^+ \pi^+ \pi^-$, а также узких экзотических резонансов.

3. Впервые в странах-участницах ОИЯИ разработаны, созданы и внедрены на нескольких физических установках высокоскоростные и универсальные (т.е. объединяемые в единый комплекс, многорежимные, адаптируемые к выбранной методике сбора данных и совмещаемые с другими источниками программ) периферийные средства управления многокарасной модульной аппаратурой спектрометров на линиях с удаленными стационарными ЭВМ лабораторных вычислительных центров.

Указанные средства впервые испытаны на спектрометре КРИСТАЛЛ, где их применение способствовало получению новой информации о возможностях отклонения пучков каналирующих частиц высоких энергий (в эксперименте — протонов с $E = 8,4$ ГэВ) изогнутыми монокристаллами кремния и германия.

4. Впервые при реализации экспериментальных исследований в области релятивистской ядерной физики на синхротроне ОИЯИ решен ряд технических и методических задач организации высокопроизводительного сбора данных и контроля оборудования на установках, действующих в режиме оперативной связи с удаленными ЕС ЭВМ.

Применением на спектрометрах ДИСК-2/3 и СЯО разработанных схем размещения и синхронизации элементов регистрирующей аппаратуры, системных интерфейсных средств и алгоритмов программы достигнуто беспрецедентное сочетание высокой скорости приема статистических данных, рекордных объемов накапливаемой за цикл ускорителя полезной информации и полного отсутствия программного вмешательства ЭВМ центра в процесс считывания образов физических событий. Разработана и внедрена нестандартная методика определения источников информации и ее последующей сортировки при переменном размере массива данных в событиях.

Предложенная организация сбора данных позволила провести длительную серию экспериментов по измерениям в адрон-ядерных взаимодействиях уникально малых сечений кумулятивного рождения частиц (мезонов, протонов, барионных и простейших ядерных систем), обеспечив получение новых фундаментальных результатов по исследованию кварк-партоновой структуры ядер и двухчастичных pp -, pp -, dp - корреляций, а также выполнить эксперименты по измерению сечений упругого рассеяния легких ядер и ядерных реакций с образованием фрагментов.

5. В рамках работ по созданию и экспериментальному исследованию систем сверхпроводящих ускорителей релятивистских ядер с широким спектром масс впервые в странах-участницах ОИЯИ решен ряд задач автоматизации модельного сверхпроводящего синхротрона — установки СПИН, в том числе:

а) обоснован выбор общей структуры комплекса средств автоматизации сверхпроводящего синхротрона и применяемых в комплексе совместимых источников программ;

б) для теплового и холодного вариантов работы синхротрона созданы две версии аппаратного и математического обеспечения системы, осуществляющей генерацию

программируемых функций управления магнитами и линзами кольца с дистанционным приводом их источников питания, временную синхронизацию и программный запуск инжектирующих и прочих узлов ускорителя, а также проверку работоспособности перечисленных элементов по результатам измерений сигналов от их датчиков;

в) предложена, разработана и внедрена методика совместного обеспечения отказоустойчивости и многорежимности управления циклом синхротрона на основе промышленной микро-ЭВМ распространенного типа с автоматическим восстановлением нарушаемых при сбоях ЭВМ программ и документированием параметров текущего режима эксплуатации ускорителя.

С помощью созданной управляющей системы организованы длительные испытания синхротрона СПИН в различных режимах и достигнута многооборотная циркуляция пучка протонов в его камере. Полученный опыт обеспечения надежности системы использован при разработке комплекса средств контроля стримерной камеры спектрометра ГИБС.

6. Впервые в физических центрах стран-участниц ОИЯИ на модельном синхротроне СПИН решена методическая задача значимого увеличения производительности управляющей системы экспериментальной установки на основе внедрения многопроцессорной шины и модульной аппаратуры в стандарте VME (МЭК.821, IEEE P1014) с подключением ресурсов персонального компьютера.

Осуществленная с помощью шины VME модернизация пульта автоматизированной системы синхротрона СПИН позволила в 250-300 раз сократить длительность межциклового перестройки режима его работы, а также впервые в ОИЯИ создать прототип комплекса современных многопроцессорных средств контроля ускорителей заряженных частиц.

7. Предложен анализ способов обработки входного информационного потока в современных экспериментальных установках, действующих на пучках циклических ускорителей.

