

0-774

10-87-823

ОСТРОВНОЙ

Александр Иванович

РАЗРАБОТКА УНИФИЦИРОВАННЫХ МЕТОДОВ
И МОДУЛЬНЫХ СРЕДСТВ
ДЛЯ ПРОГРАММИРОВАНИЯ СИСТЕМ
АВТОМАТИЗАЦИИ СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ
НА ИМПУЛЬСНЫХ ИСТОЧНИКАХ НЕЙТРОНОВ

Специальность: 05.13.11 - математическое
и программное 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.

Научные руководители:
кандидат технических наук Г. П. Жуков
кандидат физико-математических наук А. М. Балагуров

Официальные оппоненты:
доктор технических наук В. И. Нифонтов
кандидат физико-математических наук А. Е. Сеннер

Ведущая организация:
Институт ядерных исследований АН УССР, Киев.

Автореферат разослан " ____ " _____ 1987 года.

Защита диссертации состоится " ____ " _____ 1988 года в ____ часов на заседании специализированного Совета Д047.01.04 при Лаборатории вычислительной техники и автоматизации Объединенного института ядерных исследований (Дубна Московской обл.).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь Совета
кандидат физико-математических наук *Иваз* З. М. Иванченко

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

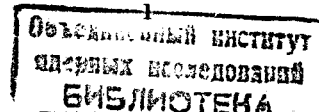
Актуальность проблемы. Для автоматизации научных исследований широко используются системы, построенные на базе мини-, микроЭВМ и аппаратуры в стандарте КАМАК. По оценкам специалистов, КАМАК будет активно применяться по крайней мере до середины 90-х годов. Для эффективного использования экспериментальной аппаратуры, повышения производительности труда научных работников при проведении экспериментов нужно создать прикладное программное обеспечение (ПО), соответствующее возможностям аппаратуры и потребностям области применения. Производительность труда программистов в настоящее время отстает от потребностей и темпов развития вычислительной техники, а доля ПО в общем объеме работ по созданию систем автоматизации экспериментов (САЭ) возрастает. Актуальность проблемы повышения производительности труда программистов, а следовательно, и сокращения сроков создания прикладного ПО сохраняется. Отмечается также актуальность разработки научных методов построения систем автоматизации научных исследований.

Использование в САЭ современных высокопроизводительных мини- и микроЭВМ позволяет во многих случаях выполнять на них окончательную обработку экспериментальных данных. Это делает актуальным разрешение проблемы создания взаимосогласованных программ накопления и программ обработки (интегрированного ПО САЭ).

В Лаборатории нейтронной физики (ЛНФ) ОИЯИ проводятся спектрометрические эксперименты на действующих импульсных реакторах ИБР-2 и ИБР-30. Для автоматизации экспериментов используется более двух десятков мини- и микроЭВМ и аппаратура КАМАК. Создание новых и развитие уже имеющихся САЭ требует создания развитого ПО.

Цель работы. Целью диссертационной работы является исследование методов программирования САЭ, анализ опыта их применения, обобщение его в виде разработки новой методики и унифицированных модульных средств, в наибольшей степени отвечающих особенностям спектрометрических экспериментов и соответствующих САЭ, а также создание прикладного ПО для проводимых на реакторах ИБР-2 и ИБР-30 экспериментов.

В соответствии с такой целью в диссертационной работе ставятся и решаются следующие задачи:



- провести анализ широко используемых методов и средств программирования САЭ, способов организации ПО САЭ;
- разработать специализированный язык, инструментальные средства и набор универсальных модулей, обеспечивающих возможность генерации прикладного ПО САЭ из набора модулей в формате загрузки; оценить эффективность применения такого метода и средств к задачам автоматизации спектрометрических экспериментов;
- разработать методику программирования САЭ на языке Паскаль, призванную увеличить производительность труда программистов, упростить процесс создания программ для САЭ, обеспечить высокие характеристики надежности и устойчивости к ошибкам создаваемых программ, возможность реализации мобильного и интегрированного ПО для проведения экспериментов, обработки данных и представления результатов;
- разработать проблемно-ориентированные алгоритмы для решения типичных для САЭ задач программирования;
- создать проблемно-ориентированные пакеты прикладных подпрограмм для программирования операций с аппаратурой КАМАК, организации и использования базы данных в САЭ, реализации функций визуализации и оперативного анализа многомерных спектров с помощью средств машинной графики;
- создать прикладное ПО для автоматизации проводимых в ЛНФ ОИЯИ на реакторах ИБР-2 и ИБР-30 экспериментов, используя разработанные методы, алгоритмы и программные средства.

