

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Б-208

УДК 681.3.06

10-85-437

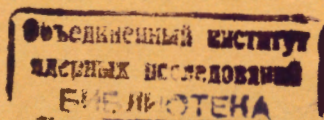
БАЛУКА Гжегож

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ
ДИНАМИЧЕСКОГО ФОРМИРОВАНИЯ КОНФИГУРАЦИИ
ПРОГРАММНЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ
ЭКСПЕРИМЕНТОВ НА ИМПУЛЬСНЫХ РЕАКТОРАХ,
ЕЕ РАЗВИТИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ

Специальность: 05.13.11 - математическое
и программное обеспечение вычислительных машин
и систем

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Дубна 1985



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 Э. А. Талныкин

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

Защита диссертации состоится "___" _____ 1985 года
в _____ часов на заседании специализированного Совета
ДО47.01.04 при Лаборатории вычислительной техники и автоматизации
Объединенного института ядерных исследований
(г. Дубна, Московской области)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Автореферат разослан "___" _____ 1985 года

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

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работ. Развитие систем автоматизации экспериментов (САЭ) идет по пути передачи ЭВМ все большего числа функций анализа, планирования, управления экспериментом. Соответственно возрастают трудовые и материальные затраты на создание и эксплуатацию программного обеспечения (ПО). Роль ПО САЭ непрерывно растет и в большинстве случаев затраты на него (в первую очередь - затраты времени разработчиков) превышают по значимости затраты на технические средства.

Ввиду этого разработка методов и средств, обеспечивающих сокращение сроков создания и уменьшение затрат на эксплуатацию ПО системы автоматизации конкретных экспериментов, является актуальной задачей.

В настоящее время наблюдается преимущественная ориентация исследовательских центров на использование в составе САЭ ЭВМ типа Электроника-60, СМ-3, СМ-4, СМ-1300 и др. и аппаратуры в стандарте КАМАК. Для обеспечения исследований на реакторах ИБР-2, ИБР-30 в ЛНФ ОИЯИ создан измерительно-вычислительный центр на базе аналогичного оборудования.

Диссертационная работа выполнена в рамках тем "Разработка и создание программного обеспечения измерительно-вычислительного центра ИБР-2" и "Разработка и создание новой электронной аппаратуры для физических исследований и автоматизации процесса получения и обработки экспериментальных данных с использованием ЭВМ" тематического плана ЛНФ ОИЯИ и актуальна в связи с энергетическим пуском реактора ИБР-2 и продолжающейся эксплуатацией реактора ИБР-30.

Целью данной работы является:

- выполнение разработки, исследования и развития методики создания ПО САЭ, обеспечивающей сокращение сроков и затрат на создание ПО САЭ по сравнению с известными методиками;
- создание программных средств для реализации разработанной методики на ЭВМ типа Электроника-60, СМ-3, СМ-4, СМ-1300 и др.;
- применение разработанных методик и программных средств для создания программных систем автоматизации конкретных экспериментов на реакторах ИБР-2, ИБР-30.

В работе поставлены и решены следующие задачи:

1. Анализ способов создания ПО САЭ, формулировка и обоснование методики динамического формирования ПО САЭ, обеспечивающей сокращение сроков создания и затрат на создание ПО САЭ по сравнению с известными методиками.

2. Исследование, разработка и развитие алгоритмов управления памятью, предназначенных для использования в ПО САЭ.

3. Разработка проблемно-ориентированной модульной системы программирования, реализующей методику динамического формирования конфигурации ПО САЭ.

4. Анализ известных и разработка нового метода программирования оборудования КАМАК, обеспечивающего одновременно возможность использования языка высокого уровня, модульную организацию ПО КАМАК, мобильность программных модулей по отношению к изменению методики эксперимента и их комплексированность в различных САЭ без существенного ухудшения скоростных характеристик программ.

5. Применение разработанных алгоритмов, методов и программ для автоматизации конкретных экспериментов на реакторах ИБР-2, ИБР-30.

Научная новизна

1. Предложена, разработана и исследована методика динамического формирования конфигурации программного обеспечения САЭ, обеспечивающая увеличение доли периода эксплуатации в жизненном цикле ПО САЭ по сравнению с другими методиками благодаря инвариантности компонентов относительно изменений ряда условий в период эксплуатации /1-6/.

2. На основе анализа современного состояния стандарта КАМАК, средств программирования и опыта использования рекомендаций комитета ESONE предложен и обоснован новый подход к программированию оборудования КАМАК средствами языков высокого уровня общего назначения, обеспечивающий экономию затрат на программирование оборудования, а также более быстрое и эффективное применение новых языков для решения задач автоматизации по сравнению с подходом ESONE за счет устранения необходимости в предварительной разработке специальных средств программирования оборудования КАМАК /7/.

