

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

С-143

10-84-133

УДК 681.3

САДОВНИКОВ
Вольдемар Николаевич

**СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ФИЗИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ОИЯИ
НА ЛИНИИ С УНИВЕРСАЛЬНЫМИ ЭВМ**

Специальность: 01.04.01 - экспериментальная физика

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

Дубна 1984

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий
Объединённого института ядерных исследований

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук,
старший научный сотрудник

Леонид Степанович
АЖИРЕЙ

доктор физико-математических наук,
старший научный сотрудник

Владимир Иванович
РЫКАЛИН

Ведущая организация: Научно-исследовательский институт
ядерной физики МГУ, Москва

Защита диссертации состоится "___" _____ 1984 г. в ___ час.
на заседании специализированного совета Д.047-01-02 при Лаборатории
высоких энергий Объединённого института ядерных исследований,
г. Дубна, Московская область, Лаборатория высоких энергий, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЛВЭ ОИЯИ.

Автореферат разослан "___" _____ 1984 г.

Учёный секретарь

специализированного совета *М.Ф. Лихачёв* М.Ф. ЛИХАЧЁВ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

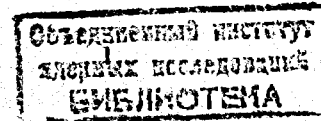
Представляемая диссертация основана на материалах исследований и разработок, выполненных автором за период 1965-83 гг. в ОИЯИ. Она посвящена созданию и развитию средств обеспечения систем реального времени для использования универсальных ЭВМ второго и третьего поколений в экспериментах, проводимых на физических установках ОИЯИ на основе электронной методики.

Актуальность работы. Электронная (бесфильмовая) методика является одной из основных для проведения экспериментальных исследований в физике высоких энергий. Создаваемые на её основе экспериментальные системы включают в себя детектирующую и регистрирующую аппаратуру (экспериментальная установка), оснащённую соответствующим аппаратно-программным обеспечением ЭВМ, работающую в реальном масштабе времени в режиме непосредственной связи с установкой. При проведении электронных экспериментов для решения задач управления оборудованием, сбора, накопления и обработки данных физических измерений, контроля эксперимента используются как специализированные, так и универсальные ЭВМ.

К середине 60-х годов в период становления бесфильмовой методики наша промышленность не производила специализированных малых вычислительных машин, а использование серийно выпускаемых универсальных ЭВМ было связано с необходимостью их приспособления к экспериментальной аппаратуре для решения вышеуказанных задач.

Создание экспериментальных систем на базе универсальных ЭВМ показало, что сопряжение их с экспериментальной аппаратурой и между собой представляло сложную задачу (особенно с ЭВМ второго поколения). Прежде всего, требовались модернизация второго поколения ЭВМ, разработка и реализация блоков, устройств и средств связи, разработка алгоритмов сопряжения и специальных команд управления прерыванием программ и обменом информацией, а также разработка оптимальных алгоритмов математического обеспечения реального времени эксперимента с учетом специфики установок и возможностей ЭВМ, необходимость создания и внедрения дополнительного оборудования и соответствующего программного обеспечения для более полного использования вычислительных ресурсов ЭВМ и расширения функциональных возможностей каналов ввода-вывода.

Таким образом, неприспособленность универсальных ЭВМ и уникальность свойств конкретных экспериментальных установок определили необходимость создания указанных средств обеспечения систем реального времени для использования ЭВМ в экспериментах ОИЯИ. Создание этих средств явилось актуальной задачей, решение которой потребовало специальных исследований и разработок аппаратуры, команд и микрокоманд, алгоритмов сопряжения и программ реального времени.



Целью работы явились разработка и реализация комплексов аппаратно-программных средств и алгоритмов математического обеспечения систем реального времени для использования универсальных ЭВМ БЭСМ-3М^{/1/}, БЭСМ-4 и ЕС-1040 в экспериментальных исследованиях на линии с физическими установками и приборами ОИЯИ. Требования максимального использования вычислительных ресурсов и расширения функциональных возможностей каналов ввода-вывода и ЭВМ, а также эффективного функционирования экспериментальных систем привели к необходимости создания дополнительного оборудования и программного обеспечения, к разработке микропрограммных средств и ряда функциональных алгоритмов программ реального времени, обеспечивающих сбор, накопление экспериментальных данных и управление прохождением различных процессов при работе физической установки на этапе измерений.

Научная новизна. Разработан и исследован ряд новых оптимальных структур средств связи и систем прерывания, алгоритмов сопряжения и набора команд; созданы комплексы средств обеспечения для проведения физических экспериментов в реальном времени и отработана методика использования универсальных ЭВМ на линии с экспериментальной аппаратурой.

Разработаны принципиально новые схемные решения для расширения оперативной памяти и организации совмещенного режима работы процессора БЭСМ-4 с каналами прямого доступа. Впервые для ЭВМ класса БЭСМ-4 создан программно-управляемый канал ввода-вывода с логикой сопряжения каналов ЕС ЭВМ, что обеспечило подключение к БЭСМ-4 современных устройств ввода-вывода и других ЭВМ.