Научная новизна. Впервые совместно с другими сотрудниками ЛНФ ОИЯИ создана и использована для разработки ПО САЭ проблемно-ориентированная модульная система САНПО, основанная на принципе генерации прикладных программ из набора модулей в формате загрузки. В рамках этой работы диссертантом разработан специализированный язык описания (спецификации) прикладных программных систем, включающий средства для описания параллельных процессов, реализован соответствующий компилятор и монитор. Разработана и применена в конкретных задачах методика программирования САЭ на языке Паскаль. Впервые в СССР предложен и использован метод программирования параллельных процессов на Паскале, он имеет ряд преимуществ при создании ПО САЭ по сравнению с другими методами, независимо предложенными зарубежными авторами, и средствами, предоставляемыми в мультипрограммных операционных системах. Для интеграции программ накопления с программами обработки в САЭ на мини- и микроЭВМ впервые использована база данных и создан мобильный и экономичный пакет подпрограмм на Паска-

ле. Впервые создано прикладное ПО для системы автоматической ориентации монокристаллов, в которой положение кристалла определяется на основе анализа дифракционных спектров, измеренных по методу времени пролета. Разработано прикладное ПО для регистрации временных спектров в координатах пространства волновых векторов, что сокращает объем необходимой для накопления спектра памяти в ~ 10 раз. Впервые в СССР создано ПО для автоматизации нейтронографических экспериментов с позиционно-чувствительными детекторами по методу времени пролета.

Практическая ценность. Полученные результаты используются при создании ПО конкретных экспериментов на реакторах ИБР-2 и ИБР-30. Методика программирования САЭ на языке Паскаль, разработанные алгоритмы и пакеты подпрограмм обеспечивают создание в сжатые сроки интегрированного ПО САЭ, обладающего широким набором возможностей и высокими эксплуатационными качествами.

Созданное прикладное ПО используется для автоматизации проводимых в ЛНФ экспериментов на восьми спектрометрах. С его помощью получены важные физические результаты.

Разработанные методика, алгоритмы и модульные программные средства применимы для широкого класса задач автоматизации экспериментов в других областях научных исследований, задач автоматизации управления сложными установками и технологическими процессами на производстве. Созданные программные средства переданы и используются в четырех организациях СССР.

Апробация работы. Основные результаты диссертации докладывались на Международном совещании по программированию и математическим методам решения физических задач (Дубна, 1977 г.), на I-м Всесоюзном семинаре по автоматизации научных исследований в ядерной физике и смежных областях (Душанбе, 1980 г.), на семинаре "Современные методы и средства программирования" (Москва, 1981 г.), на XV Всесоюзной школе по автоматизации научных исследований (Усть-Нарва, 1981 г.), на XII Международном симпозиуме по ядерной электронике (Дубна, 1985 г.), на IY Всесоюзном семинаре по автоматизации научных исследований в ядерной физике и смежных областях (Протвино, 1986 г.) и на научно-методических семинарах в ЛНФ ОИЯИ.

Публикации. По результатам диссертации опубликовано 15 работ.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложения. Работа изложена на 134 страницах, включает 16 рисунков и 4 таблицы. Список литературы содержит 159 наименований.

В рамках системы САНПО диссертантом на ассемблере созданы программы общего назначения объемом около 30 тыс. слов. Объем программ, созданных с помощью методики программирования САЭ на языке Паскаль, составляет более 29 тыс. строк исходного текста или около 400 тыс. слов.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы цели и задачи исследования, дается краткое изложение содержания работы по главам.

В первой главе проведен анализ средств и методов, используемых для программирования САЭ, построенных на базе мини-, микроЭВМ и аппаратуры КАМАК. Приведены основные характеристики наиболее широко используемых в области автоматизации научных исследований операционных систем для СМ ЭВМ, языков высокого уровня, специализированных языков и языков реального времени.