3. Разработан новый метод программирования оборудования КАМАК средствами языков высокого уровня общего назначения - метод описания структуры оборудования (МОС), заключающийся в том, что регистры оборудования обозначаются идентификаторами путем описания структуры оборудования (состава регистров и способа их адресации) в виде структуры данных. Структура данных отображается на адресное пространство, выделенное оборудованию, в результате чего обеспечивается доступ к регистрам, и их идентификаторы могут использоваться в выражениях /7/.

Применение этого метода позволяет программировать работу с оборудованием КАМАК (включая обработку внешних запросов прерывания) без дополнительных разработок в отличие от подхода ESONE, требующего создания специальных средств программирования таких задач.

Метод пригоден также для программирования оборудования, выполненного в другом стандарте и использующего иной способ доступа к регистрам, чем КАМАК.

Реализация результатов. Методика динамического формирования конфигурации программных систем автоматизации экспериментов реализована в инструментальных средствах компоновки ПО САЭ /3,4/ и затем развита в проблемно-ориентированную модульную систему (ПОМС) программирования САЭ на языке ПАСКАЛЬ для ЭВМ типа СМ-3, СМ-1300, Электроника-60, ДВК, СМ-4 и др. /5-7/.

Основные выводы и утверждения, сделанные в диссертации, подтверждены реализацией и успешным использованием с 1979 года в ряде научных центров для различных проблемных областей средств и методов программирования САЭ.

Практическая ценность. Данная работа является завершенным научным исследованием, доведенным до реализации и внедрения. Полученные результаты используются с 1979 года для создания программного обеспечения конкретных экспериментов на действующих реакторах в ЛНФ ОИЯИ. Системы, при создании которых применены разработанные автором методы и программные средства, используются в экспериментах, и с их помощью получены важные физические результаты.

Применение разработанных средств позволяет управлять сроками разработки ПО САЭ. Реальные сроки создания ПО САЭ для конкретных экспериментов составляли несколько месяцев благодаря параллельной разработке мобильных компонентов в отличие от способов независимой разработки ПО САЭ, занимающих 1-3 года.

Методы и средства программирования, созданные автором, используются в восьми научных центрах для различных проблемных областей, а также могут быть использованы в других организациях для разработки и применения программных САЭ и АСУ ТП.

Апробация работы и публикации. Основные результаты и содержание работы докладывались и обсуждались на научных семинарах в ОИЯИ и были доложены на I-м Всесоюзном семинаре по автоматизации научных исследований в ядерной физике и смежных областях (Душанбе, 1980 г.), 3-м Всесоюзном семинаре по обработке физической информации (Пахладзор, октябрь 1984 г.), Всесоюзной научно-технической школе "Опыт разработки и перспективы унификации ИВК с аппаратурой КАМАК для автоматизации научных экспериментов, испытания новой техники и управления технологическими процессами" (Суздаль, апрель 1985 г.), представлены на XIX Школу по автоматизации научных исследований (Новосибирск, июнь 1985 г.), XII Международный симпозиум по ядерной электронике (Дубна, июль 1985 г.), V Всесоюзный симпозиум по модульным ИВК по тематике "Автоматизация измерений и метрология систем" (Клишинов, октябрь 1985 г.).

Результаты диссертационной работы полностью опубликованы в виде препринтов и сообщений ОИЯИ /1-7/, а также направлены в журналы "Программирование" и "Автоматизация".

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы (II стр., 105 наименований) и 4 приложений на 8 стр. Общий объем диссертации - 134 стр., в том числе 9 таблиц и 17 рисунков.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы цель и задачи, анонсированы основные результаты и аннотировано содержание глав.

В первой главе содержится анализ одной из наиболее актуальных современных проблем - проблемы "насыщения" исследовательских организаций программным обеспечением САЭ, тесно связанной с эффективностью процесса программирования. На основании обсуждения основных аспектов этой проблемы и современного состояния условий разработки и использования средств автоматизации сформулированы требования к ПО САЭ: обеспечение скоростных характеристик (время реакции на внешние события), надежности, функциональных возможностей, соответствующим

требованиям обсуждаемого круга задач; возможность отторжения системы от разработчиков; мобильность по отношению к изменениям методики в рамках определенного круга задач; мобильность по отношению к изменениям коммутации и способа размещения в каркасах блоков экспериментального оборудования КАМАК; ориентация на пользователя средств управления системой, средств адаптации ее в изменяющихся условиях эксплуатации и средств развития.