В рамках анализа определена специфика основных требований к средствам организации сбора данных по важнейшим критериям оценки их эффективности, выявлен ряд особенностей техники редуцирования входного объема информации и частоты запуска систем сбора данных с представлением их обобщенной структурно-функциональной схемы, а также особенностью обеспечения этих систем необходимыми вычислительными ресурсами.

8. Впервые на основе детального анализа характеристик существующих устройств связи модульной аппаратуры экспериментальных установок с магистралью UNIBUS ("Общая шина") предложен выбор типа подобных устройств, оптимально соответствующего условиям работы в составе средств контроля систем ускорителей.

9. Впервые в стране разработаны, созданы и применены в ряде установок ОИЯИ и сторонних учреждений аппаратура и программы обслуживания модулей, способных обеспечивать на основе унифицированных параллельных каналов передачи данных сопряжение промышленных ЭВМ семейств ЕС, СМ и других малых ЭВМ со сверхбольшими комплексами аппаратуры КАМАК.

Осуществлено создание аппаратно-программных средств сопряжения стандартных магистралей КАМАК и GPIB (IEEE 488), опередившее на несколько лет аналогичные отечественные разработки.

10. Разработан и создан комплект из более чем 30-ти типов ранее не существовавших в стране цифровых электронных модулей КАМАК и блоков широкого функционального назначения (регистров, интерфейсов измерительных приборов, адаптеров устройств ввода-вывода данных, формирователей и индикаторов сигналов, синхронизирующей консоли экспериментатора и др.), используемых в научных и прикладных исследованиях – в частности, для оснащения стендов, систем автоматизации технологических процессов, терминальных сетей ЭВМ и т.д.

Основные материалы диссертации опубликованы в работах:

1. Chernykh E.V., Efimov L.G., Issinsky I.B. et al. Construction of a JINR Proton Synchrotron Beam Parameters Monitoring and Control System in the CAMAC Standard On-Line with an ES-1010 Computer. - In: Proceedings of the Second International Symposium on CAMAC in Computer Applications (Brussels, Oct. 14-16, 1975). Luxembourg, Commission of the European Communities, EUR 5485 d-e-f, 1976, p. 463.
2. Булдаковский В.Н., Волков В.И., Елисеева И.А., Ефимов Л.Г. и др. Контроль и коррекция параметров системы медленного вывода пучка из синхрофазотрона ОИЯИ с использованием ЭВМ ЕС-1010 и ВТ-1010Б. - В кн.: Пятое Всесоюзное совещание по ускорителям заряженных частиц (Дубна, 5-7 октября 1976 г.): Аннот. докл. М., ЦНИИатоминформ, 1976, с. 79.
3. Волков В.И., Ефимов Л.Г., Иссинский И.Б. и др. Применение ЭВМ ЕС-1010 и ВТ-1010Б для контроля и управления параметрами медленного вывода пучка на синхрофазотроне ОИЯИ. - В кн.: I Всесоюзное совещание по автоматизации научных исследований в ядерной физике (Киев, 12-14 октября 1976 г.): Тез. докл. Киев, ИЯИ АН УССР, 1976, с. 63-64.
4. Волков В.И., Ефимов Л.Г., Колпаков И.Ф. и др. Многокредитная система в стандарте САМАК на линии с ЭВМ ЕС-1010. - В кн.: I Всесоюзное совещание по автоматизации научных исследований в ядерной физике (Киев, 12-14 октября 1976 г.): Тез. докл. Киев, ИЯИ АН УССР, 1976, с. 65-66.
5. Chernykh E.V., Efimov L.G., Kulikov I.I. et al. The Organization of a JINR Proton Synchrotron Beam Slow Extraction Parameter Monitoring and Control System in the CAMAC Standard On-Line with an US1010 Computer. -IEEE Trans. on Nucl. Science, 1977, Vol. NS-24, No. 6, p. 2561-2565.
6. Волков В.И., Ефимов Л.Г., Колпаков И.Ф. и др. Система контроля ряда параметров синхрофазотрона ОИЯИ на базе ЭВМ ЕС-1010 и ВТ-1010Б. - В кн.: Многомашинные системы автоматизации научных исследований: Тез. докл. Всесоюз. конф. Рига, Визинте, 1978, с. 58-59.
7. Волков В.И., Ефимов Л.Г., Иссинский И.Б. и др. Развитие системы контроля и управления параметрами пучка синхрофазотрона ОИЯИ в стандарте КАМАК на линии с ЭВМ ЕС-1010. - В кн.: IX Международный симпозиум по ядерной электронике (Варна, 5-9 мая 1977 г.): Сборн. докл. Дубна, ОИЯИ, 1978, с. 191-195.
8. Волков В.И., Ефимов Л.Г., Иссинский И.Б. и др. Контроль и управление параметрами медленного вывода пучка из синхрофазотрона на линии с ЭВМ ЕС-1010 и ВТ-1010Б. - В кн.: Труды седьмого всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц (Дубна, 14-16 октября 1980 г.): Сборн. докл. Дубна, ОИЯИ, 1980, т. II, с. 268-271.