Впервые разработан унифицированный набор микрокоманд, который реализован в аппаратных средствах и расширяет функциональные и логические возможности селекторного канала ЕС ЭВМ, позволяя организовать его работу в мультиплексном режиме с несколькими внешними объектами без обращения к центральному процессору.

Разработан и реализован ряд новых оптимальных алгоритмов программ реального времени для проведения экспериментов, обеспечивающих эффективное использование дорогостоящего оборудования и времени физических установок и ресурсов ЭВМ. Это позволило впервые в Советском Союзе и других странах-участницах ОИЯИ использовать универсальную ЭВМ ЕС-1040 в реальном масштабе времени в режиме непосредственной связи с экспериментальными установками физики высоких энергий ОИЯИ^{/9/}.

Исследованы принципиально новые вопросы максимального использования ресурсов ЭВМ ЕС-1040 и микропрограммного контроллера канала для обеспечения эффективного сбора экспериментальных данных во время сброса пучка ускорителя и предоставления физико-экспериментатору возможности оперативного общения с ЭВМ при помощи терми-

нальных устройств. На основе проведенных исследований впервые созданы алгоритмы унифицированного математического обеспечения микропрограммного контроллера канала ЕС ЭВМ и методика его использования для обмена информацией со скоростью 1,25 Мбайт/с между оперативной памятью ЭВМ ЕС-1040 и экспериментальной физической аппаратурой^{/19/}.

Реализация и практическая ценность. Результаты проведенных исследований и разработанные комплексы средств обеспечения универсальных ЭВМ и отработанная методика их использования нашли применение в целом ряде экспериментальных систем, характеризующихся различными режимами функционирования, разнообразным составом и организацией экспериментального оборудования, качественно различными величинами и характеристиками информационных потоков.

Созданный канал ввода-вывода^{/1/} и система прерывания^{/2/} позволили впервые в СССР и других странах-участницах ОИЯИ использовать БЭСМ-3М на линии с бесфильмовым спектрометром из искровых камер с магнитострикционным считыванием^{/24/}. Спектрометр проработал на пучке П⁻-мезонов синхрофазотрона 10 ГэВ ЛВЭ около 1000 часов, было зарегистрировано около 3×10^7 событий. С помощью указанных средств было обеспечено подключение к БЭСМ-3М группы измерительных полуавтоматов типа ПУОС ЛВЭ^{/25/} и проведение экспериментов на линии с установкой из проволочных искровых камер с ферритовым считыванием в пучке нейтральных частиц и с бесфильмовым спектрометром из искровых камер, регистрирующего распад $K^0 \rightarrow P^+ P^-$ на ускорителе ЛВЭ. Созданный программный контроллер канала ввода-вывода^{/7/} обеспечил подключение к БЭСМ-3М стандартного накопителя на магнитной ленте типа СДС-608 и дисплея со световым карандашом и проведение экспериментов на линии с ЭВМ в режиме разделения времени с несколькими физическими установками высоких энергий ОИЯИ на синхротроне 70 ГэВ ИФВЭ (Серпухов) с многопараметровой установкой по исследованию упругого рассеяния протонов на протонах в интервале энергий 1-70 ГэВ; со спектрометрами БИС по исследованию регенерации на веществе короткоживущих каонов долгоживущими и БИС-1 по поиску частиц с неравным нулю новым квантовым числом.

ЭВМ БЭСМ-4, оснащенная созданными средствами управления прерыванием^{/4/} и обменом информацией^{/5/} используется в системе измерительных полуавтоматов ПУОС ЛВТА (ОИЯИ). Реализованные каналы связи^{/6/} обеспечили проведение экспериментов БЭСМ-4: со сканирующим автоматом на электронно-лучевой трубке ЛВТА; с многоканальными анализаторами на импульсном реакторе ИБР-2 измерительного центра ЛНФ^{/26/}; на ускорителе ЛВЭ со спектрометрами: по исследованию адронов и релятивистских ядер; по исследованию кумуля-

тивного рождения частиц. На установке АЛЬФА^{/27/} в ходе проведения экспериментов было зарегистрировано более $2,5 \times 10^6$ высококачественных стереомагнитографий.

Созданные компоненты средств сопряжения^{/9,10/} и алгоритмы математического обеспечения программного контроллера позволили использовать ЭВМ ЕС-1040 в процессах контроля и сбора экспериментальных данных с бесфильмового спектрометра БИС-2, работающего в пучке нейтральных частиц серпуховского ускорителя^{/28/}. В ходе проведения экспериментов с установкой БИС-2 зарегистрировано около 23 миллионов стереомагнитографий, обработка которых позволила получить ряд новых научных результатов^{/29/}.

