

Н-246

10-81-425

**НАМСРАЙ  
Юмбаярын**

**МЕТОДИКА И СРЕДСТВА  
ПРОГРАММИРОВАНИЯ РАБОТЫ  
С ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ  
В СТАНДАРТЕ КАМАК НА ЭВМ ТИПА СМ-3  
И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ  
В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗАЦИИ ЭКСПЕРИМЕНТОВ  
НА ИМПУЛЬСНОМ РЕАКТОРЕ**

**Специальность 01.01.10: математическое обеспечение  
вычислительных машин и систем**

**Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук**

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики  
Объединенного института ядерных исследований

Научный руководитель:

кандидат физико-математических наук

И. М. САЛАМАТИН.

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук

В. А. НИКИТИН,

кандидат технических наук

Д. В. СТУПИН .

Ведущее предприятие: Институт атомной энергии им. И. В. Курчатова,  
Москва.

Защита диссертации состоится " \_\_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 1981 года  
в " \_\_\_\_\_ " часов на заседании специализированного совета  
Д. 047.01.04 при Лаборатории вычислительной техники и автоматизации  
Объединенного института ядерных исследований (г. Дубна Московской  
области).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Автореферат разослан " \_\_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 1981 года .

Ученый секретарь Совета  
кандидат физико-математических наук *ИВ* З. М. ИВАНЧЕНКО

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Развитие средств автоматизации научных исследований (создание государственного стандарта СССР КАМАК, серийный выпуск программно совместимых мини- и микро-ЭВМ) заложило основу для унификации аппаратной части систем автоматизации научных исследований (АНИ). Соединенное с ЭВМ экспериментальное оборудование (ЭО) может быть эффективно использовано после создания соответствующего прикладного программного обеспечения (ПО). Ввиду быстрого роста потребности в таких прикладных программах задача развития средств и методов программирования работы с ЭО остается в числе актуальных.

Массовое внедрение прикладного ПО систем АНИ затруднено в связи с разнообразием экспериментальных методик и их постоянной модификацией, а также из-за существования для одних и тех же ЭВМ различных типов контроллеров крейтов (интерфейсов) для подключения ЭО в стандарте КАМАК. Возможным разрешением этих затруднений является переход к технологичным методам изготовления ПО систем АНИ, основанным на унификации его компонентов, и обеспечение гибкости ПО по отношению к изменениям конфигурации и способа подключения оборудования.

Диссертационная работа выполнена в рамках темы "Разработка и создание программного обеспечения измерительно-вычислительного центра ИБР-2" тематического плана ЛНФ ОИЯИ и актуальна в связи с энергетическим пуском реактора ИБР-2. Результаты данной работы актуальны также ввиду широкого распространения в настоящее время ЭВМ "Электроника-100/ИСИ", ТРА-11/40, "Электроника-60", МЭРА-60 и др. , программно совместимых с СМ-3, и стандарта КАМАК.

### Целью работы являлось:

- выполнение разработки, анализа и оптимизации методики программирования работы мини-ЭВМ на линии с ЭО в стандарте КАМАК, обеспечивающей одновременно малое время реакции программ на запросы прерывания, их гибкость по отношению к изменениям конфигурации и способа подключения оборудования, преемственность программирования и отладки, малые сроки создания прикладных программ;
- создание программных средств для реализации разработанной методики на ЭВМ типа СМ-3, СМ-4;
- применение методики и программных средств при создании ряда прикладных программных систем для автоматизации конкретных экспериментов на реакторе ИБР-30 с использованием ЭВМ типа СМ-3.

В процессе выполнения поставленной задачи автор уделит особое внимание созданию алгоритмов и программных средств, направленных на решение следующих проблем, обусловленных:

- отсутствием в стандарте КАМАК средств логической адресации функциональных блоков;
- зависимостью специальных средств программирования работы ЭВМ с ЭО (например, трансляторов, драйверов и др.) от типа контроллера крейта (интерфейса для подключения ЭО к ЭВМ).

Автором найдены новые алгоритмические решения этих проблем.

