

Рис. 3. Блок-схема соединения датчиков системы автоматического измерения параметров оптического стекловолокна с модулями КАМАК.

автоматизированного измерения и обработки параметров оптического стекловолокна в процессе его вытяжки.

Установка позволяет определять и выводить в реальном времени на пульт оператора (алфавитно-цифровой дисплей) информацию о текущем диаметре волокна, среднем диаметре и его дисперсии; зависимости суммарных и дифференциальных потерь света в волокне от длины вытянутого волокна; мгновенной и средней скоростях вытяжки и ее дисперсии в процессе вытяжки; длине вытянутого волокна.

В установке использованы пять датчиков, которые обслуживаются пятью модулями КАМАК (рис. 3).

Установка дала возможность обнаружить и исследовать ряд новых свойств стекловолокна и получить волокна с очень малым затуханием света ( $\sim 0,8$  дБ/км).

Поступила в редакцию  
18 июня 1979 г.

УДК 58.08 : 681.3

А. Н. ВЫСТАВКИН, Ю. А. ДЕДОВ, Г. Н. КУКЛИН,  
А. Я. ОЛЕЙНИКОВ, Е. В. ПАНКРАЦ, С. С. ПАРЦЕВСКИЙ,  
Л. З. ПОСОШЕНКО, А. И. СМУРЫГОВ, С. Н. ХРУЩЕВ  
(Москва)

### ПРОБЛЕМНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ КОМПЛЕКСЫ НА БАЗЕ ЭВМ СМ-3, СМ-4 И АППАРАТУРЫ КАМАК ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

1. Введение. Академией наук СССР и Министерством приборостроения, средств автоматизации и систем управления намечена совместная программа, в соответствии с которой проводятся разработки и осуществляется промышленный выпуск средств вычислительной техники и на их основе создаются системы автоматизации научных исследований. Большая часть этой программы основана на использовании мини-ЭВМ СМ-3 и СМ-4 и аппаратуры сопряжения ЭВМ с экспериментальными установ-

ками и приборами в международном стандарте КАМАК. Первые наборы таких средств начали выпускаться и поставляться в научно-исследовательские организации в 1978 г.

Главным вопросом при организации разработок и производства этих наборов является выбор состава их технических и программных средств исходя из первоочередных потребностей исследователей при ограничениях, накладываемых уже освоенной основной вычислительной техникой, традициями и порядками планирования в промышленности, государственными стандартами и т. п.

При построении систем автоматизации научных экспериментов на базе мини-ЭВМ и аппаратуры КАМАК возможны два основных подхода:

1. На основе анализа требований к системе автоматизации данного конкретного эксперимента определяются структура системы, ее состав, включая мини-ЭВМ, штатное периферийное оборудование и устройства КАМАК, состав системного и прикладного программного обеспечения. После этого заказывается нужный набор технических и программных средств, который вводится в эксплуатацию поставщиком или самим пользователем. В течение ряда лет такой опыт практикуется, например, фирмой «Энертек — Шлюмберже». При этом используется стандартное базовое программное обеспечение, а программы управления КАМАК-аппаратурой и другие прикладные программы пишутся пользователем. Этот подход встречает две основные трудности: 1) в наших условиях затруднена комплектация системы техническими средствами; 2) создание программного обеспечения системы представляет весьма трудоемкий процесс.

Обе эти трудности приводят к значительному увеличению времени создания систем автоматизации, к отвлечению сил исследователей от основных научных задач.

2. Второй подход [1] заключается в использовании так называемых базовых типовых проблемно-ориентированных измерительно-вычислительных комплексов (ИВК). Измерительно-вычислительный комплекс представляет собой не просто набор технических и программных средств, а именно комплекс, состоящий из ЭВМ, сопряженной с аппаратурой КАМАК, тестового и метрологического обеспечений. Проблемная ориентация комплекса выражается в составе набора входящих в него технических и программных средств в зависимости от класса задач, для решения которых он предназначен.