Проведен сравнительный анализ различных методов создания ПО САЭ. Основой анализа являются характеристики используемых средств программирования и получаемого прикладного ПО. Рассмотрены четыре метода. Первый основан на утилитарном подходе, при котором выбор программных средств, алгоритмов, структуры прикладного ПО определяется индивидуально для каждой задачи. Второй предполагает использование языка высокого уровня (обычно Бейсик, Фортран или Паскаль) со стандартным набором подпрограмм для взаимодействия с аппаратурой КАМАК. Третий связан с использованием специализированных языков. Четвертый ориентирован на создание и использование пакетов прикладных подпрограмм в рамках проблемно-ориентированных модульных систем (ПОМС). Такие системы делятся на два типа. Основой ПОМС первого типа являются интерпретаторы, команды которых реализуются отдельными программными модулями, а ПОМС второго типа основаны на принципе генерации прикладного ПО из набора модулей.

Отмечается, что развитие языков программирования ведет к постепенному вытеснению ассемблера из набора средств программирования САЭ рассматриваемого класса. Он используется для реализации критичных ко времени исполнения операций с экспериментальной аппаратурой. Использование специализированных средств программирования (языков и инструментальных средств) приводит к зависимости прикладного ПО

от типа операционной системы (ОС) и аппаратуры. Наибольший эффект применения ПОМС достигается в задачах, где можно стандартизовать состав оборудования ЭВМ, экспериментальной аппаратуры и выполняемых САЭ функций. Выделяется два наиболее важных фактора, в существенной мере влияющих на сроки реализации прикладного ПО САЭ и его качество. Первый — использование языков высокого уровня, второй — унифицированная модульная организация ПО. В этой же главе коротко представлены наиболее вероятные пути развития ПО САЭ в ближайшем будущем.

Во второй главе описана проблемно-ориентированная модульная система САНПО, проведен анализ опыта использования САНПО и других ПОМС в ЛНФ ОИЯИ, рассмотрены достоинства и недостатки применения ПОМС для решения задач автоматизации спектрометрических экспериментов.

Система САНПО создана коллективом авторов. Личный вклад диссертанта составляют:

- разработка языка описания (спецификации) прикладного ПО САЭ и реализация соответствующего компилятора;
- разработка метода программирования параллельных процессов в САНПО;
- разработка структуры прикладного ПО, способа взаимодействия его компонентов;
- разработка и реализация монитора САНПО.

В основу САНПО были положены следующие принципы: 1) генерация прикладного ПО САЭ из набора модулей в формате загрузки на основании описания (спецификации) прикладной системы на специализированном языке; 2) унифицированная модульная организация прикладного ПО САЭ; 3) реализация алгоритмов приема, накопления и обработки данных, поступающих в реальном масштабе времени, в виде совокупности параллельных процессов; 4) динамическое распределение памяти (ДРП) для программных модулей.

Структура прикладного ПО САЭ, созданного с помощью САНПО, включает монитор, оперативную базу данных (ОБД), библиотеку программных модулей и подсистемы. Монитор обеспечивает исполнение и синхронизацию совокупности параллельных процессов, прием и исполнение интерактивных приказов. ОБД содержит переменные, буфера и соответствующие им флаги, которые отражают готовность буфера или переменной к обработке. Подсистемы обеспечивают взаимодействие ПО САЭ с "внешним миром" (аппаратурой, человеком). Например, подсистема для работы с экспериментальным оборудованием обеспечивает обработку прерываний,

заполнение буферов, устанавливает флаги для инициирования процессов обработки. В общем случае всякая подсистема состоит из резидентной части и модулей, работающих в режиме ДРП. Программные модули программируются на ассемблере или Фортране.

Параллельные процессы в САНПО являются формой представления алгоритмов приема, накопления и обработки информации, поступающей одновременно по нескольким каналам. Совокупность параллельных процессов состоит из отдельных процессов, каждый из которых в свою очередь состоит из функционально связанных элементарных процессов (ЭП) с заданными над ними приоритетными отношениями. ЭП — это пара: помеченный флаг и действие, которое включает один или несколько модулей и обрабатывает ассоциированную с данным флагом информацию. В результате работы одного ЭП могут быть переведены в состояние готовности к работе другие ЭП (так обеспечивается функциональная связь ЭП). Для всех ЭП устанавливаются абсолютные приоритеты и иерархические отношения, имеющие характер подчинения. Иерархическая схема отношений ЭП отражает схему потоков данных. Отношения ЭП используются для синхронизации процессов. Например, если ЭП_А читает данные из А и после обработки записывает результаты в Б, а ЭП_Б освобождает Б, то между ЭП_А и ЭП_Б устанавливается иерархическая связь ЭП_А → ЭП_Б, означающая, что в случае готовности к обработке А и Б независимо от абсолютных приоритетов будет инициирован ЭП_Б (так предотвращается возможная порча информации).

