

тора и окончания сбора переписываются на магнитную ленту, выводятся на экран ЦТВ для визуальной оценки.

Опыт использования описанной системы показал, что она позволяет перевести исследования с применением МГД-генераторов на качественно новый уровень.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Морохов И. Д., Велихов Е. П., Волков Ю. М. Импульсные МГД-генераторы и глубинное электромагнитное зондирование земной коры // Атомная энергия.— 1978.— 44, вып. 3.
2. Велихов Е. П. Плазма исследует недра // Наука в СССР.— 1986.— 3.— С. 14.
3. Безрук И. А., Глинский Б. М., Иванов В. М. и др. Система сбора и оперативной обработки электроразведочных данных // Проблемно-ориентированные вычислительные комплексы.— Новосибирск: ВЦ СО АН СССР, 1986.
4. Анания М. А., Турсунов И. И. Оптоволоконные системы информационного обмена // Электрон. пром-сть.— 1984.— 3.— С. 27.
5. Бокс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов, прогноз и управление.— М.: Мир, 1974.
6. Бухаров М. Н., Олейников А. Я. Технология программирования систем автоматизации экспедиционных радиофизических экспериментов // Технология программирования: Тез. докл. Всесоюз. конф.— Киев: ИК АН УССР, 1986.
7. Бухаров М. Н., Моренков А. Д. Унификация сбора, регистрации, оперативной обработки данных и управления в радиофизических экспериментах // Информатика и вычислительная техника: Тез. докл. Всесоюз. семинара молодых ученых и специалистов.— М.: Наука, 1986.

*Поступила в редакцию 12 июля 1988 г.*

УДК 681.3

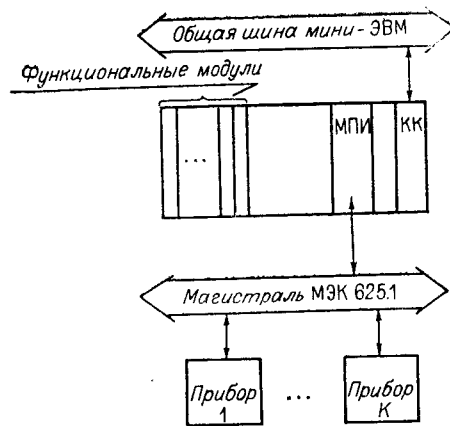
**Н. А. КУЦЕВИЧ, А. Я. ОЛЕЙНИКОВ**

*(Фрязино Московской обл.)*

#### **БАЗОВЫЕ ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ ЭКСПЕРИМЕНТА НА ОСНОВЕ ПРИБОРНОГО ИНТЕРФЕЙСА**

**Введение.** В настоящее время системы автоматизации эксперимента (САЭ) в основном строятся на базе аппаратуры КАМАК. Расширяющийся выпуск приборов, имеющих выход на магистраль приборного интерфейса (МЭК 625.1, ГОСТ 26.003-80, «Канал общего пользования» — КОП) [1], и включение их в САЭ ставят вопрос о выборе наименее трудоемких средств программирования. Для его решения предлагается концепция базовых программных средств (БПС), сущность которой состоит в создании библиотеки программных модулей, позволяющих программисту обойтись без детального знакомства с логической организацией аппаратуры сопряжения и работать только с операторами, описывающими выполнение команд. При этом удобно иметь не библиотеку программ, а библиотеку их образующих модулей: неоднократно встречающиеся в разных программах модули записываются в библиотеку 1 раз. В качестве библиотеки используется пакет программ для модуля КАМАК — модуля приборного интерфейса (МПИ) [2].

**1. Организация САЭ на основе аппаратуры КАМАК и приборного интерфейса.** САЭ на основе приборного интерфейса может содержать приборы четырех типов: приборы-приемники (ПП), приборы-источники (ПИ), приборы-приемисточники (ПИП) и приборы-контроллеры (ПК) [3]. Наиболее сложными с точки зрения номенклатуры выполняемых операций являются приборы четвертого типа. В соответствии со стандартом они должны иметь возможность посылать универсальные, адре-