#### Научная новизна:

1. Впервые разработан и реализован алгоритм метода настройки раздельно транслированных программных модулей для преобразования логического адреса блока КАМАК в физический /2,3/.
2. Впервые сформулирован и реализован такой подход к программированию работы ЭВМ с ЭО в стандарте КАМАК, который включает одновременное использование нового метода настройки программных модулей, обслуживающих ЭО, унифицирования структуры программных модулей и метода генерации подсистем для работы с ЭО из таких модулей /2,3,5/.
3. Выявлена возможность динамического изменения функций подсистем, работающих с ЭО в стандарте КАМАК, осуществляемого без потери скоростных характеристик путем преобразования программ на этапе исполнения прикладной системы. Эта возможность впервые реализована автором в /7/.
4. Впервые на машинах типа СМ-3 путем генерации созданы прикладные системы автоматизации экспериментов из программных модулей в перемещаемом формате загрузки /6-8/.

Практическая ценность. Результаты данной работы используются в измерительно-вычислительном центре ЛНФ ОИЯИ. Прикладные системы, при создании которых применены разработанные методика и программные средства, использовались в экспериментах /6-8/, с их помощью получены новые физические результаты.

Методика и средства программирования, разработанные автором, нашли применение в пяти научных центрах, а также могут быть использованы в других организациях, занимающихся вопросами разработки и применения программных систем АНИ на базе мини-ЭВМ и создания АСУ ТП.

Апробация работ. Основные результаты и содержание работы докладывались и обсуждались на научных семинарах ОИЯИ, Всесоюзной конференции "Автоматизация научных исследований на основе применения ЭВМ" (Новосибирск, 1979 г.), Всесоюзной школе-семинаре по вопросам разработки и использования технических и программных средств СМ ЭВМ (Минск, 1980 г.), X Международном симпозиуме по ядерной электронике (Дрезден, ГДР, 1980 г.), XIV Всесоюзной школе по автоматизации науч-

ных исследований (Одесса, 1980 г.) и I Всесоюзном семинаре по автоматизации научных исследований в ядерной физике и смежных областях (Душанбе, 1980 г.).

Объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы (104 наименования) и 9 приложений на II страницах. Общий объем диссертации - 138 страниц, в том числе 17 рисунков и две таблицы.

#### КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, сформулирована поставленная задача и показана структура диссертации.

Первая глава содержит анализ современного состояния средств программирования работы ЭВМ с ЭО в стандарте КАМАК. Автор характеризует известные к настоящему времени основные подходы (прагматический, двухуровневый, создание подпрограмм, создание специализированных языков программирования и др.) к решению задач программирования работ с ЭО по

- используемым языковым средствам;
- способам обработки параметров, описывающих конфигурацию оборудования и адресованные ему команды;
- способам компоновки прикладной программы из подпрограмм.

На основании этого анализа сделаны выводы о свойствах известных методов программирования в различных условиях их применения. Отмечено отсутствие в числе известных подходов такого, в котором была бы применена генерация прикладных программ для работы с ЭО из унифицированных программных модулей.

Во второй главе выполнен анализ условий разработки и эксплуатации ПО систем автоматизации экспериментов в одной из крупных исследовательских организаций (ЛНФ ОИЯИ) и на его основании сформулированы требования к средствам программирования и программам, обслуживающим ЭО, а также обоснован и сформулирован новый подход к решению задачи программирования взаимодействия мини-ЭВМ с ЭО в стандарте КАМАК.

Введем определения некоторых используемых ниже понятий. Прикладной системой (ПС) будем называть специализированную операционную систему, создаваемую для обслуживания конкретного эксперимента. Обычно структура ПС включает управляющую программу (монитор), некоторую подсистему обработки данных, подсистему для работы с ЭО (СЭО) и средства коммуникации между этими компонентами. В данной работе рассматриваются СЭО, ориентированные на работу с ЭО в стандарте КАМАК и его тестирование. Минимальными структурными единицами, из которых создается СЭО, являются так называемые унифицированные программные модули