Язык описания (спецификации) прикладного ПО САЭ позволяет описать используемое оборудование КАМАК, доступную внешнюю и оперативную память, состав резидентных и нерезидентных программных модулей. На языке описываются переменные, буфера и параллельные процессы, задается иерархия ЭП и их абсолютные приоритеты. Язык позволяет определять и использовать макрооперации.

Компилятор генерирует таблицы ОБД (они содержат и схему параллельных процессов) и специальные файлы для компоновки резидентной части ПО САЭ, настройки программ, работающих с аппаратурой КАМАК, сборки библиотек прикладных программных модулей.

В главе коротко описаны семь систем, для которых ПО создавалось с помощью САНПО, а также рассмотрены еще две ПОМС, используемые в ЛНФ СМЯИ. Одна из них базируется на использовании интерпретатора MCL и применяется для реализации ПО микропроцессорных систем в стандарте КАМАК. Другая основана на методике динамического формирования конфигурации (ДФК). ДФК заключается в том, что состав модулей

в прикладном ПО САЭ формируется динамически, модули используются в формате загрузки, для них обеспечивается динамическое распределение памяти. Используется ДФК на ЭВМ с операционной системой КТ-II.

Общим достоинством рассмотренных ПОМС являются унифицированная структура ПО САЭ и гибкость по отношению к изменениям аппаратуры и методики эксперимента (на уровне изменения состава модулей в прикладном ПО). В качестве недостатков отмечаются зависимость ПОМС от конфигурации ЭВМ и типа ОС, высокая трудоемкость переноса или адаптации инструментальных средств. Эффективное использование ПОМС возможно в рамках класса задач, который ограничен унифицированным составом аппаратуры САЭ и функций прикладного ПО.

В третьей главе рассматривается методика программирования САЭ на языке Паскаль. Обосновывается необходимость разработки новой методики, свободной от ограничений и недостатков ПОМС и учитывающей увеличение возможностей аппаратуры, использование в составе САЭ высокопроизводительных мини- и микроЭВМ с богатым набором устройств, возросшие требования физиков к ПО САЭ, а также появление более современных ОС и трансляторов.

Предлагаемая методика состоит в том, что ПО САЭ создается на основе унифицированной модульной организации и набора проблемно-ориентированных алгоритмов и пакетов подпрограмм для решения типичных задач, стоящих перед разработчиками ПО САЭ. Для программирования операций с аппаратурой КАМАК в соответствии с рекомендацией комитета *ESONE* создан и используется пакет подпрограмм. Алгоритмы обработки данных в реальном масштабе времени представляются в виде параллельных процессов. Для архивизации разнородных данных и интеграции программ накопления с программами обработки в режиме *off-line* используется простая база данных (БД). Для обеспечения мобильности прикладного ПО принята ориентация на использование штатных средств компоновки исполнительных программ.

Унифицированная структура ПО САЭ (см. рис.1) включает процедуры обработки прерываний, алгоритмы обработки, представленные в виде параллельных процессов, таблицу переменных состояния процессов (ПСЦ), интерпретатор интерактивных приказов и монитор. Все программные компоненты имеют доступ к глобальным переменным, к БД и специальному файлу, содержащему информацию о состоянии аппаратуры, программной системы, проводимых измерений.

Процедуры обработки прерываний выполняют минимально возможные действия, в случае необходимости устанавливают флаг готовности в

нужной ПСП. Монитор, просматривая таблицу ПСП, обнаружит готовый к работе процесс и инициирует его. Одновременно монитор обеспечивает прием интерактивных приказов и инициирует интерпретатор, если приказ введен.