При создании конкретных систем базовый состав ИВК, и в первую очередь состав аппаратуры КАМАК и ее программное обеспечение, может несколько изменяться. ИВК можно образно сравнить с костюмом-полуфабрикатом, требующим подгонки на заказчике.

Этот подход близок к подходу при создании управляющих вычислительных комплексов (УВК) для АСУ, в частности для АСУ ТП (технологическими процессорами).

В пользу второго подхода приводится ряд соображений [1], наиболее важное из которых состоит в том, что этот подход позволяет организовать промышленный выпуск аппаратуры, имеющей метрологическую аттестацию в сформированном составе, необходимые средства диагностики и эксплуатационную документацию. При этом появляется возможность централизованного технического обслуживания ИВК, как это сейчас делается в отношении ЭВМ.

Предполагается, что на основе применения проблемно-ориентированных ИВК, строящихся в соответствии с изложенными принципами, достигается максимальное сокращение сроков и снижение затрат при создании систем автоматизации научных экспериментов [2].

Можно, однако, заметить, что стоимость ИВК совместно с пуском его в эксплуатацию приблизительно в два раза превышает стоимость ЭВМ и аппаратуры КАМАК, приобретаемой «россыпью». Существует также

опасение, что концепция создания и использования ИВК, развитая в значительной мере по аналогии с АСУ ТП, может оказаться не совсем оправданной для построения систем автоматизации научных экспериментов, поскольку характер научных задач таков, что они требуют гораздо большего разнообразия систем автоматизации и гораздо более частой их перестройки. Недаром КАМАК возник именно в задачах автоматизации научных экспериментов. В частности, замена одного модуля КАМАК, входящего в состав ИВК, приводит к существенным изменениям в документации на ИВК.

При имеющихся в настоящее время условиях мы выбрали второй подход.

Ответить на вопрос о том, какой подход лучше, можно только сравнением опыта применения обоих подходов.

В данной статье излагаются соображения, на основе которых формировался состав первых ИВК, и обобщается опыт их разработки.

**2. Определение основных направлений проблемной ориентации.** При определении требований к первым ИВК учитывался зарубежный и отечественный опыт применения мини-ЭВМ и аппаратуры КАМАК. При этом принимались во внимание характер или класс эксперимента; число экспериментов, обслуживаемых с помощью одной ЭВМ.

Наиболее массовый класс экспериментов представляют собой эксперименты, проводимые общезысическими методами, которые следует отличать от ядерно-физических методов. К общезысическим методам относятся методы, применяемые в таких областях, как изучение из космоса Земли, солнечной системы, дальнего космоса [3]; наземные исследования Солнца, околоземного и околосолнечного пространства, распространения радиоволн и лазерного излучения в атмосфере; астрономия, радиоастрономия, радиолокационная астрономия; физика плазмы; спектроскопия и кристаллография; лабораторные исследования по физике твердого тела, физике низких температур, физической и квантовой электронике, гидродинамике, термодинамике и т. д.

Наиболее распространенными являются последние четыре типа исследований. Соответствующими им методами пользуются и во многих других естественнонаучных исследованиях (химия, биология, геофизика и т. д.). Экспериментов с применением таких методов в Академии наук СССР более половины. На перечисленные методы и были ориентированы первые ИВК. Эти же методы определяют и состав необходимых модулей.

Как известно, в соответствии с КАМАК-классификацией устройства КАМАК разбиваются на следующие группы: 1) модули данных; 2) системное управление; 3) тестовое оборудование; 4) секции, источники питания, компоненты, дополнительные устройства.

Основное отличие состава модулей для общезысических исследований от состава модулей, необходимых для ядерно-физических экспериментов, относится к группе модулей данных. Что касается остальных групп, где модули слабо зависят от области исследований, то здесь из большого многообразия следовало выбрать модули наиболее широкого применения (дело в том, что всего в мире разработано к настоящему моменту более тысячи типов модулей).