Рассмотрено использование языков спецификации программных систем, языков программирования систем реального времени и проблемно-ориентированных модульных систем в связи с разными этапами жизненного цикла ПО САЭ.

Формулируя требования к ПО САЭ и анализируя средства и методы их создания, автор, в качестве критерия качественной оценки, руководствовался ожидаемым характером увеличения отношения продолжительности периода эксплуатации к продолжительности жизненного цикла ПО САЭ.

Предложена методика динамического формирования конфигурации (ДФК) ПО САЭ, обеспечивающая требуемую мобильность. Методика ДФК включает: представление структуры управляющей программы в виде иерархии виртуальных процессоров; динамическое формирование информационной базы ПО САЭ; динамическое формирование состава и связей программных компонентов САЭ; модульную организацию ПО оборудования КАМАК и динамическую настройку таких программ в соответствии с конкретной конфигурацией оборудования. Эта методика выработана с целью удовлетворения требований к ПО САЭ, обеспечивающих существенное увеличение доли периода эксплуатации в продолжительности всего жизненного цикла ПО САЭ.

Реализацию методики целесообразно выполнять для аппаратных средств, преимущественно используемых для автоматизации научных исследований: ЭЕМ типа СМ-3, СМ-1300, Электроника-60, ДВК, СМ-4 и др. и аппаратуры КАМАК.

Для реализации предложенной методики выполнен ряд исследований и разработок; их описанию посвящены следующие главы.

Во второй главе исследованы условия применимости программных систем управления памятью (СУП) в САЭ, позволяющих разрешить проблему дефицита оперативной памяти (ОЗУ) для больших программных САЭ путем размещения сегментов ПО во внешней памяти (ВЗУ) и подкачки их

в ОЗУ по мере надобности. Показано, что в качестве критерия эффективности работы СУП в конкретной САЭ может быть использовано выражение:

$$\eta = \frac{\sum_{i=1}^k t_{i, \text{раб}}}{\sum_{i=1}^k [t_{i, \text{раб}} + (1 - P_{i, \text{обн}}) * t_{i, \text{гост}}]}$$

где $P_{i, \text{обн}}$ - вероятность обнаружения i -го программного модуля в ОЗУ при очередном обращении к нему; k - количество программных модулей; $t_{i, \text{раб}}$ - время работы модуля; $t_{i, \text{гост}}$ - время поиска модуля на ВЗУ, загрузки его в ОЗУ и настройки по месту загрузки.

Исследованы значения параметров, влияющих на эффективность работы СУП: распределение длин программных модулей (ПМ), времена доступа к ПМ при различных способах организации их хранения и др. Выполнены расчеты и анализ режимов работы алгоритмов ДРП в реальных условиях. Для рассмотрения вопроса о применимости СУП введено понятие граничного процесса в иерархической структуре программного обеспечения САЭ как процесса, начиная с которого время доступа к программам, включенным в граничный и в охватывающие процессы, оказывает малое влияние на пропускную способность САЭ. Необходимым условием применимости СУП следует считать возможность размещения на рабочем поле памяти СУП всех программ, включенных в процессы, охватываемые граничным процессом. Обоснована целесообразность и возможность использования динамического распределения памяти в ПО САЭ.

Описан разработанный метод компоновки ПО САЭ. Основным результатом процедуры компоновки САЭ является объединение в систему управляющей части прикладной системы (монитора), совокупности часто используемых (во время работы системы) функциональных модулей, различных таблиц, данных для управления экспериментом и реализация связей между компонентами. Метод компоновки предусматривает создание заданной конфигурации ПО САЭ перед ее использованием и возможность автоматического изменения этой конфигурации во время работы САЭ. Набор модулей, которые включаются в ПО САЭ во время ее компоновки, назовем конфигурацией, управляемой пользователем (КУП), поскольку он определяется автором системы. Набор модулей, находящихся в ОЗУ во время работы САЭ, будем называть динамически формируемой конфигурацией (ДФК), если этот набор отличается от КУП составом или способом размещения модулей и меняется в зависимости от условий работы.

На рис. I показана упрощенная схема, иллюстрирующая метод компоновки.

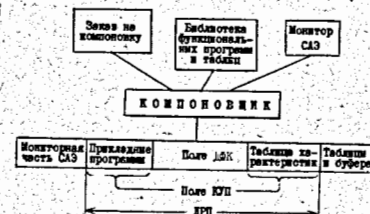


Рис. I. Упрощенная схема, иллюстрирующая метод компоновки ПО САЭ

Для реализации метода компоновки автором была создана программа-компоновщик, разработана организация библиотеки перемещаемых программ, созданы две программы-библиотекари - интерактивная и работающая автоматически, программа ДРП, загрузчик перемещаемых программ и программа формирования отчета в виде описания процесса компоновки и структуры САЭ.