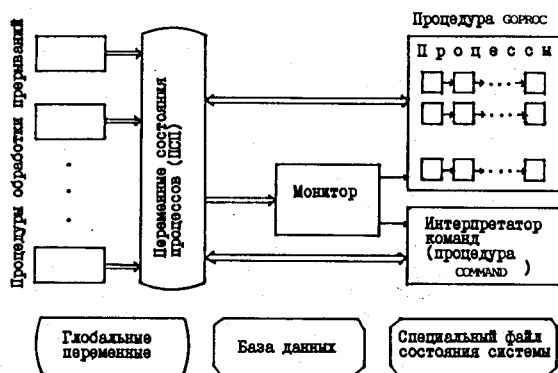


Рис. 1. Унифицированная структура программной системы.

Параллельные (или взаимодействующие) процессы ориентированы на однопроцессорные ЭВМ и являются формой представления алгоритмов, выполняемых в реальном масштабе времени. Они могут управлять или контролировать действительно одновременно происходящие физические процессы и реализуются за счет специальной техники программирования, не требующей использования мультипрограммных ОС и часов ЭВМ. С точки зрения организации все процессы выполняются одной процедурой *GOPROC* (рис.2.). Каждый процесс имеет свой номер, переменную в таблице ПСП и фрагмент процедуры *GOPROC*. Фрагмент делится на этапы, которые представляют собой неделимые в смысле исполнения "кусочки" программы на языке Паскаль. Процедура *GOPROC* с помощью оператора *CASE* делится на процессы, которые с помощью других операторов *CASE* делится на этапы. ПСП имеет тип *RECORD*, назначение ее компонент приведено в таблице. Стороживые временные интервалы позволяют определять "зависания" системы или отдельных устройств.

Иницируются процессы монитором, который получает управление после каждого этапа и, просматривая таблицу ПСП, выбирает готовый к

работе процесс, не находящийся в состоянии блокировки или ожидания окончания другого процесса, и инициирует его. Монитор изменяет и проверяет счетчики сторожевых временных интервалов и в случае необходимости инициирует *GOPROC*, предварительно изменив специальный глобальный флаг (*TIMEOUTFLAG*). Так обеспечивается использование сторожевых временных интервалов индивидуально для каждого процесса.

Организация параллельных процессов позволяет с помощью интерактивных приказов приостановить и продолжить работу процессов, выполнить процессы по шагам (один шаг соответствует исполнению одного этапа выбранного процесса), задать точку останова (по номеру процесса и номеру этапа), задать состояние указанного процесса и продолжить работу системы, распечатать состояние всех процессов. Сохранение таблицы ПСП вместе с переменными, отражающими состояние аппаратуры и системы в целом, в файле состояния позволяет продолжить работу САЭ в случае сбоя аппаратуры или ЭВМ с момента, который был зафиксирован на диске.

Предложенный метод программирования параллельных процессов на Паскале имеет ряд преимуществ по сравнению с методами, независимо предложенными зарубежными авторами, и средствами мультипрограммных ОС. В их число входят большая гибкость взаимодействия процессов, более широкие возможности отладки взаимодействия процессов, возможность создания ПО САЭ, устойчивого к сбоям аппаратуры, простота реализации и возможность применения в различных ОС.

БД в рамках предлагаемой методики используется как центральный элемент, позволяющий объединить программы в единый комплекс. В БД накладывается разнородная дополнительная информация, характеризующая условия получения файлов с основными спектрометрическими данными. Это позволяет автоматически выбирать из БД все данные, необходимые для обработки спектров в режиме *off-line*. БД может использоваться для хранения истории работы САЭ, информации о действиях опера-

```

PROCEDURE GOPROC(NUM:INTEGER)
... (* ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ ПЕРЕМЕННЫХ *)
BEGIN
IF TIMEOUTFLAG THEN ... (* ОБРАБОТКА TIMEOUT *)
CASE NUM OF
1: BEGIN (* ПРОЦЕСС 1 *)
CASE STAGE OF
1: BEGIN ... END; (* СТАП 1 *)
2: BEGIN ... END; (* СТАП 2 *)
...
END; (* КОНЕЦ 1-ГО ПРОЦЕССА *)
2: BEGIN (* ПРОЦЕСС 2 *)
...
END;
...
END; (* ОСТАЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ *)
...
END; (* CASE NUM... *)
END; (* GOPROC *)

```

Рис.2. Организация параллельных процессов в процедуре *GOPROC*.