(УПМ). УПМ реализует прикладную операцию с одним или группой блоков КАМАК. Прикладной операцией называем такую совокупность действий, выполняемых с ЭО некоторой программой, смысл которой может быть выражен в терминах, присущих обслуживаемой проблемной области. Например, в экспериментальной ядерной физике такими операциями могут быть следующие: накопление спектра, регистрация многомерных событий, управление перемещением образцов и др. Назовем экспериментальным каналом (ЭК) ввода и вывода данных такую группу функциональных блоков, которые предполагается обслуживать одним УПМ в конкретной ПС. Мы различаем два типа ЭК – активные и пассивные. Активным будем называть ЭК, в состав которого входит блок, которому программа разрешает генерировать сигнал "Запрос на внимание" (L) для инициации программы, обслуживающей данный ЭК. Этот блок в дальнейшем будет именоваться активным блоком данного ЭК. Пассивным будем называть ЭК, в котором ни одному из блоков не разрешается генерация сигнала L. Работа с активным ЭК осуществляется по инициативе оборудования – по прерыванию от ЭО, а с пассивным – по инициативе программы. Прикладными программами для работы с ЭО (ПЭО) будем называть УПМ, включенные в состав СЭО и пригодные для использования в ПС конкретного эксперимента. СЭО для конкретной ПС представляет собой набор ПЭО, формируемых из УПМ. Соотношение УПМ, ПЭО и СЭО показано на рис. 1. С целью обеспечения

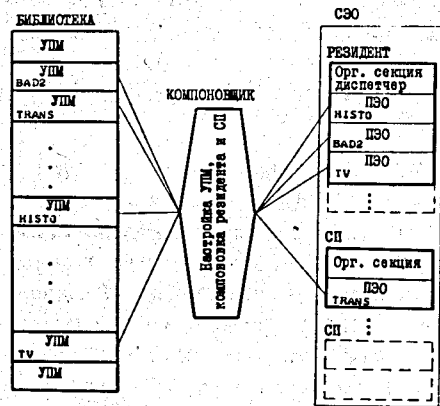


Рис. 1. Соотношение УПМ, ПЭО и СЭО.

синхронного обмена информацией между различными ПЭО с одной стороны, и ЭО, с другой стороны, а также с целью быстрой реакции на запросы прерываний предложено из набора ПЭО создавать резидент СЭО. Назначение резидента СЭО – диспетчеризация и обработка запросов прерываний от ЭО, регистрация и накопление экспериментальных данных и взаимодей-

ствие с монитором ПС. Редко используемые ПЭО, а также такие, время исполнения которых несущественно для конкретного эксперимента, формируются в виде стандартных программ (СП). Такие СП могут исполняться в режиме динамического распределения памяти.

Средства программирования работы с ЭО в наших условиях должны обеспечивать:

- скоростные характеристики прикладных программ, соответствующие наиболее жестким требованиям в обслуживаемой проблемной области;
- гибкость ПО по отношению к составу и конфигурации ЭО;
- преемственность разработок, в первую очередь – преемственность проверки, отладки, а также облегчение сопровождения ПО;
- ввод и вывод данных и управляющих сигналов одновременно по нескольким независимым ЭК;
- возможность быстрого создания большого количества ПС для различных физических экспериментов;
- высокий уровень технологичности средств создания ПС;
- надежность ПО (устойчивость к сбоям ЭО);
- специальные меры по оснащению документацией, необходимой для эксплуатации и модификации программ.

Данный набор требований является довольно жестким, и в настоящее время отсутствует подход к решению задачи программирования работы с ЭО в стандарте КАМАК, в достаточной мере отвечающий перечисленным требованиям. По этой причине автором выполнена разработка нового подхода <sup>1/2</sup>, который заключается в одновременном использовании метода настройки УПМ, унифицированной структуры программных модулей и метода генерации СЭО из таких модулей. Схема процедуры генерации показана на рис. 2.