Опыт использования метода компоновки САЭ показал, что, в основном, метод обеспечивает прогнозируемые характеристики, однако не свободен от недостатков, основным из которых являлось выделение фазы предварительной компоновки (КУП) из процесса динамического формирования (ДФК) конфигурации ПО САЭ.

В третьей главе описывается комплекс средств создания программного обеспечения САЭ, включающий системы программирования общего назначения, предоставляемые штатной операционной системой RT-II, и специально разработанные средства.

Штатные средства ОС RT-II используются для создания компонентов ПО САЭ.

Структура специальных разработанных средств соответствует структуре проблемно-ориентированных модульных систем (ПОМС) и включает: системное наполнение; функциональное наполнение, отражающее проблемную область; резидентную часть, управляющую выполнением сеанса работы ЭМ.

Системное наполнение ПОМС включает программы составления заданий и системные программные модули, обслуживающие выполнение заданий. Программы составления заданий используются разработчиками или пользователями, чтобы в режиме диалога описать: конфигурацию (состав, способ размещения в крейтах, способ подключения крейтов к ЭВМ) экспериментального оборудования САЭ в стандарте КАМАК; состав функционального наполнения САЭ, используемого в автоматическом режиме выполнения эксперимента; задание САЭ на автоматическое выполнение эксперимента или очереди экспериментов.

Описания конфигурации оборудования КАМАК и состава функционального наполнения САЭ составляют спецификацию САЭ в рамках данной ПОМС и используются системными модулями в процессе выполнения задания. Системные программные модули и подсистемы ПОМС не зависят от методики эксперимента и выполняют ряд функций, в числе которых: динамическое формирование информационной базы эксперимента; динамическое формирование в оперативной памяти состава функциональных программ, необходимых на данной фазе работы САЭ; коррекция описания текущего состояния эксперимента и сеанса для обеспечения возможности рестарта; рестарт при сбоях и авариях; занесение записей в файл журнала экспериментатора; занесение записей в файл протокола и др.

Функциональное наполнение представлено расширяемым набором программных модулей, хранящихся в специальной библиотеке или в виде файлов ОС RT-II. Все программные модули разработанной ПОМС имеют следующие характеристики: структура модулей совпадает со структурой процедур на языке ПАСКАЛЬ (на список параметров, передаваемых модулю, не наложено ограничений, дополнительных к сформулированным в описании этого языка); все модули независимо транслируются, независимо обрабатываются редактором связей и представляются в перемещаемом формате загрузки .REL; модули используются в режиме ДРП; для использования одного и того же модуля в различных САЭ не требуется повторять трансляцию или редактирование связей; модули, работающие с оборудованием КАМАК, инвариантны к изменениям позиций блоков в крейтах и способу коммутации контроллера крейта; модули, обрабатывающие внешние запросы прерывания, также имеют структуру процедуры; допускается список параметров в процедурах обработки прерываний; модули могут обращаться к подпрограммам резидентной общей библиотеки подпрограмм; модули могут быть написаны на языках ПАСКАЛЬ, МАКРО-II, ФОРТРАН-4; возможно и планируется обеспечение использования других языков программирования.

Резидентная часть системы включает управляющую программу, перемещающий загрузчик функциональных программных модулей, подсистему динамического распределения памяти, резидентную библиотеку общих подпрограмм, динамически формируемую информационную базу эксперимента. Начальное состояние резидентной части системы перед любым экспериментом одно и то же. Основной режим - продолжение ранее прерванной работы. Управляющая программа (обращаясь для этого к виртуальным процессорам) читает файл описания текущего состояния эксперимента и файл задания, формирует и загружает в память информационную базу эксперимента, загружает в оперативную память те функциональные программные модули, которые требуются в соответствии с алгоритмом работы на данной фазе эксперимента и продолжает работу.

```
PROGRAM SESSION;
TYPE
NAME = ARRAY [1..63] OF CHAR;
DATA = RECORD
D:INTEGER; (* ДАТА (В ФОРМАТЕ СИСТЕМЫ RT-11) *)
T:REAL; (* ВРЕМЯ (В ЕДИНИЦАХ ПО 20 НС) *)
END;
STATE = RECORD
S,C,B,E:INTEGER; (* ЗНАЧЕНИЯ СЧЕТЧИКА: НАЧАЛЬНОЕ, ТЕКУЩЕЕ,
ДЛЯ ПРИОСТАНОВКИ, КОНЕЧНОЕ. *)
SPN,EPN:NAME; (* НАЗВ. ПРОЦЕССОРОВ НАЧАЛА И КОНЦА *)
COUN:REAL; (* ПАРАМЕТР ОКОНЧАНИЯ ПО СТАТИСТИКЕ *)
LB,LE:DATI; (* НАЧАЛО, КОНЕЦ РАБОТЫ *)
STAT:INTEGER; (* КОД СОСТОЯНИЯ *)
END;
CSDE = RECORD
SE,EX,PA:STATE; (* ОПИСАНИЕ ТЕКУЩЕГО СОСТОЯНИЯ САЭ *)
END;
```