тора и сбоях аппаратуры. На языке Паскаль создан пакет процедур, позволяющий создавать и использовать иерархические БД. Проблемная ориентация пакета позволяет использовать его в ПО, работающем в реальном масштабе времени на мини- и микроЭВМ.

Таблица. Содержание переменной состояния процесса

Название и назначение компоненты	Тип
Флаг готовности процесса к работе	логический
Флаг наличия блокировки	логический
Номер процесса, завершения которого ожидает данный процесс	целый
Номер очередного этапа	целый
Величина сторожевого временного интервала	целый
Счетчик для вычисления временного интервала	целый

Для реализации функций визуализации и оперативного анализа многомерных спектров в рамках данной методики создан пакет процедур, позволяющих сочетать широкий набор прикладных операций и компактность графического ПО, включаемого в программы, работающие в реальном масштабе времени. Пакет обеспечивает возможность вывода на экран цветного телевизионного дисплея одномерных и многомерных спектров полностью или по частям. Многомерные спектры представляются в виде поверхности или карты уровней. В интерактивном режиме можно пометить маркерами участки одно- или двумерного спектра. Процедуры обработки, входящие в состав пакета, позволяют вычислять параметры одно- и двумерных пиков (при этом фон вычитается по крайним точкам). В основе организации пакета лежит использование файла описания изображения, который может создаваться и модифицироваться в режиме *off-line*. Этот файл содержит все параметры, необходимые для вывода изображения. Такая организация графического пакета существенно сокращает объем диалога графических программ с пользователем и обеспечивает удобство их использования.

Разработанная методика использовалась при создании ПО САЭ на ЭВМ MEPA-60, CM-1300, CM-3, CM-4 в ОС RT-II и RSX-IIM. Она позволила создать надежное, устойчивое к сбоям аппаратуры и ошибкам человека, обладающее высокими эксплуатационными качествами прикладное ПО.

В четвертой главе рассматривается прикладное ПО, созданное с

помощью описанной в третьей главе методики для автоматизации проводимых в ЛНФ ОИЯИ экспериментов.

ПО системы ориентации монокристаллов работает на ЭВМ MEPA-60 под управлением ОС RT-II и позволяет после предварительной установки образца на гониометре в автоматическом режиме ориентировать кристалл в заданное положение. Процедура ориентации состоит в том, что в вертикальное положение устанавливается определенная кристаллографическая ось (пересечение двух заданных плоскостей). Положение плоскостей определяется на основе анализа временного спектра. Программа путем последовательных приближений обеспечивает ориентацию образца в положение, при котором интенсивность дифракционных отражений в детектор будет максимальной. Одновременно с выполнением процедуры ориентации программа выводит на точечный дисплей спектр, измеренный последним, на терминал - данные, позволяющие контролировать ход процедуры ориентации, обеспечивает выполнение интерактивных приказов. В случае сбоя ЭВМ или аппаратуры КАМАК созданное ПО позволяет продолжить процесс ориентации с прерванного этапа. Система ориентации позволила автоматизировать процесс, который при выполнении его вручную требует длительного и непрерывного присутствия человека и исключительной аккуратности при выполнении операций.

ПО распределенной системы автоматизации экспериментов на дифрактометре ДН-2 включает программы для CM-4, работающие под управлением ОС RSX-IIM, программы для MEPA-60, работающие под управлением ОС RT-II, и программы связи. Созданные для CM-4 программы обеспечивают проведение измерений в интерактивном и автоматическом режимах. В последнем случае составляется программа на командном языке, входящем в состав штатных средств ОС RSX-IIM. Командный язык имеет операторы цикла, условные операторы, позволяет инициировать несколько программ, которые будут работать одновременно в мультипрограммном режиме (в частности, можно инициировать программы, которые будут вести обработку во время накопления очередного спектра). Программы измерений позволяют проводить измерения заданной длительности через заданные промежутки времени, можно указать абсолютное время начала измерения.

Накапливаемые спектры имеют размер 4K, 32K или 128K слов и записываются в отдельные файлы. Дата и время начала и окончания измерений, условия на образце и другая дополнительная информация фиксируется в базе данных для каждого файла со спектром. Разработаны программы, обеспечивающие создание и использование БД. Для автоматизации обработки в режиме *off-line* создана программа, которая

обеспечивает извлечение всех необходимых параметров для указанного файла и передачу их программам обработки.