Второе соображение при определении состава ИВК основывается на том, что требования к ЭВМ, в первую очередь по быстродействию и объему памяти, могут различаться для экспериментов одного типа, но с разными информационными характеристиками. Кроме того, как известно, с помощью одной мини-ЭВМ может обслуживаться более чем один эксперимент.

На основе этих соображений первоочередные ИВК разрабатываются и выпускаются с ориентацией на общезысические исследования со следующим назначением:

ИВК-1 — автоматизация относительно небольших экспериментальных установок;

ИВК-2 — автоматизация отдельных крупных экспериментальных установок или двух небольших установок;

ИВК-3 — автоматизация спектральных (или им подобных) установок;

ИВК-4 — автоматизация нескольких экспериментов в масштабе лаборатории.

3. **Измерительно-вычислительные комплексы ИВК-1 и ИВК-2.** При выборе конфигурации ИВК, предназначенного для автоматизации отдельных сравнительно небольших экспериментальных установок, следовало учитывать и стоимость ИВК с тем, чтобы она была сравнима со стоимостью установки, а не оказалась бы существенно более высокой.

При определении состава первого ИВК, использовался опыт ряда академических организаций, в частности многолетний опыт, накопленный в ИРЭ и СКБ ИРЭ АН СССР по автоматизации исследований свойств полупроводников на основе измерения вольт-амперных характеристик и э. д. с. Холла [4]. Эти измерения лежат в основе всех исследований в области физики и техники полупроводников.

В состав ИВК-1 входят (рис. 1, 2):

1) базовый комплект СМ-3 (процессор, ОЗУ 28 Кслов, накопители на магнитных дисках, устройства ввода-вывода перфоленты (УВВ ПЛ), алфавитно-цифровой дисплей (АЦД) и алфавитно-цифropечатающее устройство);

2) два крейта, размещенные в той же стойке, что и диски, и снабженные крейт-контроллерами; крейты могут быть вынуты из стойки и расположены на расстоянии до 3 м от ЭВМ;

3) набор модулей, входящих в каждый из крейтов (крейт № 1).

А. Входные модули, обеспечивающие ввод информации в ЭВМ: коммутатор аналоговых сигналов, аналого-цифровой преобразователь (АЦП), регистр запросов, входной регистр (2 шт.), счетчик импульсов, генератор слов.

Б. Выходные модули, обеспечивающие вывод информации из ЭВМ и управление экспериментальной установкой: выходной регистр (2 шт.), генератор тактовых импульсов, цифроаналоговый преобразователь (ЦАП).

В. Тестовое оборудование для проверки и настройки модулей: индикатор магистрали, ручной контроллер, генератор/регистр слов, удлинитель.

Г. Дополнительные устройства для расширения системы: преобразователь 24/12 В, необходимый для питания АЦП и ЦАП; конструктивы модулей с макетными платами (чтобы пользователь мог создавать макетным способом свои специфические модули).

Для ускорения выпуска ИВК-1 и ИВК-2 в основном использовались модули фирмы «Polon» (ПНР), уже промышленно выпускаемые к моменту начала производства ИВК. Дополнительно были разработаны лишь крейт-контроллер и ЦАП.

ИВК-2 (рис. 3) отличается только тем, что он строится на базе ЭВМ СМ-4, обладающей большей вычислительной мощностью и большим объемом ОЗУ (64 Кслов), чем ЭВМ СМ-3.

В состав ИВК-1 и ИВК-2 входит также имитатор объекта — набор кабелей для соединения лицевых панелей модулей, размещенных в крейте для образования определенным образом замкнутых цепочек. Имитатор применяется при тестировании КАМАК-аппаратуры (см. п. 4. 2).