В третьей главе выполнено исследование способов представления КАМАК-функций в кодах команд ЭЕМ типа СМ-3 для различных типов контроллеров крейтов с целью разработки алгоритма логической адресации блоков КАМАК и структуры УПМ. При использовании наиболее быстрых и удобных способов адресации для программирования команд стандарта КАМАК (ВСНАР) на языке MACRO-II (макроссемблер для ЭЕМ типа СМ-3) адрес (ВСН) функционального блока кодируется в следующих за первым словом машинной команды словах в виде специального кода. Для того, чтобы эти команды могли работать с одним и тем же блоком, установленным на любой станции N любого крейта (ВС), достаточно изменить значение ВСН, оставляя без изменений субадрес (А) и функцию (F). Таким образом выявлена возможность реализации нового алгоритма логи-

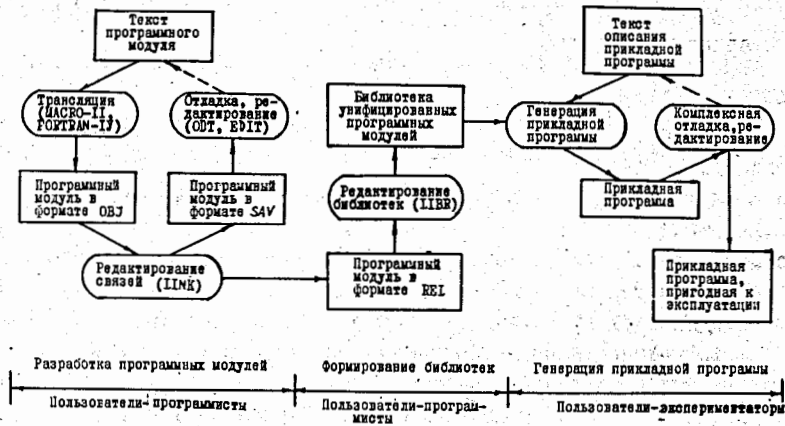


Рис. 2. Схема процесса создания программных модулей и генерации прикладных программ.

ческой адресации блоков КАМАК, обеспечивающего предельные скоростные характеристики программ, обслуживающих ЭО. Идея предложенного автором алгоритма логической адресации состоит в обеспечении доступа служебным программам ко всем машинным командам, выполняющим обращение к блокам ЭО, для осуществления настройки программного модуля в соответствии с физическими адресами блоков. На основании данного алгоритма разработан метод настройки УПМ, обслуживающих ЭО. Суть его заключается в том, что на этапе генерации СЭО выполняется подмена в УПМ логических (условных) адресов физическими (абсолютными) адресами блоков в адресных частях тех машинных команд, которые обеспечивают выполнение КАМАК-функций блоком ЭО. Особенностью данного метода является одновременное обеспечение предельных скоростных характеристик программ и гибкости (преемственности) программ по отношению конфигурации ЭО.

Для обеспечения модульной организации ПС и для реализации предложенного алгоритма логической адресации разработана структура УПМ<sup>3/</sup>. В соответствии с этим автором предложено в качестве УПМ использовать программу в перемещаемом формате загрузки, которая реализует прикладную операцию с конкретным ЭК, составлена на языке ассемблерного уровня для условных адресов оборудования, но допускает настройку на его физические адреса и оформлена по определенным правилам.

В структуре УПМ следует выделить следующие элементы:

- функциональную секцию УПМ, предназначенную для выполнения прикладной операции;
- четыре управляющих секции для выполнения операций управления состоянием оборудования ЭК, аргументов (буферов, переменных и др.);
- таблицу настройки программного модуля.

Таблица настройки УПМ, в свою очередь, содержит две таблицы. В первой из них перечисляются те машинные команды функциональной и управляющих секций УПМ, которые подлежат изменению в соответствии с физическими адресами блоков ЭК. Во вторую таблицу включаются описания (адреса) аргументов УПМ. Аргументы УПМ либо содержат исходные данные, либо предназначаются для помещения результатов работы УПМ. Настройка УПМ на физические адреса оборудования и абсолютные адреса аргументов осуществляется на этапе генерации СЭО для конкретной ПС, что сокращает время реакции программ на внешние запросы прерывания, а также время исполнения программ регистрации данных и управления ЭО.

Принятая структура УПМ обеспечивает возможность использования одних и тех же модулей в различных ПС без редактирования исходного текста программных модулей. Это свойство обеспечило преемственность отладки программ. В целом метод настройки УПМ и единая структура УПМ обеспечили возможность создания модульной организации программ, работающих с ЭО в стандарте КАМАК, отвечающей выдвинутым требованиям.