Созданное для СМ-4 ПО позволяет просматривать спектры на экране точечного дисплея и в интерактивном режиме проводить анализ и несложную обработку многомерных спектров с помощью цветного телевизионного дисплея (используются все возможности описанного в третьей главе графического пакета).

Для микроЭВМ МЕРА-60 созданы программа управления четырехкружным гониометром и программы для измерений с помощью программируемого временного кодировщика. Программы измерений вычисляют на основе введенных физиком параметров временную шкалу, ширину канала которой растет пропорционально квадрату времени, записывает ее в память кодировщика и обеспечивает необходимые операции для проведения измерений. Такой метод накопления на практике позволяет сократить объем необходимой для накопления спектра памяти в ~ 10 раз.

Программы связи, используя специально созданную аппаратуру, обеспечивают взаимодействие мини-ЭВМ СМ-4, находящейся в измерительно-вычислительном центре ДНФ, и микроЭВМ МЕРА-60, расположенной в экспериментальном зале реактора ИБР-2 (на расстоянии ~ 500 м). Пользователю по приказам с терминала СМ-4 обеспечивается выполнение следующих функций:

- включение и выключение питания и таймера МЕРА-60, включение режима "Пульт" или "Программа", включение и выключение режима удаленного управления микроЭВМ;
- загрузка ОС с диска МЕРА-60, работа с системными и прикладными программами в интерактивном режиме;
- отладка программ, работающих на МЕРА-60 с аппаратурой КАМАК;
- загрузка и выполнение прикладных программ и тестов с диска СМ-4 через линию связи в память МЕРА-60;
- передача файлов с диска СМ-4 на диск МЕРА-60 и в обратном направлении.

Программы связи не зависят от эксперимента и могут быть использованы в любой САЭ, имеющей соответствующую аппаратуру, а также для методических работ на МЕРА-60 (создание и отладка программ в режиме удаленного управления МЕРА-60).

В заключении формулируются основные результаты диссертационной работы.

Приложение содержит список подпрограмм, реализованных для программирования операций с аппаратурой КАМАК на языке Паскаль, список

инструкций для описания прикладного ПО САЭ на языке САНПО, список процедур, реализованных на Паскале, для работы с иерархической базой данных, состав и назначение компонент файла описания изображения, используемого в созданном графическом пакете.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Разработана унифицированная модульная организация ПО САЭ и созданы основные управляющие программные модули, составляющие основу прикладного ПО, получаемого с помощью проблемно-ориентированной модульной системы САНПО.

2. Разработаны язык описания (спецификации) прикладного ПО САЭ и соответствующий транслятор, входящий в состав системы САНПО. Язык позволяет описать параллельные процессы обработки информации в реальном масштабе времени, состав модулей в прикладном ПО, доступные ресурсы внешней и оперативной памяти.

3. Проведены исследования эффективности применения проблемно-ориентированных модульных систем в задачах автоматизации спектрметрических экспериментов на импульсных реакторах ИБР-2 и ИБР-30. Проведен также анализ используемых методов реализации ПО САЭ.

4. Предложена методика программирования САЭ на языке Паскаль, являющаяся развитием методов, используемых в проблемно-ориентированных модульных системах, свободная от присущих таким системам ограничений и недостатков. Созданы пакеты подпрограмм для реализации на языке Паскаль в ОС RT-II и RSX-IIM операций с аппаратурой КАМАК, реализации функций визуализации и оперативного анализа данных с помощью средств машинной графики, пакет для создания и использования базы данных в САЭ.

5. Разработан метод программирования параллельных процессов на языке Паскаль, имеющий более гибкие по сравнению с другими методами средства взаимодействия процессов, более мощные средства отладки, возможность сохранения и восстановления состояния совокупности процессов с последующим продолжением работы системы.

6. Предложено использовать базу данных в ПО САЭ на мини- и микроЭВМ для интеграции программ, работающих в режимах *on-line* и *off-line*. Созданные для этого программные средства мобильны и отличаются экономичностью. Впервые такая база данных реализована в ПО нейтронного дифрактометра ДН-2.