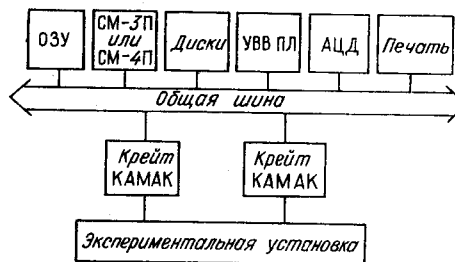


Рис. 1. Обобщенная структурная схема ИВК-1 и ИВК-2.

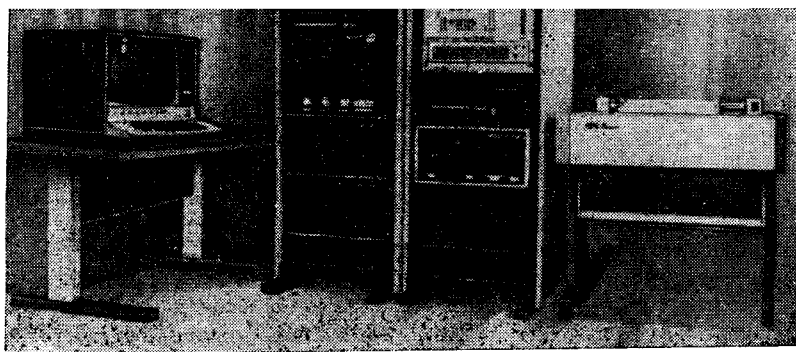


Рис. 2. Общий вид ИВК-1.

4. Программное обеспечение. В состав базового программного обеспечения ИВК-1 и ИВК-2 входят:

ПЛОС СМ — перфоленточная операционная система (в составе ИВК-2 не поставляется);

ДОС СМ — дисковая операционная система;

ДОС РВ — дисковая операционная система реального времени;

монитор КАМАК;

комплект тестов.

ПЛОС СМ — это программный комплекс, предназначенный для подготовки, отладки и выполнения программ пользователя на языке Ассемблер в однопрограммном режиме. Система отличается сравнительно слабыми возможностями, но не требует наличия дисков. Таким образом,

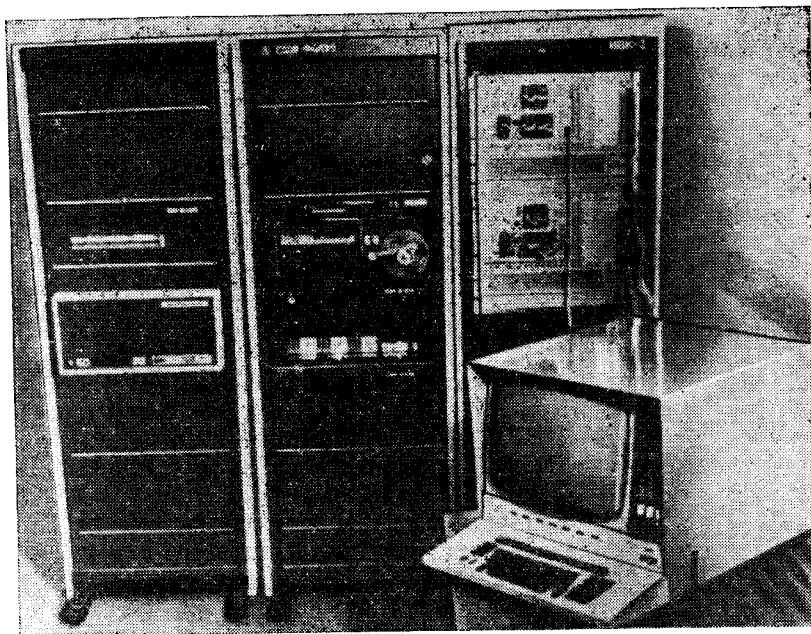


Рис. 3. Общий вид ИВК-2.

ПЛАС СМ можно рассматривать как вспомогательный вариант на случай отсутствия или выхода из строя дисков.