Четвертая глава посвящена разработанным автором алгоритмам и средствам генерации СЭО (подсистем для работы с ЭО). В их состав входят специализированный язык описания СЭО<sup>4/</sup>, программа генерации СЭО<sup>5/</sup> и библиотеки служебных и прикладных программных модулей.

Язык генерации СЭО содержит средства для описания работы с прерываниями от ЭО, конфигурации, типа оборудования и других понятий, необходимых для спецификации систем реального времени, предназначенных для автоматизации экспериментов. Рассмотрим основные инструкции этого языка. Обозначения, используемые ниже при описании инструкций, следующие: слова из больших букв латинского алфавита обозначают имена инструкций и ключевые слова языка; угловые скобки заключают в себе фразу, обозначающую один объект языка; малые буквы и слова из них используются для обозначения различных объектов языка; выражения, заключенные в квадратные скобки, могут быть опущены; символы ":", ",", "-", "()" являются разделителями и символы "▲" обозначают повторение предшествующей им конструкции, начало которой отмечено символом "▲".

Описание всякой СЭО начинается инструкцией.

/SUBSYSTEM — <имя подсистемы>, TYPE : <тип контроллера>.

Имя подсистемы задается пользователем, составляющим описание. Тип контроллера — имя, которое присвоено используемому типу контроллера.

Характеристики контроллеров крейтов, с которыми будет работать описываемая СЭО, задаются инструкцией

/DEVICE — <номер крейта>, PR:k, AV:addr<sub>1</sub>, ERRV:addr<sub>2</sub>, AV:addr<sub>3</sub> ,  
VECTOR: An=addr [ ,AAA ] ,

где k — задает приоритет контроллера, addr<sub>1</sub> — базовый адрес поля векторов прерывания, addr<sub>2</sub> — адрес вектора прерывания при значении сигнала "Ответ" X=0, addr<sub>3</sub> — базовый адрес поля регистров контроллера, n — номер (или имя) станции в крейте. Знак равенства означает установление соответствия между номером станции n и адресом вектора прерывания addr. Параметры контроллера, определяемые в инструкции /DEVICE, используются при обработке других инструкций, входящих в описание СЭО.

Описание связи УПМ с оборудованием ЭК и аргументами осуществляется с помощью инструкций:

/HCASE — n: An<sub>1</sub> [ ,AAA ] — DO — <имя УПМ> [ ( ,arg ,AAA ) ] ,

/ATTACH — An<sub>1</sub> [ ,AAA ] — TO — <имя УПМ> [ ( ,arg ,AAA ) ] ,

и /LINK — An<sub>1</sub> [ ,AAA ] — TO — <имя УПМ> [ ( ,arg ,AAA ) ] .

Здесь n, n<sub>1</sub>, ... — имена или номера станций, где размещены блоки ЭК, arg, ... — имена (идентификаторы) аргументов, на адреса которых должен настраиваться УПМ. Инструкция /HCASE устанавливает связь между вектором прерывания, соответствующим станции, занятой блоком с именем n, и программой обслуживания запроса L от этого блока. Она предназначена для описания только активных ЭК.

Инструкции /ATTACH и /LINK предназначены для описания пассивных ЭК. Выбор между этими двумя инструкциями осуществляется из соображений требуемой скорости прикладной программы, необходимости синхронизации работы различных ЭК, доступных ресурсов памяти и т.д.

Описание СЭО заканчивается инструкцией /ENDH.

Исполняемые (функциональные) операторы имеют вид:

<имя программы> [ (список аргументов) ] .

Здесь имя программы — это название модуля, включенного в СЭО инструкцией /ATTACH или /LINK.