Созданные компоненты технических средств и алгоритмов математического обеспечения микропрограммного контроллера канала ЕС ЭВМ^{/16/} получили практическое применение в экспериментальных системах ОИЯИ: для продолжения цикла исследований по кумулятивному рождению частиц^{/22/}; для исследования фрагментации ядер, — работающие на ускорителе Лаборатории высоких энергий; БИС-2 для продолжения программы физических исследований, осуществлявшихся системой БИС-1 на ускорителе Института физики высоких энергий. На установке БИС-2 с помощью микропрограммного контроллера канала в течение трёх сеансов зарегистрировано большое количество статистического материала (около 40 миллионов событий), находящегося в настоящее время в стадии обработки.

Созданные автором комплексы средств обеспечения систем реального времени успешно использовались и используются в течение многих лет при проведении экспериментов на линии с вышеуказанными ЭВМ: БЭСМ-3М на ускорителе Лаборатории высоких энергий ОИЯИ с 1965 по 1968 годы и на серпуховском ускорителе с 1969 по 1976 годы; БЭСМ-4 — в Лаборатории вычислительной техники и автоматизации ОИЯИ с 1968 года по настоящее время, — в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ с 1969 по 1981 годы, — в ЛВЗ с 1969 по 1979 годы; ЕС-1040 на серпуховском ускорителе с 1977 года по настоящее время; ЕС-1040 в ЛВЗ с 1978 года по настоящее время.

Апробация работ и публикации. Основные результаты диссертации опубликованы в работах^{/1-29/}. Результаты проведенных работ обсуждены на семинарах ОИЯИ и доложены на: Совещании по искровым камерам (Дубна, 1966); Международной конференции по аппаратуре для физики высоких энергий (Стенфорд, 1966); IV Симпозиуме по радиоэлектронике (Прага, 1967); Совещании по проблемам автоматизации обработки информации с использованием вычислительных машин (Дубна, 1967); I и II Международных школах по применению ЭВМ в задачах экспериментальной физики (Алуш-

та, 1968 и 70); I Всесоюзном совещании по автоматизации научных исследований в ядерной физике (Киев, 1976); II Всесоюзном симпозиуме по модульным информационно-вычислительным системам (Дубна, 1978); XII Всесоюзной школе по автоматизации научных исследований (Бакуриани, 1978); а также опубликованы в журналах НИМ, ЯФ, ПТЭ и сообщениях ОИЯИ.

Структура диссертации отвечает избранной теме, содержанию и требованиям цельности и объёма излагаемого материала. Она состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложения и содержит всего 168 страниц. Из них: 144 стр. текста с рис. и табл.; 16 стр. литературы из 135 названий и 8 стр. приложения (рис. и табл.).

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении даётся характеристика электронных экспериментов физики высоких энергий и их основные факторы, определяющие необходимость включения в состав экспериментального оборудования ЭВМ, которая при наличии средств обеспечения систем реального времени в значительной степени решает указанные проблемы. Отмечаются основные преимущества бесфильмовой методики, способствующие прогрессу в развитии экспериментальной аппаратуры и возрастанию роли ЭВМ, работающей в режиме непосредственной связи с физической установкой. В связи с этим обосновывается актуальность представляемой тематики. Формулируются цели работ, отмечается их научная новизна и практическая ценность, указывается вклад автора диссертации и даётся краткое содержание её по главам.

Первая глава посвящена аспектам развития систем реального времени, используемых для физических исследований. Рассматриваются основные причины широкого использования ЭВМ в физических экспериментах, особенности экспериментальных установок и определяется их принадлежность к классу сложных систем.

Многообразие решаемых физических задач, разнородность используемой экспериментальной аппаратуры, применение различных средств вычислительной техники и многие другие факторы затрудняют унификацию средств обеспечения систем реального времени. Анализ задач этих средств и предъявляемых к ним требований способствует разработке и реализации оптимальных комплексов аппаратурно-программного обеспечения экспериментальных систем и используется при проведении унификации алгоритмов и модулей.

Проводится сравнительный анализ ряда крупных многоцелевых экспериментальных систем, работающих на линии с различного класса ЭВМ в реальном масштабе времени на ускорителях в физических исследовательских центрах за рубежом и в Советском Союзе, в том числе в ОИЯИ.

Обсуждаются функции средств обеспечения систем реального времени и задачи, решаемые с помощью ЭВМ.

Проводится анализ требований, которые должен выполнять комплекс программ как одно из основных средств обеспечения систем реального времени для организации эффективного использования потенциальных возможностей экспериментального оборудования и ресурсов ЭВМ.

Рассмотрена типовая структура комплекса программ реального времени, которая позволяет организовать сбор, накопление и обработку экспериментальных данных с физических установок в режиме непосредственной связи с ЭВМ.