Рис. 2. Структура информационной базы управляющей программы

На рис.2 представлена информационная база управляющей программы, содержащая одинаковые по составу записи для каждого уровня управления, а на рис.3 - управляющая программа, включающая однотипные циклы, соответствующие уровням управления сеансом, экспериментом, пакетом образцов и экспозицией образца. В каждом цикле содержатся инструкции проверки наличия работы для данного уровня управления, загрузки (LM) и выполнения (ST) программы подготовки задания для вложенного уровня, выполнения вложенного цикла, а также загрузки и выполнения программы обработки результатов, полученных во вложенном цикле. Названия программы подготовки задания и обработки результатов содержатся в информационной базе в записях для данного уровня (рис. 2). Управляющая программа, представленная на рис.3, является основной управляющей программой САЭ. Программы циклов в сочетании с виртуальными программами подготовки задания и обработки результатов,

```

VAR
SESS:CSDE;
SAFR:NAME;
...
BEGIN
...
WITH SESS DO
BEGIN
WHILE SE.C (= SE.B DO
BEGIN
LM(SE.SFN):ST;
WHILE EX.C (= EX.B DO
BEGIN
LM(EX.SFN):ST;
WHILE PA.C (= PA.B DO
BEGIN
LM(PA.SFN):ST;
LM(SAPR):ST;
PA.C:=PA.C+1;
LM(PA.EFN):ST;
END;
PA.C:=PA.S;
EX.C:=EX.C+1;
LM(EX.EFN):ST;
END;
EX.C:=EX.S;
SE.C:=SE.C+1;
LM(SE.EFN):ST;
END
END.

```

Рис.3. Управляющая программа.

названия которых заданы в информационной базе, являются процессорами соответствующих уровней управления (процессорами сеанса, эксперимента и т.д.).

Инструкции загрузки (LM) и выполнения (ST) модулей являются обращениями к подсистеме динамического распределения памяти. Эта подсистема использует "кольцевой" буферный участок оперативной памяти (поле ДРП) размером около 10К слов. Поле ДРП состоит из двух смежных частей: области фиксации и кольца ДРП, граница между которыми меняется динамически. Примерная схема состояния поля ДРП с использованием фиксации ПМ представлена на рис.4.

Использование кольцевого буфера дает возможность выполнять работу САЭ в условиях, когда при определенных фазах работы САЭ в оперативной памяти (на поле ДРП) динамически формируются кластеры программных модулей, необходимых для обеспечения нужного на этой фазе программного сервиса. При загрузке очередного потребовавшегося модуля память для него в буфере высвобождается по дисциплине FIFO. Перед загрузкой просматривается список присутствующих в буфере модулей, что устраняет избыточные операции загрузки.

В процессе разработки модульной организации ПОМС были решены также проблемы организации резидентной библиотеки общих процедур с

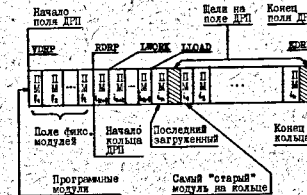


Рис. 4. Структура поля ДРП

фиксированными адресами входа; модульной организации программ на языке ПАСКАЛЬ (в том числе и для ПО оборудования КАМАК); комплексирования модулей в систему; динамического распределения памяти для программных модулей на языке ПАСКАЛЬ; организации взаимодействия между управляющей программой и модулями и др.

Отдельные компоненты комплекса и разработанные методы обладают автономностью и могут быть использованы для решения более частных проблем. Это относится, например, к программам ДРП, методике модульной организации программ на ПАСКАЛе, методике программирования подсистем для работы с оборудованием КАМАК, средствами управления составом резидентной библиотеки и др.