На рис. 3 приведен пример описания СЭО на этом языке. При необходимости создать ПС для конкретного эксперимента составляется описание СЭО инструкциями данного языка. На основании такого описания

```
... операторы языка САНПО
/LET COM=22
/LET DIS=19
/LET BK=15, AK1=11, KMD=9
/LET AK2=4
//
/SUBSYSTEM MAF, TYPE=ME/RESIDENT
/DEVICE 1: AV=170V, VECTOR#1-23=170V
// THIS ACTIVE CHANNEL HAS HIGHEST PRIORITY
/HCASE AK2IAK2 DD HISTO(B)
/HCASE AK1IBK, AK1, KMD DD BAD2(A1,A2)
// B, A2 AND A2 ARE BUFFERS DECLARED ABOVE
/ATTACH DIS TO TV
//
/LINK CDM TO TRANS
/ENDHARDWARE SYSTEM
... операторы языка САНПО
```

Рис. 3. Фрагмент описания прикладной системы, содержащий описание СЭО.

программа-компоновщик собирает из библиотек нужные программные модули, объединяет их, настраивает для работы с заданной в описании конфигурацией оборудования и в результате автоматически создает СЭО, пригодные для использования в конкретной ПС.

Автором разработана структура СЭО (резидента и стандартных программ (СП) для работы с ЭО), дисциплина ее работы, алгоритмы и средства управления состоянием оборудования и программами, диспетчеризации обработки запросов прерываний от ЭО, централизованной обработки аварийных ситуаций.

Резидент СЭО komponуется из диспетчера (управляющей программы) и тех УПМ, которые указаны в инструкциях /HCASE и /ATTACH, а СП — из управляющей программы и одного УПМ, указанного в инструкции /LINK.

Одной из возможностей, обеспеченных структурой УПМ, структурой СЭО и алгоритмами генерации СЭО, является динамическое изменение функций ПС. Под динамическим изменением функций мы понимаем замену или изменение СЭО в процессе работы ПС с целью обеспечить ее работоспособность при изменении конфигурации используемого в ПС ЭО. Оно успешно используется в эксперименте <sup>11</sup>, а также при отладке программных систем.

В настоящее время компоновщик может генерировать СЭО для пространственных контроллеров двух существенно различных типов: контроллера крейта для ЭВМ СМ-3 и контроллера КК-16. Для этих контроллеров время реакции разработанных диспетчеров на запрос прерывания от ЭО составляет 27 и 62 мкс соответственно. Автором получены

формулы расчета полного времени обработки прерывания /I/, которые можно представить в упрощенном виде:

$$t_{\text{КК-16}} = 67,3 + 18 \cdot i + T_{\text{ПЭО}} + 4,8 \text{ (мкс)}, \quad (1)$$

$$t_{\text{СМЗ}} = 26,7 + T_{\text{ПЭО}} + 7 \cdot c + 4,8 \text{ (мкс)}, \quad (2)$$

где  $i = 1, 2, \dots$  - приоритет ЭК в крейте,  $T_{\text{ПЭО}}$  - время исполнения программы, обслуживающей ЭК, от которого поступил запрос, и  $c$  - число крейтов, с которыми резидент работает.

Библиотека системных и прикладных программных модулей, созданная автором, включает более 50 наименований.

Комплекс средств для работы с ЭО в стандарте КАМАК открыт для расширения путем внесения в библиотеку модулей, реализующих новые функциональные операторы, и может быть дополнен программными сегментами для создания СЭО, ориентированных на новые типы контроллера крейта.

Разработанные алгоритмы, методы и программные средства в сочетании с последними достижениями программирования для мини-ЭВМ позволили автору сформулировать и реализовать подход к программированию работы ЭВМ с ЭО в стандарте КАМАК, обладающий рядом достоинств перед известными. В рамках данного подхода обеспечена технологичная процедура изготовления СЭО, которая характеризуется возможностью использовать одни и те же УПМ в ПС для различных экспериментов, преимущественностью отладки программ и малыми сроками создания ПС. В следующей таблице приведены некоторые характеристики разработанного автором подхода в сравнении с характеристиками известных подходов.