Вторая глава посвящена научно-методическим вопросам выбора оптимальных структур и расчёту характеристик средств обеспечения систем реального времени, которые позволяют проводить теоретические оценки основных показателей и параметров передачи данных в физических экспериментах на линии с ЭВМ, и ряд других требуемых решений при разработке новой аппаратуры и алгоритмов программ для более качественного и эффективного использования ЭВМ на линии с экспериментальными установками. Рассмотрена математическая модель средств обеспечения систем реального времени. Исследование этих средств, исходя из модели, необходимо начинать с анализа требований к экспериментальным установкам (входные и выходные данные) и внутренних параметров средств обеспечения (скорость и способ передачи по линиям связи, алгоритмы функционирования аппаратурно-программных средств и др. параметров) с учётом характеристик внешнего воздействия и технических решений.

Особое внимание уделяется анализу показателей и параметров, характеризующих качество и эффективность передачи данных в физических экспериментах на линии с ЭВМ. Определяются требования к особенностям информации. Даются определения и функциональные представления входящего потока сообщений, на основе которых можно оценить его характеристики (распределения по времени) в системах передачи. Рассматриваются основные показатели (надёжность, пропускная способность, объём и время обслуживания сообщения и старение сообщений) систем передачи данных, приводятся их расчёты. Оценивается достоверность передачи данных, характеризуемая коэффициентом ошибок. Приводится экспериментальное определение величины коэффициента ошибок и оценивается время, необходимое для регистрации количества ошибок. Полученная в результате расчёта величина коэффициента ошибок составляет $10^{-6} + 10^{-9}$, т.е. требования к достоверности передачи данных для физических экспериментов на линии с ЭВМ совпадают с общими требованиями к таким системам.

Рассматривается общий алгоритм функционирования и параметры системы прерывания. Приводится классификация всех условий (сигналов),

вызывающих прерывания выполнения текущей программы ЭВМ. Приведена схема общего алгоритма функционирования системы прерывания, на основе которого выполняется программа обработки прерывания. Рассмотрены способы определения моментов прерывания текущей программы ЭВМ и приведены временные соотношения между этапами обработки сигналов прерывания, определяющие характеристики системы прерывания.

Приводится алгоритм программной организации ведения архива информации на ЭВМ, на основе которого даётся оценка временных параметров и загрузки БЭСМ-4 в режиме приёма и накопления экспериментальных данных с многоканальных анализаторов^{/27/}. Приведены зависимости загрузки ЭВМ от потока спектрометрической информации, поступающей с анализаторов. Даны количественные загрузки БЭСМ-4 при выполнении операций приёма и обработки массивов экспериментальных данных с анализаторов. Приводятся зависимости числа анализаторов от пропускной способности и общего количества регистрируемых трактов.

Проводится теоретический расчёт эффективности сбора экспериментальных данных. Определяется основной критерий эффективности подсистемы сбора данных. Для количественной оценки этого критерия введена величина коэффициента готовности, который по своей сути определяет вероятность обслуживания сообщений подсистемой сбора данных. Дается анализ параметров, влияющих на величину коэффициента готовности, и показывается, что перспективным путём повышения эффективности сбора экспериментальных данных является снижение величины непроизводительных затрат на время обслуживания сообщений блоками операционной системы ЭВМ.

Рассматриваются алгоритмы выборочной обработки информации, принятой с экспериментальной аппаратуры, которые реализуются в различных комплексах программ реального времени. Приведены основные требования, которые должен обеспечить алгоритм выборочной обработки экспериментальной информации. Рассмотрено несколько алгоритмов комплекса программ реального времени, отмечены их достоинства и недостатки. Приводится сравнительная оценка эффективности традиционного и нового алгоритмов и даны их функциональные зависимости, построение которых производилось методом Монте-Карло. Приведенные результаты исследований, полученные при математическом моделировании традиционного и нового алгоритмов, свидетельствуют о том, что новый алгоритм позволяет в 1,2-1,5 раза повысить скорость обработки экспериментальных данных. Это, соответственно, увеличивает эффективность подсистемы оперативного контроля качества функционирования экспериментальной физической установки на линии с ЭВМ в реальном масштабе времени.

В третьей главе рассмотрены вопросы организации и методика ис-

пользования комплексов устройств и программных средств обеспечения универсальных ЭВМ второго поколения в физических экспериментах ОИЯИ. Обосновывается выбор ЭВМ и актуальность задач модернизации, разработки и создания комплексов средств обеспечения ЭВМ для проведения экспериментов на линии с физическими установками и приборами ОИЯИ.

Для проведения экспериментов на базе БЭСМ-3М разработаны устройства непосредственного ввода-вывода^{/1/} и система прерывания^{/2/}. Рассмотрены организации режимов ввода-вывода и системы прерывания и их характеристики.

Рассматриваются функции и структура программного контроллера канала ввода-вывода^{/7/}, созданного для подключения магнитофона СДС-608 и дисплея и для организации работы (в режиме разделения времени) с несколькими физическими установками на линии с БЭСМ-3М на ускорителе ИФВЭ (Серпухов).