9. Ефимов Л.Г. Интерфейс цифрового вольтметра EMG-1362 в стандарте КАМАК, тип ИВ-532. - Дубна, 1975. - 8 с. (Препринт / Объед. ин-т ядер. исслед.: 10-9062).
10. Булдаковский В.Н., Волков В.И., Ефимов Л.Г., Куликов И.И. Измерение параметров элементов системы медленного вывода пучка из синхрофазотрона на линии с ЭВМ ЕС-1010. - Дубна, 1979. - 16 с. (Сообщение / Объед. ин-т ядер. исслед.: 9-12149).
11. Ефимов Л.Г., Черных Е.В. Автономный блок управления универсальным драйвером ветви КАМАК для приема информации о пространственных характеристиках выведенного пучка. - Дубна, 1977. - 11 с. (Препринт / Объед. ин-т ядер. исслед.: 10-11108).
12. Ефимов Л.Г., Черных Е.В. Автономный блок управления для универсального драйвера ветви КАМАК. - ПТЭ, 1979, N 3, с. 90-93.
13. Волков В.И., Ефимов Л.Г., Куликов И.И. Управление параметрами системы медленного вывода пучка из синхрофазотрона на линии с ЭВМ ЕС-1010. - Дубна, 1980. - 10 с. (Сообщение / Объед. ин-т ядер. исслед.: 10-80-245).
14. Волков В.И., Ефимов Л.Г., Куликов И.И. Организация диалога оператор – ЭВМ в системе контроля и управления параметрами медленного вывода пучка из синхрофазотрона. - Дубна, 1980. - 8 с. (Сообщение / Объед. ин-т ядер. исслед.: 10-80-170).
15. Ефимов Л.Г., Крячко А.П. Входной релейный регистр ВРР-444 в стандарте КАМАК. - ПТЭ, 1975, N 3, с. 87-89.
16. Ефимов Л.Г. 4-адресный сканирующий контроллер для организации систем сбора данных на линии с ЭВМ СМ-3 и СМ-4 (аппаратура и программы обслуживания). - Дубна, 1983. - 17 с. (Сообщение / Объед. ин-т ядер. исслед.: 10-83-760).
17. Безногих Ю.Д., Василишин Б.В., Воеводин М.А., Волков В.И., Горченко В.М., Ефимов Л.Г., Куликов И.И., Простимкин Ю.В., Романов С.В., Сайфулин Ш.З. Автоматизированная система измерений и контроля основных параметров инжекционного комплекса синхрофазотрона. - В кн.: Труды X всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц (Дубна, 21 - 23 октября 1986 г.): Сборн. докл. Дубна, ОИЯИ, 1987, т. I, с. 68-70.
18. Айхнер Г., Алеев А.Н., Арефьев В.А., ... , Ефимов Л.Г. и др. Регистрирующая аппаратура спектрометра БИС-2 ОИЯИ. - Дубна, 1980. - 8 с. (Сообщение / Объед. ин-т ядер. исслед.: 10-80-433).
19. Айхнер Г., Алеев А.Н., Арефьев В.А., ... , Ефимов Л.Г. и др. Организация чтения и контроля информации при работе спектрометра БИС-2 на линии с ЭВМ ЕС-1040. - Дубна, 1980. - 12 с. (Сообщение / Объед. ин-т ядер. исслед.: 10-80-434).
20. Айхнер Г., Алеев А.Н., Арефьев В.А., ... , Ефимов Л.Г. и др. Бесфильмовый спектрометр БИС-2 и его физические характеристики. - Дубна, 1980. - 17 с. (Сообщение / Объед. ин-т ядер. исслед.: 1-80-644).
21. Алеев А.Н., Арефьев В.А., Баландин В.П., ... , Ефимов Л.Г. и др. Наблюдение очарованных баронов Λ_c^+ , рожденных в нейтронном пучке серпуховского ускорителя. Сотрудничество БИС-2: Берлин - Будапешт - Дубна - Москва - Прага - София - Тбилиси. - Ядерная физика, 1982, выпуск 5, том 35, с. 1175-1180.