Свойства	Подход	Прагматический	Двухуровневый	Подпрограммы на фортране	Разработанный автором
Время исполнения КАМАК - команд		~10 мкс	>20 мкс	>1000 мкс	~10 мкс
Логическая адресация блоков КАМАК		нет	возможна	есть	есть
Модульная организация		нет	возможна	возможна	есть
Преимущество программирования и отладки		нет	возможна	есть	есть
Группирование операций управления состоянием оборудования		нет	нет	нет	есть
Расход памяти (в условных единицах)		I	~I + 5	~5	~I

В пятой главе показаны особенности разработанного подхода и средств программирования работы с ЭО на трех примерах /6-8/ их использования при создании ПО конкретных экспериментов, физические методики которых существенно различаются.

В частности, ПО системы малоуглового рассеяния (МУР) нейтронов /6/ показывает скоростные характеристики программ, создаваемых в рамках разработанного подхода, и возможность прогнозировать значение одной из основных характеристик измерительной системы - мертвого времени. Измерения величины мертвого времени ( $\tau$ ) в реальной системе регистрации по программному каналу ЭВМ восьми спектров дали значение <256 мкс, совпадающее с вычисленным по формуле (1) при проектировании системы МУР и удовлетворяющее требованиям методики эксперимента.

На примере ПО системы коллективного пользования (СКП), предназначенной для выполнения одномерного анализа произвольным числом пользователей, продемонстрировано динамическое изменение функций ПС. При этом одна СЭО обслуживает ЭК всех пользователей. Составы и размещение блоков этих ЭК различаются.

Подтверждена возможность использования УПМ в различных ПС без редактирования их исходных текстов и преимущественность отладки. В ПО систем СКП и ND (для экспериментов с нейтронным дифрактометром) использованы одни и те же программные модули.

Сроки создания ПС этих систем составили: для системы МУР - 4 недели, для ND и СКП - 2 недели.

Созданные ПС введены в эксплуатацию и используются с 1979 г. в физических экспериментах, с их помощью получены новые физические данные.

В заключении перечисляются основные результаты выполненной работы.

Основным результатом диссертации является разработка методики и средств программирования работы ЭВМ на линии с экспериментальным оборудованием в стандарте КАМАК, а также ввод этих средств в эксплуатацию для массового изготовления прикладных программных систем автоматизации экспериментов на реакторе ИБР-30. Разработанные средства применены диссертантом при создании ряда прикладных систем. Основные выводы и утверждения, сделанные в диссертации, подтверждены успешным использованием разработанных средств и метода при программировании прикладных систем, а также в процессе эксплуатации и развития таких систем с 1979 г.

Разработанные диссертантом методы и программные средства их реализации могут быть использованы при создании прикладных программных систем в различных проблемных областях.

Автором решен ряд проблем, имеющих самостоятельное научное значение:

1. Разработаны языковые средства для описания подсистем, обслуживающих работу ЭВМ с ЭО. Язык не зависит от стандарта ЭО и позволяет описывать способ подключения оборудования, его конфигурации, а также связи программ с оборудованием и элементами данных.

2. Впервые сформулирован и реализован метод настройки программ в загрузочном формате для преобразования логического адреса блока КАМАК в физический. Этот метод обладает преимуществами перед известным двухуровневым подходом к способу формирования адресов оборудования в том, что для программ, работающих с ЭО, обеспечивает предельные скоростные характеристики, достигаемые при программировании на ассемблере и компиляции физических адресов.

3. Разработана структура унифицированных программных модулей, позволяющая применять их в системах автоматизации различных экспериментов без редактирования исходного текста. Модули не зависят от физических номеров крейта и станций, занятых блоками в крейте, адреса поля векторов прерывания и адреса поля регистров.

4. Созданы алгоритмы и программные средства генерации подсистем для работы с ЭО из нескольких УПМ. Программа-компонент обеспечивает независимость текста описания подсистем от типа интерфейса между ЭО и ЭВМ, группирование управляющих секций различных УПМ с целью синхронизации операций управления состоянием оборудования и программами и реализует настройку УПМ в соответствии с физическими адресами ЭО и конкретным способом подключения его интерфейса. Разработаны алгоритмы и соответствующие программы диспетчеризации обработки прерываний, обеспечивающие время от момента возникновения запроса прерывания до момента передачи управления программам обслуживания прерываний от 27 до 62 мкс для разных типов контроллеров. Получены и используются формулы вычисления времени исполнения программ для оценки одной из основных характеристик измерительных систем - мертвого времени системы. Разработан ряд алгоритмов обработки аварийных ситуаций, способствующих повышению надежности программного обеспечения.