сованные и вторичные команды и адреса, организовывать обмен между приборами, проводить параллельный опрос, реагировать на запросы приборов, принимать и передавать функции управления. Различают ПК двух типов: работающие автономно и под управлением ЭВМ. Взаимодействие ЭВМ с ПК может осуществляться либо непосредственно через специальный адаптер ЭВМ, например БЭ-9795 для вычислительного управляющего комплекса СМ-1300.1701, либо с помощью стандартных интерфейсов. Ввиду широкого распространения аппаратуры КАМАК в

ИРЭ АН СССР был разработан КАМАК-модуль МПИ, являющийся контроллером в САЭ. Взаимодействие соединенных магистралью приборов производится в результате выполнения 10 интерфейсных функций [4]. На рисунке показана структурная схема САЭ с применением МПИ (1, ..., К — номера приборов, КК — кредит-контроллер КАМАК).

2. Дистрибутив базовых программных средств (ДБПС). 2.1. Представление САЭ. Прибор, подключенный к магистрали приборного интерфейса, может в общем случае реагировать на команды, адресованные только ему (одиночные команды), на команды, адресованные группе приборов, в состав которой входит рассматриваемый прибор, и на команды, адресованные всем приборам, подключенным к КОП. Принимая это во внимание, введем понятие системы, блока, устройства.

Система — это группа приборов, участвующая в реализации конкретного алгоритма.

Группу приборов, объединенную в данный момент для выполнения некоторой интерфейсной функции, назовем блоком. По характеру операций блоки подразделяются на три типа: для реализации параллельного опроса, исполнения адресованных команд и осуществления операций обмена. Состав входящих в блоки приборов может изменяться в процессе реализации некоторого алгоритма.

Под устройством понимается отдельный прибор со своими интерфейсными функциями, за исключением функций, имеющих в блоках, в которые входит данный прибор. Например, рассмотрим САЭ, содержащую три прибора, которые имеют следующие интерфейсные функции: первый прибор (П1) — ПИ, ПП, ЗО (запрос на обслуживание), ОП (параллельный опрос); второй прибор (П2) — ПИ, ПП, ЗО, ОП; третий прибор (П3) — ПИ, ПП, СБ (очистка устройства), ЗП (запуск устройства), ЗО, ОП. Алгоритм работы САЭ:

запуск П3;

ожидание ЗО от П1, П2, П3;

считывание информации из П3 в блочном режиме в ЭВМ;

обработка информации в ЭВМ;

запись обработанной информации с программной организацией передачи каждого байта в П1 и П2;

повторение указанных операций.

Для реализации вышеизложенного алгоритма рационально создать блоки для выполнения функций ОП для П1, П2 и П3 и операций записи в П1 и П2. Адресованные команды СБ, ЗП и операции чтения из П3 относятся только к П3. Поэтому вводим понятие устройства для этих функций.

2.2. Структура ДБПС. Для каждого прибора, входящего в САЭ, предлагается создать область описания прибора, которая содержит необходимую информацию о нем — номер прибора в КОП, интерфейсные функции прибора (табл. 1).

Таблица 1

1-е слово		Номер прибора								
2-е слово	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1

Примечание. D1 — синхронизация источника; D2 — синхронизация приемника; D3 — дистанционное (местное) управление; D4 — запуск прибора; D5 — сброс устройств; D6 — параллельный опрос; D7 — запрос на обслуживание; D8 — резервный; D9 — источник; D10 — приемник.

ДБПС САЭ с точки зрения пользователя имеют максимум четыре точки входа: SET — для установки динамических параметров системы; WRITE — для осуществления операции записи; READ — для проведения операции чтения; SPFUN — для реализации специальных функций [5]. В соответствии с вышеописанным представлением САЭ создаются следующие компоненты ДБПС: ДБПС для общесистемных операций, ДБПС блоков трех типов, ДБПС устройств. ДБПС общесистемных операций (ДБПСОО) позволит реализовать следующие функции: очистку интерфейса, включение дистанционного управления, выполнение универсальных команд, динамическую настройку приборов. ДБПСОО имеет две точки входа, которые являются именами подпрограмм:

CALL SPFUN (параметры, RESULT),

CALL SET (параметры, RESULT),

где RESULT — результат выполнения заданной операции, а параметры определяют специфику выполняемого действия: код специальной функции, код операции, тип изменяемого параметра. ДБПС блоков 1 и 2 (ДБПСБ1, ДБПСБ2) имеют одну точку входа, являющуюся именем подпрограммы SPFUN. Вызов подпрограммы:

CALL SPFUN (параметры, RESULT),

где параметры указывают код специальной функции, адрес списка областей описания приборов, входящих в блок, код и режим выполняемых блоком функций приборов. RESULT содержит информацию о завершении операции или команды. Так, используя ДБПСБ1, можно реализовать в зависимости от кода специальной функции следующие операции: задание конфигурации параллельного опроса, определение содержания параллельного опроса. ДБПС блока 3 (ДБПСБ3) имеет две точки входа: WRITE и READ, являющиеся именами подпрограмм. Параметры их указывают область описания ПИ и адрес списка областей описания ПП.

Для устройств создаются ДБПС, имеющие четыре точки входа, представляющие собой имена следующих подпрограмм: SET, READ, WRITE, SPFUN. Все адресованные команды, обращенные к устройству (в том числе, по желанию пользователя, универсальные команды), реализуются через подпрограмму SPFUN; операции записи и чтения, в которых участвует только ПК и только один прибор, осуществляются через подпрограммы READ и WRITE.

3. Создание БПС для конкретного применения. 3.1. Генерация БПС. БПС для использования при разработке прикладного программного обеспечения конкретной САЭ создается с помощью специальной программы генерации БПС. Необходимые сведения о составе и параметрах БПС задаются пользователем в диалоговом режиме. При генерации определяются следующие параметры БПС: наличие БПСОО, БПСБ1, БПСБ2, БПСБ3, БПС устройств (БПСУ) для конкретной САЭ, режимы выполнения операций обмена, состав отдельной компоненты БПС и т. д. В результате создается файл параметров генерации. Трансляция ДБПС с файлом параметров генерации позволит получить БПС требуемого состава. Таким образом, в общем случае БПС системы (БПСС) складываются из БПСУ, БПСОО, БПСБ1, БПСБ2, БПСБ3.

Соотношение уровней языков для двух алгоритмов

Типы реализации прикладной программы	Соотношения уровней языков для первого алгоритма				Соотношения уровней языков для второго алгоритма				
	$\lambda_1/\lambda_2$	$\lambda_1/\lambda_3$	$\lambda_1/\lambda_4$	$\lambda_1/\lambda_2$	$\lambda_1/\lambda_3$	$\lambda_1/\lambda_4$	$\lambda_1/\lambda_2$	$\lambda_1/\lambda_3$	$\lambda_1/\lambda_4$
На Ассемблере с использованием БПС	0,62805	4,9934	16,993	0,53467	5,5692	15,875			
На Фортране с применением БПС	1,5922	9,7287	18,919	1,8702	8,5692	18,947			
На Ассемблере с использованием пакета подпрограмм для МПИ	0,20026	0,1028	4,4598	0,17995	0,1167	5,8897			
На Ассемблере без применения дополнительных программных средств	0,05884	0,0528	0,2242	0,06299	0,0527	0,18553			

Когда в состав САЭ входит только один прибор, имеющий выход на магистраль приборного интерфейса, БПС системы и БПС устройства совпадают и не являются избыточными. Если САЭ состоит из достаточно большого количества приборов, то наиболее вероятна избыточность БПСУ:

$$\bigcap_{i=1}^N \text{БПСУ}_i \neq 0,$$

где  $N$  — количество устройств в САЭ.

Во избежание этой избыточности можно создавать в процессе генерации БПСУ системы (БПСУС)

$$\text{БПСУС} = \bigcup_{i=1}^N \text{БПСУ}_i - \bigcap_{i=1}^N \text{БПСУ}_i.$$

Следовательно, БПС = БПСУС + БПСБ1 + БПСБ2 + БПСБ3 + БПСОО. В зависимости от конкретного алгоритма может быть выбрана оптимальная структура БПС. Так, если в составе САЭ имеется небольшое количество приборов (1—3) или набор интерфейсных функций этих приборов ограничен, то из БПСС можно исключить БПС некоторых компонентов.