ДОС СМ — набор системных программ, предназначенных для подготовки и отладки программ в однопрограммном диалоговом и пакетном режимах на языках Макроассемблер и ФОРТРАН-IV.

ДОС РВ — управляющая система реального времени. Благодаря ей осуществляются решение нескольких задач реального времени и разработка программ пользователя в фоновом режиме. Система обеспечивает обработку файлов прямого доступа и предоставляет средства для построения структур с наложением (оверлейных структур). Она содержит средства для разработки и включения программ обслуживания устройств связи с объектом (см. ниже). Таким образом, ДОС РВ позволяет сочетать проведение эксперимента с обработкой данных и подготовкой новых программ.

Монитор КАМАК представляет собой совокупность подпрограмм, обеспечивающих организацию операций обмена между ЭВМ и модулями КАМАК под управлением ДОС СМ или ДОС РВ. Он допускает работу с модулями КАМАК на языке ФОРТРАН-IV или IML.

Тесты предназначены для проверки работоспособности как ИВК в целом, так и отдельных модулей и групп модулей.

КАМАК-монитор и тесты в отличие от остального программного обеспечения разрабатывались специально для ИВК, поэтому на них следует остановиться подробнее.

4.1. *Средства общения с КАМАК-аппаратурой.* При выпуске ИВК было решено включить программные средства управления КАМАК-аппаратурой в состав стандартных операционных систем и унифицировать эти средства. Названная задача решалась в два этапа.

На первом этапе была создана организующая подсистема, носящая название КАМАК-монитор [5] и написанная на Ассемблере.

На втором этапе осуществлена реализация языка IML, стандартизованного комитетом ESONE [6], описание которой приведено в [7].

В составе ИВК-1 и ИВК-2 поставляется на перфоленте часть указанного программного обеспечения. В полном комплекте оно войдет в состав ИВК-3 и ИВК-4.

Следует отметить, что перечисленные программные средства не связаны жестко с составом аппаратуры КАМАК и поэтому могут применяться как при расширении и модификации ИВК у пользователя, так и при создании новых систем автоматизации из «россыпи» КАМАК-модулей.

4.2. *Принципы машинного тестирования КАМАК-аппаратуры и возможности их применения пользователем.* При построении и использовании систем автоматизации экспериментов важнейшим требованием является обеспечение надежности работы всех элементов системы, для чего применяют методы контроля и диагностики всей аппаратуры, входящей в систему. Для проверки штатного оборудования ЭВМ обычно используют машинные тесты. При создании ИВК, включающего в свой состав аппаратуру КАМАК, было естественным попытаться разработать машинное тестирование аппаратуры КАМАК.

Основное назначение тестов — проверка аппаратуры КАМАК в процессе серийного выпуска ИВК и пуска их в эксплуатацию (т. е. разработка предъявительских тестов). При этом весьма важным вопросом является выяснение возможности использования этих тестов в процессе эксплуатации. Для большинства пользователей, по-видимому, представлялось бы наиболее удобным осуществлять периодическую (например, ежедневную) проверку системы в целом и ее отдельных частей.

Западные фирмы — разработчики КАМАКа поставляют вместе с модулями только распечатку выполненного теста, свидетельствующую о том, что модуль прошел машинную проверку по основным функциям.

Специфика тестирования аппаратуры КАМАК, отличающая его от тестирования штатных устройств ЭВМ (АЦПУ, АЦ-дисплей и др.), обусловлена тремя факторами.

1. Аппаратура КАМАК в отличие от других периферийных устройств представляет собой устройство связи ЭВМ с объектом, отсутствующим в составе ИВК, поэтому достаточно полная проверка аппаратуры КАМАК требует применения дополнительного внешнего оборудования, в том числе имитатора объекта.