Для использования БЭСМ-4 в задачах регистрации спектрометрической информации с физических установок ОИЯИ созданы комплексы аппаратно-программных средств обеспечения систем реального времени. Рассмотрены особенности поступления спектрометрической информации с экспериментальных установок. Рассматриваются общие принципы организации и приводятся характеристики: средств управления прерыванием^{/4/} и обменом информацией^{/5/}; канала связи, с помощью которого на базе БЭСМ-4 созданы экспериментальные системы приёма, накопления и обработки данных с многоканальных анализаторов физики низких энергий^{/26/} и со спектрометров физики высоких энергий^{/20,27/}; логики расширения оперативной памяти и совмещённого режима работы процессора БЭСМ-4 с каналами прямого доступа, по которым в памяти ЭВМ с минимальными временными затратами регистрируется поступающая с установок спектрометрическая информация; программно-управляемого канала ввода-вывода^{/3/}, обеспечивающего подключение к БЭСМ-4 через созданные контроллеры с помощью соответствующего программного обеспечения магнитофонов типа ЕС-5012 (в ЛВЭ)^{/20/} и СДС-608 (в ЛНФ)^{/3/}, а через специальный блок дальнейшей связи - ЭВМ ТРА-1001 и БЭСМ-6^{/8/}. Последнее подключение позволило во время эксперимента проводить обработку спектрометрической информации, принятой в БЭСМ-4 с многоканальных анализаторов ЛНФ.

Четвёртая глава посвящена вопросам использования комплекса аппаратно-программных средств сопряжения^{/9,10/} в процессах контроля и сбора данных с бесфильмового спектрометра БИС-2 на линии с ЭВМ ЕС-1040. Обосновывается выбор и актуальность создания программного контроллера ЭВМ ЕС-1040 для работы на линии со спектрометром БИС-2.

Рассматриваются принципы организации программного контроллера сопряжения спектрометра БИС-2 с ЭВМ ЕС-1040^{/11/}. Описывается функцио-

нальное назначение и структурная организация компонентов контроллера: аппаратных средств^{/12/}, командных средств^{/13/} и средств внешнего интерфейса ввода-вывода^{/14/}, которые под управлением канальной программы обеспечивают функции управления, контроля и обмена информацией между экспериментальной аппаратурой БИС-2 и оперативной памятью ЭВМ ЕС-1040. Даются оценка времени выполнения последовательностей цепочек команд.

Описываются принципы использования контроллера в организации сбора и контроля информации со спектрометра БИС-2 на линии с ЭВМ ЕС-1040^{/28/}. Приводится состав и описание организации системного крейта установки БИС-2. Рассмотрены управление приёмом и организация передачи данных в ЭВМ, организация контроля работы аппаратуры и хода эксперимента. Приводится характеристика чтения информации с установки.

Проведен анализ алгоритма программного обеспечения контроллера для организации процессов контроля и сбора данных с экспериментальной аппаратуры БИС-2 на линии с ЭВМ ЕС-1040. Реализованная подсистема сбора данных обеспечивает управление передачей данных, приём информационных массивов, управление опросом источников информации, контроль передающей и регистрирующей аппаратуры.

В пятой главе рассмотрены средства обеспечения систем реального времени для использования ЕС ЭВМ в физических экспериментах. Обосновывается актуальность создания нового быстродействующего комплекса средств сопряжения спектрометров физики высоких энергий с ЭВМ ЕС-1040.

Приводятся структура и организация комплекса средств сопряжения, позволяющего на базе микропрограммного контроллера (микроконтроллера) канала ЕС ЭВМ проводить работу ЭВМ ЕС-1040 в режиме разделения времени на линии с несколькими (до 8) экспериментальными установками^{/15/}.

Описываются принципы организации и функциональные характеристики микроконтроллера^{/16/}. Описаны байты основного и уточнённого состояний и способы завершения выполнения команд и микрокоманд абонента в микроконтроллере. Рассматривается функциональное назначение и структурная организация компонентов микроконтроллера: аппаратных средств^{/17/} и программных средств^{/18/}, на основе которых канальная программа и микропрограмма, заданная набором цепочек команд и микрокоманд, находящихся в оперативной памяти канала, обеспечивают возможность организации гибкой и оперативной работы канала ввода-вывода ЭВМ ЕС-1040 на линии с экспериментальной аппаратурой.

Рассматривается методика использования микроконтроллера на базе комплекса программ реального времени в экспериментах, проводимых на пучке ускорителя 10 ГэВ с физическими установками высоких энергий в режиме непосредственной связи с ЭВМ ЕС-1040^{/22/}.

Приводятся алгоритм и методика использования унифицированного программного обеспечения микроконтроллера^{/23/}, созданного на основе базисного матобеспечения и максимально учитывающего как возможности микроконтроллера, так и специфику конкретных физических экспериментов. Приведена характеристика базисного матобеспечения и рассмотрена унифицированная система, состоящая из программы обмена и канальной программы микроконтроллера, которые являются самостоятельными подзадачами по отношению к программам системы сбора и обработки. Описывается программа для проверки и отладки экспериментальной аппаратуры, линий связи и микроконтроллера. Приводятся основные характеристики унифицированной системы микроконтроллера.