Четвертая глава содержит сравнительный анализ подходов к программированию оборудования КАМАК средствами, рекомендованными комитетом ESONE и средствами базового языка. Выполнен также анализ зависимости программ от характеристик, обусловленных текущим состоянием стандарта КАМАК. На основании анализа предложен новый подход к программированию оборудования КАМАК, состоящий в использовании для этой цели базового языка общего назначения (языка высокого уровня) без дополнения его специальными средствами программирования оборудования КАМАК. Предпосылкой этого предложения послужило развитие средств и методов программирования общего назначения за время с момента появления стандарта КАМАК и предложений ESONE. Основными доводами в пользу предлагаемого подхода можно считать устранение необходимости разработки специальных средств программирования, дополнительных к имеющимся, и возможность практически полного учета особенностей кон-

кретной реализации оборудования. Базовые средства программирования, ввиду их централизованной разработки и распространения, представляют также более перспективной основой для унификации программного обеспечения оборудования КАМАК, чем специализированные. Помимо этого, ориентация на программирование средствами базового языка стимулирует разработку методов программирования вместо разработки специализированных дополнительных средств программирования. Такая замена должна иметь ряд очевидных позитивных следствий, в числе которых – сокращение дублированных работ и ускорение распространения опыта.

Разработан новый метод программирования оборудования КАМАК – метод описания структуры оборудования (МОС), заключающийся в том, что регистры оборудования обозначаются идентификаторами путем описания структуры оборудования (состава регистров и способа их адресации) в виде структуры данных, структура отображается на адресное пространство, выделенное оборудованию, в результате этого обеспечивается доступ к регистрам и их идентификаторы могут использоваться в выражениях применяемого языка программирования.

Предлагаемый метод опирается на возможность: средствами используемого языка описать структуру конкретной реализации оборудования структурой данных; заполнить эту структуру данных нужными исполнительными адресами и другими значениями.

Формально для реализации метода в современных языках (например, ПАСКАЛЬ, СИ и др.) вообще не требуется дополнительного программирования.

На рис. 5а приведен пример такого описания структуры на языке ПАСКАЛЬ для контроллеров СС-II, к ЭЕМ СМ-3, К-106, КК-16 и др. На рис. 5б представлены примеры способов записи операций с оборудованием КАМАК на том же языке и применительно к представленному варианту описания структуры оборудования. Данный способ кодирования операций КАМАК представляется достаточно простым и наглядным. Очевидно, запись алгоритмов блочных передач может быть эффективно выполнена с использованием средств организации циклов в базовом языке.

Перед использованием программы описание структуры оборудования КАМАК необходимо заполнить данными. На языке ПАСКАЛЬ это может быть выполнено, например, инструкциями, записанными в процедуре САМАДР (рис. 5б), либо иным способом. Заполнение или модификация описания может выполняться динамически.

```

TYPE
  CRTREG=RECORD CSR,DHR,DHR:INTEGER END;
  BLKREG=RECORD A0,A1,A2,A3,A4,A5,A6,A7,A8,A9,
               A10,A11,A12,A13,A14,A15:INTEGER END;
  CRATE =RECORD REG:^CRTREG;
               N :^BLKREG; END;
  CAMAC =^CRATE;
(*-----*)
VAR
  COUNTER:CAMAC;
  I(*ДАННЫЕ*),F(*КАМАК-ФУНКЦИЯ*):INTEGER;
  BOOL:BOOLEAN;
(*-----*)
PROCEDURE CAMADR(VAR BLOCK:CAMAC;CSRADR:STATION:INTEGER);
VAR
  CNVRSN:RECORD CASE INTEGER OF 1:(SOURCE:INTEGER);
                                2:(REGRESULT:^CRTREG);
                                3:(NRESULT:^BLKREG) END;

  BEGIN
    WITH BLOCK^ DO
      BEGIN
        CNVRSN.SOURCE:=CSRADR; REG:=CNVRSN.REGRESULT;
        CNVRSN.SOURCE:=CSRADR+32*STATION; N:=CNVRSN.NRESULT
      END
    END;
(*-----*)
PROCEDURE ACTION; BEGIN ... END;
(*-----*)
BEGIN
  (* СОЗДАНИЕ ОПИСАНИЯ БЛОКА COUNTER, ПОМЕЩЕННОГО НА СТАНЦИИ 3;
     КРЕЙТА 2 И ЗАПОЛНЕНИЕ ЕГО ДАННЫМИ. *)
  NEW(COUNTER); CAMADR(COUNTER,166000B,3);
  (* ПЕРЕЗАПИСЬ КОДА ФУНКЦИИ F В РЕГИСТРЕ CSR. *)
  F:=2; COUNTER^.REG^.CSR:=COUNTER^.REG^.CSR AND 177740B+F;
  (* ЧТЕНИЕ РЕГИСТРА A0 БЛОКА COUNTER. *)
  I:=COUNTER^.N^.A0;
  (* БОЛЕЕ ВЫСТРАЯ ФОРМА ПРЕСТАВЛЕНИЯ ТАКИХ ОПЕРАЦИЙ. *)
  WITH COUNTER^.N^ DO BEGIN I:=A0 END;
  (* МИНИМАЛЬНАЯ КАМАК-ЦИКЛА БЕЗ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ. *)
  F:=24; COUNTER^.REG^.CSR:=COUNTER^.REG^.CSR AND 177740B+F;
  I:=COUNTER^.N^.A0(* СБРАШЕНИЕ К РЕГИСТРУ *);
  (* ВЫПОЛНЕНИЕ ДЕЙСТВИЙ ПРИ НАЛИЧИИ СИГНАЛА 0. *)
  IF COUNTER^.REG^.CSR(0) THEN ACTION;
END.