2. В стандартных периферийных устройствах ЭВМ предусмотрена степень избыточности, позволяющая локализовать источник сбоя. В большинстве модулей КАМАК такой избыточности нет, и поэтому глубина диагностики ограничивается выявлением неисправного модуля, в смысле правильности его функционирования, а не причины неисправности. Дальнейшее уточнение характера неисправности может проводиться путем ручного тестирования.

3. При создании конкретных систем модули могут быть переставлены в другую станцию и даже в другой край. Поэтому необходимо, чтобы тестовые программы можно было легко адаптировать под конкретную конфигурацию.

Разработанное тестовое обеспечение аппаратуры КАМАК решает два типа задач:

1) общая проверка функционирования всего набора модулей (тест системы);

2) детальная проверка работы отдельных модулей (тесты модулей).

Используемые методы тестирования, а также разработанные для этих целей технические и программные средства описаны в [8].

5. **Метрологическое обеспечение ИВК.** С целью обеспечения надежности результатов, получаемых при использовании ИВК, во ВНИИЭП разрабатывается метрологическое обеспечение ИВК. Для аналоговых модулей (релейный мультиплексор, аналого-цифровой и цифроаналоговый преобразователи) определение индивидуальных метрологических характеристик проводится в автоматическом режиме. Для этих модулей определяются следующие характеристики: величина систематической составляющей погрешности, среднее квадратичное значение случайной, составляющей погрешности, вариация выходного сигнала, допустимое значение погрешности.

Для определения метрологических характеристик применяется программируемый источник калиброванных напряжений Ф7046, управляемый от специального модуля КАМАК. В основе определения метрологических характеристик лежат статистические методы (многократные измерения) и проведение этих испытаний с помощью ЭВМ, входящей в комплекс, что значительно ускоряет метрологическую поверку. Такая поверка осуществляется для каждого экземпляра ИВК на заводе. При наличии необходимых технических средств пользователь также может проводить поверку по мере необходимости. Программы метрологической поверки прилагаются в виде перфолент и содержат программы-драйверы модулей и программы обработки. Сложность использования этих программ так же, как и в случае тестов, связана с необходимостью изменения адресации.

6. **Измерительно-вычислительный комплекс ИВК-3.** Один из наиболее распространенных классов экспериментов, требующих автоматизации, составляют спектральные (или подобные им\*) исследования, имеющие общую методику проведения эксперимента и обработки данных. Характерными чертами для спектральных экспериментов являются малые величины измеряемых сигналов; необходимость управления положением спектрального элемента или другим параметром, изменяющим состояние

\* Имеются в виду измерения одной или нескольких величин в функции другой (ток, магнитное поле, угол поворота и т. д.).