Описываются алгоритмы последовательностей обслуживания экспериментов микроконтроллером и их характеристики. Приведены спецификации сигналов микроконтроллера, операций управления и режимов работы периферийного интерфейса, обеспечивающие функции управления и обмена информацией на линии. Рассмотрены алгоритмы последовательностей взаимодействия центрального (микроконтроллер и ЭВМ) и периферийного (интерфейс и экспериментальная аппаратура) устройств. Приведены временные оценки и характеристики микроконтроллера.

Заключение. Представляемая диссертация посвящена методике использования универсальных ЭВМ второго и третьего поколений в физических экспериментах на базе созданных комплексов средств обеспечения систем реального времени. Она обобщает материалы работ, заключающиеся в исследовании, разработке и реализации комплексов аппаратурно-программных средств и алгоритмов математического обеспечения универсальных ЭВМ для организации их работы в реальном масштабе времени в режиме непосредственной связи с экспериментальными физическими установками.

Основные результаты представленных в диссертации работ можно сформулировать следующим образом.

1. Для ЭВМ БЭСМ-3М создан комплекс устройств, в составе которого разработаны и реализованы: канал ввода-вывода, который обеспечил проведение первого в СССР и других странах-участницах ОИЯИ эксперимента с бесфильмовым спектрометром из искровых камер с БЭСМ-3М на синхротроне 10 ГэВ ЛВЭ и подключение к БЭСМ-3М измерительных полуавтоматов; программный контроллер, который позволил подключить к БЭСМ-3М магнитофон СДС-608, дисплей со световым карандашом и несколько экспериментальных установок ОИЯИ и обеспечил сбор, накопление и обработку данных с них на синхротроне 70 ГэВ ИФВЭ (Серпухов).

2. Созданы комплексы средств обеспечения ЭВМ БЭСМ-4 и отработана методика их использования на линии с экспериментальными установками

ОИЯИ. В составе комплекса разработаны и реализованы: устройства управления обменом информацией и прерыванием программ, которые обеспечили использование БЭСМ-4 в полуавтоматической системе измерения и обработки флюидной информации ЛВТА; канал связи, блоки для расширения и синхронизации работы процессора с каналами прямого доступа, которые обеспечили работу трёх ЭВМ БЭСМ-4 с установками высоких энергий на ускорителе ЛВЭ и низких энергий (с многоканальными анализаторами) на реакторе ЛНФ, а также со сканирующим автоматом на электронно-лучевой трубке ЛВТА; программно-управляемый канал, совместимый по логике сопряжения с каналом ЕС ЭВМ, но с более расширенными возможностями (логическими, функциональными и диагностическими) и с совмещёнными режимами селекторного и мультиплексного каналов, с помощью которых он обеспечил подключение к БЭСМ-4 новых устройств ввода-вывода и других ЭВМ; контроллер и программное обеспечение магнитофонов ЕС-5012 для работы БЭСМ-4 через программно-управляемый канал; набор тестовых программ для диагностики сбоев и контроля работы электронной аппаратуры связи БЭСМ-4 с экспериментом.

3. Создан программный контроллер канала ЕС ЭВМ, который впервые в СССР и других странах-участницах ОИЯИ обеспечил проведение экспериментов ЭВМ ЕС-1040 с уникальной физической установкой БИС-2^{/29/} на ускорителе ИФВЭ. При этом разработаны и реализованы модули сопряжения канала ЕС ЭВМ с периферийным устройством и алгоритмы средств сопряжения и набора команд для организации работы ЭВМ ЕС-1040 на линии с экспериментальной установкой БИС-2.

4. Разработан и реализован алгоритм программного обеспечения контроллера для организации процессов управления и сбора данных со спектрометра БИС-2 на линии с ЭВМ ЕС-1040. Программы, реализующие алгоритм, обеспечивают контроль экспериментального оборудования, локализацию его отказов и эффективное использование оперативной памяти. Особенностью данного алгоритма является активное управление процессом опроса источников информации.

5. Создан микропрограммный контроллер (микроконтроллер) канала ЕС ЭВМ и отработана методика его использования с каналом для обеспечения работы ЭВМ ЕС-1040 с физическими установками высоких энергий ОИЯИ и с терминальными устройствами, входящими в состав экспериментального оборудования. В составе микроконтроллера разработаны и реализованы набор модулей сопряжения и управления-микроуправления, алгоритмы средств сопряжения на линии и набора команд-микрокоманд управления и обмена, анализа и диагностики. Созданные компоненты микроконтроллера значительно расширили логические и функциональные возможности канала и позволили его использовать в мультиплексном режиме без обра-

щения к процессору, что обеспечило качественно новый уровень в организации работы ЭВМ ЕС-1040 с экспериментальными установками высоких энергий и повысило скорость и статистику набора данных физических измерений.