22. Айхнер Г., Арефьев В.А., Гуськов Б.Н., Ефимов Л.Г. и др. Сопряжение ЭВМ с многокредитной установкой КАМАК в двухмашинном комплексе накопления данных и контроля аппаратуры бесфильмового искрового спектрометра. - В кн.: Многомашинные системы автоматизации научных исследований: Тез. докл. Всесоюз. конф. Рига, Зинатне, 1978, с. 59-60.
23. Ефимов Л.Г., Нгуен Фук, Смирнов В.А. Интерфейс программного канала ЭВМ ТРА-1001i для универсального драйвера ветви КАМАК. - Дубна, 1977. - 11 с. (Препринт / Объед. ин-т ядер. исслед.: 10-11157).
24. Ефимов Л.Г. Модуль связи магистралей КАМАК и GPIB (IEEE 488) для управления графической системой ТЕКТРОНИХ-4051. - Дубна, 1981. - 12 с. (Сообщение / Объед. ин-т ядер. исслед.: 10-81-571).
25. Ефимов Л.Г., Колпаков И.Ф., Нгуен Вьет Зунг и др. Интерфейсы ЭВМ в стандарте КАМАК, разработанные в ЛВЭ ОИЯИ. - Дубна, 1979. - 21 с. (Сообщение / Объед. ин-т ядер. исслед.: 13-12170).
26. Белякова М.П., Дыдышко В.Ф., Ефимов Л.Г. и др. Модули КАМАК (выпуск 1). - Дубна, 1985. - 30 с. (Сообщение / Объед. ин-т ядер. исслед.: P10-85-631).
27. Ефимов Л.Г., Смирнов В.А. Интерфейс дисплея ВТ-340 в стандарте КАМАК, тип ИДВ-571. - Дубна, 1975. - 13 с. (Препринт / Объед. ин-т ядер. исслед.: 10-8831).
28. Алеев А.Н., Арефьев В.А., Баландин В.П., ... , Ефимов Л.Г. и др. Система сбора данных спектрометра БИС-2. - Дубна, 1987. - 13 с. (Сообщение / Объед. ин-т ядер. исслед.: P10-87-272).
29. Алеев А.Н., Арефьев В.А., Баландин В.П., ... , Ефимов Л.Г. и др. БИС-2 - спектрометр для поиска и исследования узких резонансов. Сотрудничество БИС-2. - ПТЭ, 1991, N 1, с. 50-60.
30. Ефимов Л.Г., Крячко А.П., Садовников В.Н. Комплекс аппаратных и программных средств для организации работы ЕС ЭВМ на линии с экспериментальными установками. - Дубна, 1980. - 8 с. (Препринт / Объед. ин-т ядер. исслед.: 10-80-224).
31. Ефимов Л.Г. Периферийные аппаратные средства управления драйвером физической установки на линии с ЕС ЭВМ. - Дубна, 1980. - 13 с. (Препринт / Объед. ин-т ядер. исслед.: 10-80-256).
32. Ефимов Л.Г. Модули управления аппаратурой физической установки на линии с в.в.м.-ЕС. - ПТЭ, 1983, N 3, с. 68-74.
33. Водопьянов А.С., Авдейчиков В.В., Бавижев М.Д., ... , Ефимов Л.Г. и др. Спектрометр для исследования каналирования протонов с энергией 8,4 Гэв в монокристаллах. - ПТЭ, 1981, N 2, с. 36-42.
34. Бабылев С.Н., Ефимов Л.Г., Колпаков И.Ф. и др. Организация экспериментов релятивистской ядерной физики на линии с ЭВМ ЕС-1040 в ЛВЭ ОИЯИ. - Дубна, 1983. - 7 с. (Сообщение / Объед. ин-т ядер. исслед.: 10-83-276).
35. Ефимов Л.Г., Крячко А.П., Мороо Н.С. и др. Организация сбора данных при исследовании кумулятивного рождения частиц в экспериментах на линии с ЭВМ ЕС-1040. - Дубна, 1985. - 9 с. (Сообщение / Объед. ин-т ядер. исслед.: P10-85-105).