3.2. Опыт использования. В САЭ с приборами, имеющими выход на магистраль приборного интерфейса, созданы БПС. Для «Измерителя  $L, C, R$  цифрового Е7-12», «Частотных анализаторов типа 2131 и 2031» фирмы Брюль Кьер и других были сгенерированы БПС устройств, реализующие все интерфейсные функции указанных приборов, т. е. в данном случае БПСУ и программные средства для приборов совпали. БПСС, созданные для САЭ, содержащей указанные приборы и МПИ в качестве системного контроллера, состояли из БПСОО, БПСБ1, БПСБ2 и БПСУ. Объем БПСС в последнем случае значительно уменьшился.

4. Сравнительный анализ программирования САЭ на основе КОП. Для конкретных САЭ с использованием перечисленных выше приборов реализованы несколько алгоритмов на Ассемблере с применением БПС, на Фортране с применением БПС, на Ассемблере с пакетом подпрограмм для МПИ [2] и на Ассемблере без применения дополнительных программных средств. В табл. 2 приведены соотношения уровней языков

программирования, рассчитанные на основе соотношений, предложенных М. Х. Холстедом для двух алгоритмов [6]. В таблице  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$ ,  $\lambda_4$  — уровни языков прикладных программ, реализующих алгоритмы соответственно на Ассемблере с БПС, на Фортране с БПС, на Ассемблере с применением пакета подпрограмм для МПИ и на Ассемблере без применения дополнительных программных средств.

**Заключение.** В соответствии с полученными результатами использование БПС для САЭ на основе приборного интерфейса снижает уровень трудоемкости программирования, а следовательно, уменьшает время создания САЭ. Применение БПС позволяет пользователю не вникать в особенности сопряжения ЭВМ с САЭ.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Interface System for Programmable Measuring Apparatus Byte — Serial Bit-Parallel IEC // Technical Committee 60.— Geneva, 1975.— N 22.
2. Бочарова Р. В., Вуколиков В. М., Лопатин В. И. и др. Опыт совместного использования аппаратуры в стандарте КАМАК и МЭК 625.1: Технические средства и особенности разработки программного обеспечения // Новости ИАИ.— 1986.— № 2.
3. Гореликов Н. И., Домарацкий А. Н., Домарацкий С. Н. и др. Логические соотношения в интерфейсных функциях прибора-приемника по стандарту МЭК // ПТЭ.— 1979.— № 1.
4. Гореликов Н. И., Домарацкий А. Н., Домарацкий С. Н. и др. Интерфейс для программируемых приборов в системах автоматизации эксперимента.— М.: Наука, 1981.
5. Бухаров М. Н. Применение концепции базовых программных средств для программирования систем реального времени на основе аппаратуры КАМАК // Тр. Междупарод. семинара по проблеме реализации комплексной программы научно-технического прогресса стран — членов СЭВ до 2000 года.— Кипшпев: ЦАНИ И АН МССР, 1987.
6. Холстед М. Х. Начала науки о программах.— М.: Финансы и статистика, 1981.

*Поступила в редакцию 24 мая 1988 г.*

УДК 621.315.592.593.231

**С. В. ИВАНОВ, П. С. КОПЬЕВ, Б. Я. МЕЛЬЦЕР, А. Н. РАЕВ,  
А. П. СОЛониЦЫНА, С. В. ШАПОШНИКОВ**

*(Ленинград)*

#### **АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ МОЛЕКУЛЯРНО-ПУЧКОВОЙ ЭПИТАКСИИ**

В настоящее время молекулярно-пучковая эпитаксия (МПЭ) является одним из наиболее перспективных технологических методов создания совершенных приборных гетероструктур для целей полупроводниковой микро- и оптоэлектроники и СВЧ-техники [1]. Однако исключительные возможности создания сложных приборных структур, предоставляемые методом МПЭ, как то: контроль и управление толщиной выращиваемой монокристаллической пленки с точностью до одного молекуларного слоя, резкое (на протяжении 1-2 монослоев) и (или) плавное изменение ее состава и уровня легирования в широких пределах — не могут быть полностью реализованы без привлечения средств автоматизации. С одной стороны, средства автоматизации позволяют осуществлять одновременный контроль большого количества технологических параметров в соответствии с заданной программой непосредственно в процессе роста. С другой стороны, автоматизированная система с развитым программным обеспечением может помочь в выборе оптимальных техноло-

© 1990 Иванов С. В., Копьев П. С., Мельцер Б. Я., Раев А. Н., Солоницына А. П., Шапошников С. В.