6. Разработаны и реализованы алгоритмы программы реального времени для организации работы микроконтроллера с экспериментальной установкой ДИСК-2^{22/} по исследованию кумулятивного рождения частиц и с другими установками на ускорителе ЛВЗ на линии с ЭВМ ЕС-1040.

Программы, реализующие алгоритмы, обеспечивают управление аппаратурой передачи данных, приём их с требуемых источников информации и оформление в виде динамических структур. Максимальная скорость съёма информации с экспериментальной аппаратуры достигается за счёт реализации алгоритма работы канальной программы без обращения к центральному процессору ЭВМ ЕС-1040.

7. Созданы алгоритмы унифицированного математического обеспечения микроконтроллера канала для обмена информацией между ЭВМ ЕС-1040 и экспериментальной аппаратурой. На основе алгоритмов реализованы программа обмена и канальная программа микроконтроллера, которые успешно используются в физических экспериментах с установками ДИСК-2 и БИС-2, а также могут быть использованы в комплексе программ реального времени новых многорежимных экспериментальных систем.

8. В составе унифицированного математического обеспечения реализована программа для проверки и отладки аппаратуры эксперимента. Программа обеспечивает диагностику сбоев и контроля работы микроконтроллера, линии и аппаратуры связи и включает в себя канальную программу, дополненную функциями отладки, программу обмена и программу для управления командами и выдачи диагностики.

9. Опыт реализации и эксплуатации созданных автором комплексов средств обеспечения систем реального времени для проведения физических экспериментов в режиме непосредственной связи с универсальными ЭВМ позволяет сделать вывод о целесообразном использовании их для широкого класса экспериментальных установок ОИЯИ.

10. Созданные комплексы средств обеспечения систем реального времени способствовали успешному проведению ряда физических экспериментов на линии с универсальными ЭВМ, в результате которых получены важные научные результаты: на установке БИС-2 впервые обнаружено с достаточной статистикой рождение очарованных частиц $\Lambda\bar{\Lambda}$ (барионов) в сильных взаимодействиях при энергиях до 70 ГэВ; на установке ДИСК-2 впервые измерены кварк-партоновые структурные функции ядер.

Часть из работ автора удостоена премий ОИЯИ.

Основные результаты диссертации опубликованы в работах:

1. Городничев Е.Д., Кадыков Г.М., Кретов А.П., Нефедьев О.К., Садовников В.Н., Шигаев В.Н. Режим прерывания и канал вывода-ввода данных физических измерений для ЭВМ БЭСМ-3М и БЭСМ-4. - Дубна, 1967. - 20 с. (ОИЯИ.10-3510).
2. Городничев Е.Д., Кадыков Г.М., Кретов А.П., Нефедьев О.К., Садовников В.Н., Шигаев В.Н. Режим прерывания, вывод, ввод данных физических измерений в ЭВМ БЭСМ-3М. - В: Материалах IV Симпозиума по радиоэлектронике. Прага, 1967. - с. 151-167.
3. Забиякин Г.И., Владимиров В.А., Журавлёв Б.Е. и др. Развитие средств вычислительной техники в ИЦ ЛНФ. - Дубна, 1969. - 70 с. (ОИЯИ.Б1-10-4680).
4. Городничев Е.Д., Кадыков Г.М., Садовников В.Н., Морозова Н.Н. Реализация прерывания программ в БЭСМ-4 для использования вычислительной машины в электронных экспериментах и системах обработки данных. - Дубна, 1969. - 20 с. (ОИЯИ.10-4753).
5. Городничев Е.Д., Кадыков Г.М., Садовников В.Н., Морозова Н.Н. Аппаратура и команды обмена информацией для работы БЭСМ-4 в режиме "ON-LINE". - Дубна, 1969. - 28 с. (ОИЯИ.10-4870).
6. Морозова Н.Н., Садовников В.Н. Местный канал связи (МКС-1) для работы ЭВМ БЭСМ-4 на линии связи с физической аппаратурой (ЛНФ, ЛВЗ). - Дубна, 1969. - 38 с. (ОИЯИ.Б1-11-4586).
7. Городничев Е.Д., Кадыков Г.М., Кадыкова С.В., Михушкина Л.Т., Садовников В.Н., Широкова З.И. Программно-управляемый канал ввода-вывода для ЭВМ в измерительном центре. - Дубна, 1970. - 21 с. (ОИЯИ.13-5053).
8. Забиякин Г.И., Бородин В.С., Виноградов А.Ф. и др. Многомашинная система ввода-вывода БЭСМ-6. - Дубна, 1970. - 40 с. (ОИЯИ.Б1-10-4984).
9. Колпаков И.Ф., Крячко А.П., Садовников В.Н., Сусова Г.М. Устройство сопряжения ЭВМ ЕС-1040 с универсальным драйвером ветви в стандарте КАМАК. - В: Материалах I Всесоюзного совещания по автоматизации научных исследований в ядерной физике. - ИИИ АН УССР, Киев, 1976. с. 62-63.
10. Садовников В.Н., Крячко А.П., Ким Ю.Зем. Устройство для организации работы ЭВМ ЕС-1040 на линии с физической аппаратурой. - Дубна, 1978. - 9 с. (ОИЯИ.10-11357); - В: Трудах II Всесоюзного совещания по модульным информационно-вычислительным системам. - ИИИ АН СССР, Москва, 1980.
11. Садовников В.Н. Программный контроллер сопряжения ЕС-880. - Дубна, 1983. - 7 с. (ОИЯИ.10-83-III).
12. Садовников В.Н. Аппаратные средства программного контроллера