36. Ефимов Л.Г., Оплавин В.С., Садовников В.П., Павловски М. Организация сбора данных со спектрометра легких ядер на линии с ЕС ЭВМ. - Дубна, 1988. - 12 с. (Сообщение / Объед. ин-т ядер. исслед.: P10-88-885).
37. Ефимов Л.Г., Колпаков И.Ф., Слепнев В.М. и др. Автоматизированная система в проекте модельного сверхпроводящего синхротрона. - Дубна, 1983. - 11 с. (Сообщение / Объед. ин-т ядер. исслед.: 10-83-592).
38. Ефимов Л.Г., Колпаков И.Ф., Лобанов В.И. и др. Система управления сверхпроводящим модельным синхротроном. - В кн.: Девятое всесоюзное совещание по ускорителям заряженных частиц (Дубна, 16-18 октября 1984 г.): Аннот. докл. Дубна, ОИЯИ, 1984, с. 59-60.
39. Бабылева Н.П., Ефимов Л.Г., Колпаков И.Ф. и др. Система автоматизации модельного сверхпроводящего синхротрона. - В кн.: Труды десятого всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц (Дубна, 21-23 октября 1986 г.): Сборн. докл. Дубна, ОИЯИ, 1987, т. I, с. 92-95.
40. Chernykh E.V., Efimov L.G., Kolpakov I.F., Smirnov V.A. VMEbus in Relativistic Nuclei Research and Control Tasks. - Microprocessing and Microprogramming (The Euromicro Journal), 1987, Vol. 20, p. 65-67.
41. Ефимов Л.Г., Колпаков И.Ф., Парфенов А.И. и др. Применение микро-ЭВМ для управления циклом модельного сверхпроводящего синхротрона в режиме теплых испытаний. - В кн.: XII Международный симпозиум по ядерной электронике (Дубна, 2-6 июля 1985 г.): Аннот. докл. Дубна, ОИЯИ, 1985, с. 89-90.
42. Ефимов Л.Г., Маньяков П.К., Парфенов А.И. и др. Организация управления циклом модельного сверхпроводящего синхротрона в режиме теплых испытаний. - В кн.: Труды десятого всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц (Дубна, 21-23 октября 1986 г.): Сборн. докл. Дубна, ОИЯИ, 1987, т. I, с. 96-99.
43. Бабылева Н.П., Бабылев С.Н., Ефимов Л.Г. и др. Применение шины VME и персонального компьютера Правец-16 в подсистеме управления циклом сверхпроводящего синхротрона. - В сб.: Краткие сообщения ОИЯИ. Дубна, ОИЯИ, 1987, N 6 [26]-87, с. 12-16.
44. Бабылева Н.П., Ефимов Л.Г., Пасевич К. и др. Организация на основе микро-ЭВМ MERA-60 (Электроника-60) отказоустойчивого управления циклом сверхпроводящего синхротрона. - Дубна, 1987. - 12 с. (Препринт / Объед. ин-т ядер. исслед.: P10-87-871); В кн.: Одиннадцатое всесоюзное совещание по ускорителям заряженных частиц (Дубна, 25-27 октября 1988 г.): Аннот. докл. Дубна, ОИЯИ, 1988, с.25.
45. Бабылева Н.П., Ефимов Л.Г., Пасевич К. и др. Организация на основе микро-э.в.м. "MERA-60" ("Электроника-60") отказоустойчивого управления циклом сверхпроводящего синхротрона. - ПТЭ, 1989, N 4, с. 88-94.
46. Бабылева Н.П., Бабылев С.Н., Ефимов Л.Г. и др. Системы и модули в стандартах VME и FASTBUS Лаборатории высоких энергий. - В кн.: V Всесоюзный семинар по автоматизации исследований в ядерной физике и смежных областях (Ташкент, 15-17 июня 1988 г.): Тез. докл. Ташкент, Фан, 1988, с. 70-71.

Рукопись поступила в издательский отдел
23 марта 1993 года.