5. Впервые сформулирован и реализован такой подход к программированию работы ЭВМ с ЭО в стандарте КАМАК, который включает одновременное использование нового метода настройки программ, унифицированной структуры программных модулей, метода генерации подсистем для работы ЭВМ с ЭО из таких модулей. Данный подход обладает более высокими технологическими свойствами (в частности, обеспечивает со-

здание и модификацию систем в более сжатые сроки) по сравнению с другими доступными средствами создания ПС.

6. Впервые на машинах типа СМ-3 путем генерации созданы прикладные системы автоматизации экспериментов из программных модулей в перемещаемом формате загрузки.

7. Выявлена и реализована возможность динамического изменения функций подсистем, работающих с ЭО в стандарте КАМАК, осуществляемого без потери скоростных характеристик путем преобразования программ на этапе исполнения прикладной системы.

8. Созданные соискателем средства программирования работы ЭВМ с ЭО применены для генерации ряда прикладных систем автоматизации экспериментов, из которых три описаны в диссертации. Сроки создания этих систем составили от двух до четырех недель, что и подтверждает сделанный в диссертации вывод о возможности сокращения сроков создания прикладных систем. Для программирования конкретных экспериментов создано ~100 программных модулей, из которых лично соискателем создано 40. Общий объем программного обеспечения, созданного соискателем для машин типа СМ-3 и находящегося в эксплуатации, составляет ~100 тысяч машинных слов. Созданные прикладные системы введены в эксплуатацию. Их использование позволило получить важные физические результаты.

Результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Намсрай Ю., Савватеев А.С., Саламатин И.М. Организация работы мини-ЭВМ типа М-400 с оборудованием в стандарте КАМАК. ОИЯИ, РГО-12206, Дубна, 1979.
2. Балуга Г., Жуков Г.П., Намсрай Ю. и др. Метод настройки в применении к программированию работы ЭВМ на линии с экспериментальным оборудованием. 1. Формулировка подхода. ОИЯИ, РГО-80-424, Дубна, 1980.
3. Намсрай Ю., Савватеев А.С., Саламатин И.М., Яновский Г.Я. Метод настройки в применении к программированию работы ЭВМ на линии с экспериментальным оборудованием. 2. Структура унифицированных программных модулей. ОИЯИ, РГО-80-456, Дубна, 1980.
4. Намсрай Ю., Островной А.И., Саламатин И.М. Метод настройки в применении к программированию работы ЭВМ на линии с экспериментальным оборудованием. 3. Описание языка генерации программ, предназначенных для работы с экспериментальным оборудованием. ОИЯИ, РГО-80-480, Дубна, 1980.
5. Балуга Г., Намсрай Ю., Саламатин И.М., Яновский Г.Я. Метод настройки в применении к программированию работы ЭВМ на линии с



экспериментальным оборудованием. 4. Генерация прикладных программ. ОИЯИ, РГО-80-743, Дубна, 1980.

6. Вагов В.А., Жуков Г.П., Козлова Е.П., Коробченко М.Д., Намсрай Ю. и др. Измерительный модуль спектрометра маломуголового рассеяния нейтронов на импульсном реакторе ИБР. ОИЯИ, РГО-80-826, Дубна, 1980.

7. Балдука Г., Васин А.Ю., Ермаков В.А., Жуков Г.П., Зимин Г.Н., Намсрай Ю. и др. Система коллективного пользования на базе внешних запоминающих устройств и ЭВМ типа СМ-3. ОИЯИ, РГО-80-825, Дубна, 1980.

8. Балагуров А.М., Вагов В.А., Жуков Г.П., Зимин Г.Н., Ишмухаметов М.З., Миронова Г.М., Намсрай Ю. и др. Система на базе ЭВМ СМ-3 и внешней памяти СМ-3101 для экспериментов с нейтронным дифрактометром по методу времени пролета. ОИЯИ, РГО-80-824, Дубна, 1980.

Рукопись поступила в издательский отдел  
23 июня 1981 года.