```

Рис. 5. Пример применения метода описания структуры оборудования на языке ПАСКАЛЬ в ОС RT-II для контроллеров типа СС-II; 106А, 106Б (ПОЛОН); К-16 и др.

- а – описание структуры оборудования в виде структуры данных;
- б – вариант способа заполнения описания структуры оборудования данными;
- в – примеры способов записи операций с оборудованием КАМАК на языке ПАСКАЛЬ.

Показана возможность использования метода МОС на других языках (например, ФОРТРАН-4) и для разных типов контроллеров крейта.

Таблица

Измеренная величина времени (ЭВМ PDP-II/20, контроллер IO6)	Данная работа		Система MULTI (Батавия)
	ПАСКАЛЬ	МАКРО-II	
Выполнение одиночной КАМАК- Функции	10+25	5+25	
От возникновения запроса до входа в прерывание	13	13	13
С момента входа в прерывание до первого сигнала КАМАК S2	69+10 _{жк}	0	104
Суммарное время, дополнитель- ное ко времени выполнения процедуры обработки прерывания	13+69+ 10 _{жк} +46- 128+10 _{жк}	18	380

к - количество параметров, передаваемых процедуре обработки прерывания.

Время - в мкс.

Использование разработанного метода программирования МОС на языке ПАСКАЛЬ в ОС RT-II обеспечивает одновременно практически минимальное время выполнения функций КАМАК (возможны одна-две команды ЭВМ) на инициацию одного цикла КАМАК; инвариантность программ по отношению к изменению способов размещения блоков, коммутации контроллера и др. свойства. Скоростные характеристики реализации для ЭВМ PDP-II/20 и контроллера типа IO6, приведенные в таблице, не уступают западной разработке (система MULTI), реализованной на ассемблере. Указанные характеристики обеспечены при разработанной модульной организации ПО КАМАК.

В пятой главе содержится анализ опыта использования разработанных методов и программных средств с 1979 года. В первый год эксплуатации сроки создания ПО САЭ для конкретных экспериментов составляли 3+6 месяцев. При этом была освоена проблемная область, накоплены

библиотеки унифицированных функциональных программных модулей и подтвержден ряд свойств методики: возможность использовать ПМ в ПО различных САЭ без их изменения; преемственность отладки модулей; возможность "слепой" (т.е. в условиях отсутствия ранее освоенного оборудования) комплексной отладки ПО САЭ; возможность управлять сроками реализации ПО САЭ и др. По мере развития библиотеки функциональных ПМ сокращались сроки разработки ПО САЭ и в лучших случаях создание первой работоспособной версии могло составлять несколько дней, а ее модификация - часы работы специалистов. Учитывая, что часто имеющая место независимая разработка САЭ занимает 1-3 года, можно рекомендовать дальнейшее развитие и распространение разработанной методики.

Разработанные методы и средства программирования используются в ЛНФ ОИЯИ (создано более 12 систем автоматизации различных экспериментов на реакторах ИБР-2, ИБР-30), а также в 7 других организациях для различных проблемных областей.

В заключении перечислены основные результаты выполненной работы. Основным итогом работы является разработка новой эффективной методики и программных средств создания САЭ, их развитие и ввод в эксплуатацию для массового изготовления систем автоматизации конкретных экспериментов на реакторах ИБР-2 и ИБР-30.

В процессе работы получены следующие результаты, имеющие самостоятельное научное значение:

1. Предложена, разработана и исследована методика динамического формирования конфигурации программного обеспечения САЭ, обеспечивающая увеличение доли периода эксплуатации в жизненном цикле ПО САЭ по сравнению с другими методиками благодаря инвариантности компонентов относительно изменений ряда условий в период эксплуатации.

2. Исследованы условия применения в САЭ программных средств управления памятью, разработаны, исследованы и развиты варианты алгоритмов динамического распределения памяти, обеспечивающих более эффективное использование оперативной памяти и сокращение затрат на ее перераспределение между программами, чем распространенные алгоритмы для работы с оверлеями и др.