- сопряжения ЕС-880.- Дубна, 1983.- 7 с. (ОИЯИ.10-83-112).
13. Садовников В.Н. Командные средства программного контроллера сопряжения ЕС-880.- Дубна, 1983.- 8 с. (ОИЯИ.10-83-113).
 14. Садовников В.Н. Внешний интерфейс ввода-вывода программного контроллера сопряжения ЕС-880.- Дубна, 1983.- 10 с. (ОИЯИ.10-83-114).
 15. 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. (ОИЯИ-10-80-224).
 16. Садовников В.Н. Микропрограммный контроллер канала ЕС ЭВМ.- ПТЭ, 1983, № 3.- с. 63-67.
 17. Садовников В.Н. Аппаратные средства микропрограммного контроллера канала ЕС ЭВМ.- Дубна, 1981.- 9 с. (ОИЯИ.10-81-396).
 18. Садовников В.Н. Программные средства микропрограммного контроллера канала ЕС ЭВМ.- Дубна, 1981.- 13 с. (ОИЯИ.10-81-397).
 19. Базылев 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. (ОИЯИ.10-83-276).
 20. Пискунов Н.М., Садовников В.Н., Ситник И.М. и др. Программное обеспечение ЭВМ БЭСМ-4 для работы в режиме ON-LINE с установкой "АЛЬФА".- Дубна, 1976.- 12 с. (ОИЯИ.10-10255).
 21. Балашов В.К., Говорун Н.Н., Иванченко И.М., Карпенко Н.Н., Лихачёв М.Ф., Савин И.А., Садовников В.Н., Сеннер А.Е. Некоторые аспекты системы сбора информации и контроля бесфильмового спектрометра на базе ЭВМ ЕС-1040.- Дубна, 1978.- 14 с. (ОИЯИ.10-11357).
 22. Иванченко И.М., Карпенко Н.Н., Панебратцев Ю.А., Садовников В.Н., Сеннер А.Е., Сеннер Л.А., Ставинский В.С. Комплекс программ реального времени для исследования на установке ДИСК-2 кумулятивного рождения частиц.- Дубна, 1981.- 11 с. (ОИЯИ.10-81-754).
 23. Садовников В.Н., Штрайт Э. Унифицированная система обмена информацией между ЕС-1040 и физической аппаратурой через МКК 880-М.- Дубна, 1982.- 7 с. (ОИЯИ.10-82-144).
 24. Гаврилов А.С., Говорун Н.Н., Голутвин И.А. и др. Установка из бесфильмовых искровых камер с непосредственной связью с электронной вычислительной машиной.- Дубна, 1967.- 15 с. (ОИЯИ.Е13-3141); ПТЭ, 1967, № 5.- с. 151-156; В: Материалах IV Симпозиума по радиоэлектронике. Прага, 1967.- с. 241-258.
 25. Бондаренко В.Н., Говорун Н.Н., Дикусар Н.Д. и др. Применение электронных вычислительных машин для управления работой операторов в полуавтоматических системах измерения фоновой информации.- Дубна, 1967.- 16 с. (ОИЯИ.10-3426).

26. Вагов В.А., Замрий В.Н., Злоказов В.Б., Морозова Н.Н., Нефедьева Л.С., Рерих Т.С., Садовников В.Н., Ягафарова В.М. Система приёма и накопления данных на базе измерительного центра ЛНФ и ЭВМ БЭСМ-4.- Дубна, 1970.- 15 с. (ОИЯИ.10-5370).
27. Аблеев В.Г., Басиладзе С.Г., Борзунов Ю.Т. и др. Одноплечевой магнитный спектрометр установки "АЛЬФА". Описание и характеристика спектрометра. Организация работы.- ПТЭ, 1978, № 2.- с. 63-70.
28. Айхнер Г., Алеев А.Н., Арефьев В.А. и др. Организация чтения и контроля информации при работе спектрометра БИС-2 на линии с ЭВМ ЕС-1040.- Дубна, 1980.- 12 с. ОИЯИ.10-80-434).
29. Алеев А.Н., Арефьев В.А., Баландин В.П. и др. Наблюдение очарованных барионов Λ_c^+ , рождённых в нейтронном пучке серпуховского ускорителя.- Дубна, 1981.- 7 с. (ОИЯИ.Р1-81-693); ЯФ, 1982, т. 35, вып. 5.- с. 1175-1180.

Рукопись поступила в издательский отдел
28 февраля 1984 года.