7. Создано прикладное ПО для автоматической ориентации моно-

кристаллов. Это ПО используется в экспериментах на реакторе ИБР-2.

8. Разработано прикладное ПО для дифрактометра ДН-2, включающее программы для автоматизации экспериментов с позиционно-чувствительными детекторами, регистрации временных спектров в координатах пространства волновых векторов, что сокращает объем запоминающего устройства, необходимого для накопления, в несколько раз (в практических измерениях до 10 раз), а также программы управления, оперативного анализа и представления данных. С помощью созданного ПО на ДН-2 получены важные физические результаты.

9. Разработаны универсальные программы связи ЭВМ СМ-4 с ЭВМ МЭРА-60, позволяющие управлять удаленной ЭВМ, загружать по линии связи программы, пересылать файлы, проводить методические работы на удаленной ЭВМ, например отладку программ, работающих с экспериментальным оборудованием.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В РАБОТАХ:

1. Островной А.И., Саламатин И.М. База данных в обобщенной системе реального времени - САНПО. ОИЯИ, Р10-11349, Дубна, 1978.
2. Балуха Г., Жуков Г.П., Намсрай Ю., Останевич Ю.М., Островной А.И. и др. Комплекс средств для генерации прикладных систем автоматического накопления и предварительной обработки данных - САНПО. ОИЯИ, Р10-12960, Дубна, 1980.
3. Островной А.И., Саламатин И.М. Язык программирования прикладных систем автоматизации эксперимента. ОИЯИ, Р10-80-423, Дубна, 1980.
4. Островной А.И. Монитор для специализированных систем автоматизации экспериментов. В кн.: Структура, технические средства и организация систем автоматизации научных исследований. ЛИЯФ, Л., 1982, с. 106.
5. Островной А.И., Саламатин И.М. Дисциплина исполнения параллельных процессов в системе САНПО. ОИЯИ, Р10-81-342, Дубна, 1981.
6. Островной А.И. Компилятор специализированного языка генерации программных систем автоматизации экспериментов для ЭВМ типа СМ-3 - компилятор САНПО. ОИЯИ, Р10-82-231, Дубна, 1982.
7. Островной А.И. Методика программирования систем автоматизации экспериментов на языке Паскаль. Автометрия, 1986, №5, с.116 (ОИЯИ, Р10-85-581, Дубна, 1985).
8. Островной А.И. Методика применения базы данных в системах автоматизации экспериментов и ее реализации. ОИЯИ, Р10-84-439, Дубна, 1984.

9. Нитц В.В., Островной А.И., Рян Кван Ха и др. Система автоматической ориентации монокристаллов на базе трехосного гониометра с шаговыми двигателями. ОИЯИ, Р10-86-270, Дубна, 1986.
10. Островной А.И. Программное обеспечение системы автоматической ориентации монокристаллов. ОИЯИ, Р10-86-271, Дубна, 1986.
11. Балагуров А.М., Островной А.И., Шиббаев В.Д. Регистрация нейтронограмм в координатах пространства волновых векторов (одномерный случай). ОИЯИ, Р10-86-313, Дубна, 1986.
12. Балагуров А.М., Миронова Г.В., Островной А.И. Программное обеспечение системы накопления информации дифрактометра ДН-2 на импульсном реакторе ИБР-2. ОИЯИ, Р10-84-440, Дубна, 1984.
13. Островной А.И. Организация проблемно-ориентированного графического пакета подпрограмм для систем автоматизации спектрометрических экспериментов. ОИЯИ, Р10-86-844, Дубна, 1986.
14. Балагуров А.М., Барабаш И.П., Застенкер И.Б., Островной А.И. и др. Нейтронный дифрактометр на импульсном реакторе ИБР-2. Система управления четырехкружным гониометром. ОИЯИ, Р10-85-781, Дубна, 1985.
15. Алфименков А.В., Вагов В.А., Коробченко М.Л., Островной А.И. Аппаратные и программные средства для реализации двухмашинного комплекса на базе ЭВМ СМ3 (СМ4) и МЭРА-60. В кн.: XII Международный симпозиум по ядерной электронике (Дубна, 2-6 июля 1985 г.). ОИЯИ, Д13-85-793, Дубна, 1985, с.151.

Рукопись поступила в издательский отдел
18 ноября 1987 года.