3. На основе анализа современного состояния стандарта КАМАК, средств программирования и опыта использования рекомендаций комитета ESONE предложен и обоснован новый подход к программированию

оборудования КАМАК средствами языков высокого уровня общего назначения, обеспечивающий экономию затрат на программирование оборудования, а также более быстрое и эффективное применение новых языков для решения задач автоматизации по сравнению с подходом E5ONE за счет устранения необходимости предварительной разработки специальных средств программирования оборудования КАМАК.

4. Разработан новый метод программирования оборудования КАМАК средствами языков высокого уровня общего назначения — метод описания структуры оборудования, заключающийся в том, что регистры оборудования обозначаются идентификаторами путем описания структуры оборудования (состава регистров и способа их адресации) в виде структуры данных. Структура отображается на адресное пространство, выделенное оборудованию, в результате этого обеспечивается доступ к регистрам, и их идентификаторы могут использоваться в выражениях. Показана возможность использования метода на языках ПАСКАЛЬ, ФОРТРАН-4 для различных типов контроллеров крейта. Программы, реализованные на языке ПАСКАЛЬ с использованием этого метода, инвариантны к способу размещения блоков в крейтах и расходуют 10+25 мкс на выполнение одной функции КАМАК и около 130 мкс на организацию обработки запросов прерывания, что не уступает западным разработкам, реализованным на ассемблере.

5. Разработана структура типовой САЭ в виде проблемно-ориентированной модульной системы (ПОМС), динамически формирующей конфигурацию программного обеспечения конкретного эксперимента. Реализованы средства составления заданий, системное наполнение ПОМС и ряд модулей функционального наполнения, обеспечивающие автоматическое выполнение очереди различных экспериментов, восстановление работы САЭ с минимальными потерями данных при сбоях и авариях и др. Типовая САЭ с такой совокупностью положительных свойств реализована впервые и превосходит известные западные разработки (например, MULTI) также и по скоростным характеристикам (время организации прерываний ~130 мкс вместо 380 мкс в MULTI).

6. Разработаны методы и средства, позволяющие систему программирования общего назначения на языке ПАСКАЛЬ в ОС RT-II без изменения транслятора превратить в модульную систему программирования задач реального времени, при этом:

— обеспечена возможность при обработке внешних прерываний процедурами на языке ПАСКАЛЬ получить скоростные характеристики не хуже, чем доступные на ассемблере;

— реализован режим независимой трансляции (и редактирования связей) программных модулей и использование их в режиме динамического распределения памяти.

Объем эксплуатируемого программного обеспечения общего назначения, созданного соискателем, превышает 100К слов. Ряд компонентов созданного комплекса средств может использоваться независимо от остальных (например, программы ДРП и перемещающий загрузчик программных модулей, средства для работы с оборудованием КАМАК, средства создания резидентной библиотеки процедур и др.). Основные выводы и утверждения, сделанные в диссертации, подтверждены успешным использованием разработанных средств и методов в 8 организациях с 1979 года. Соискателем, либо при его участии, создано более 10 конкретных систем в ЛНФ ОИЯИ. Всего с применением методов и средств общего назначения, разработанных соискателем, создано и введено в эксплуатацию более 12 систем в ЛНФ ОИЯИ, а также ряд САЭ в 7 других организациях в различных проблемных областях. Использование этих систем позволило получить важные экспериментальные результаты.

Результаты диссертации полностью опубликованы в следующих работах:

1. Балуга Г., Саламатин И.М. Перспективные направления работ, ускоряющие создание систем автоматизации экспериментов. ОИЯИ, П10-85-200, Дубна, 1985.
2. Балуга Г. Условия применимости программных систем управления памятью в системах автоматизации эксперимента. ОИЯИ, П10-84-463, Дубна, 1984.
3. Балуга Г. Программа-компоновщик систем автоматизации эксперимента в комплексе САНПО. ОИЯИ, П10-83-761, Дубна, 1983.
4. Балуга Г., Островной А.И. Динамическое распределение памяти в системе САНПО для ЭВМ типа СМ-3. ОИЯИ, Р-13004, Дубна, 1980.
5. Балуга Г., Саламатин И.М. Динамически формируемая программная система автоматизации экспериментов. ОИЯИ, П10-85-281, Дубна, 1985.

6. Балука Г. Реализация динамического распределения памяти с кольцевой организацией буфера для программных систем на языке ПАСКАЛЬ. ОИИ, IO-84-789, Дубна, 1984.
7. Балука Г., Саламатин И.М. Анализ и развитие способов программирования оборудования КАМАК. ОИИ, IO-84-573, Дубна, 1984.

Рукопись поступила в издательский отдел
10 июня 1985 года.