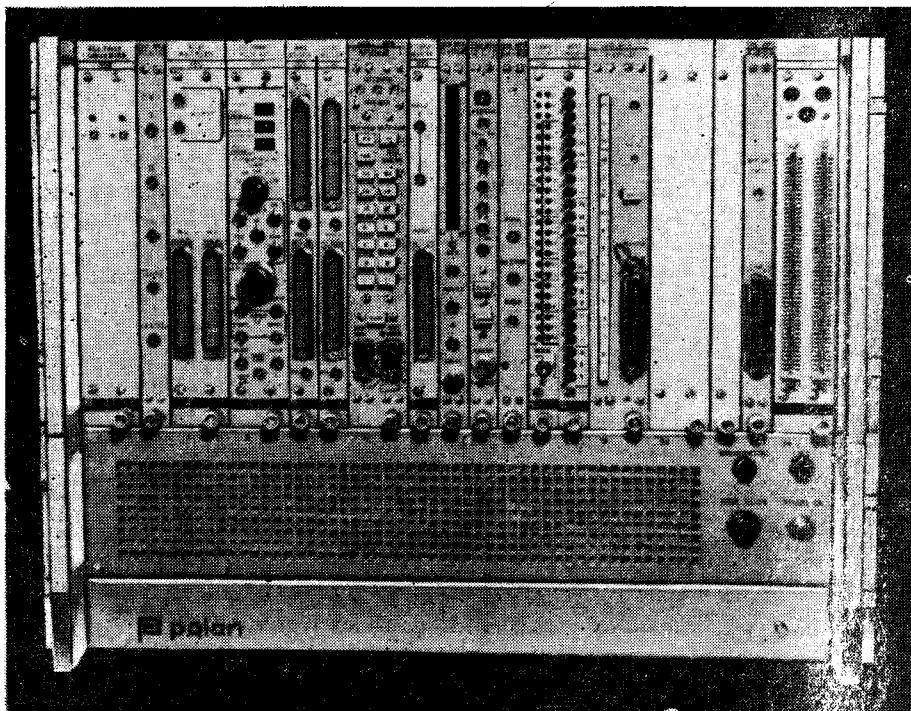


Рис. 4. Общий вид крейта КАМАК № 2.

экспериментальной установки, необходимость графического представления информации.

На основе накопленного опыта в автоматизации спектральных исследований [9] были выработаны требования к ИВК-3, ориентированному на такие и им подобные исследования. В состав модулей крейта КАМАК № 2 (рис. 4), входящего в ИВК-3, было решено ввести модули, разработанные в СКБ ИРЭ АН СССР: 14-разрядный аналого-цифровой преобразователь, синхронизатор-таймер, два модуля управления шаговым двигателем, релейный выходной регистр, два двоично-десятичных счетчика с индикацией; кроме того, в состав ИВК включены цифровой вольтметр Ф-30, имеющий чувствительность 1 мкВ, с соответствующим модулем управления и двухкоординатный графопостроитель Н306К.

В программное обеспечение ИВК-3 включен также пакет прикладных программ для спектрального анализа.

**7. Измерительно-вычислительный комплекс ИВК-4.** Для обеспечения создания автоматизированной лаборатории, в которой проводятся одновременно несколько различных экспериментов общезначимого типа, предназначен комплекс ИВК-4. Он строится на базе ЭВМ СМ-4, имеет дополнительные диски, универсальный программируемый контроллер для подключения различных устройств, переключатель шины для возможности сопряжения с аналогичными комплексами, рулонный графопостроитель Н710, программируемый таймер, универсальный цветной измерительный знакографический индикатор, дополнительную типовую стойку и программно-управляемый калибратор, необходимый для метрологической проверки. Комплекс включает в себя крейты КАМАК № 1, 2 и один крейт с крейт-контроллером и макетными модулями (крейт № 3).

**8. Ближайшие перспективы.** В ближайшем будущем планируется организация выпуска измерительно-вычислительных комплексов ИВК-5, ориентированного на исследования в области ядерной физики и физики высоких энергий, и ИВК-6, в состав которого, кроме уже упоминавших-



ся устройств, войдет микро-ЭВМ «Электроника-60», программно-совместимая с мини-ЭВМ СМ-3 и СМ-4, что позволит строить распределенные системы управления экспериментами и обработки данных измерений для широкого класса исследований во многих областях.

Планируется также выпуск базовых комплектов, содержащих микро-ЭВМ и модули-гальванометры и других устройств, дополняющих ИВК до необходимого состава систем автоматизации научных исследований, и объединения усилий отдельных коллективов для создания общего фонда программного, главным образом прикладного, обеспечения систем автоматизации научных исследований на основе применения измерительно-вычислительных комплексов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кавалеров Г. И. Измерительно-вычислительные комплексы.— Приборы и системы управления, 1977, № 11, с. 23—27.
2. Наумов Б. Н. Международные системы малых ЭВМ — основа автоматизации научного эксперимента.— Измерительная техника, 1978, № 3, с. 9—13.
3. Выставкин А. Н. Вычислительная техника в физических исследованиях.— Вестник АН СССР, 1979, № 1, с. 53—61.
4. Загородний С. Ф., Лозюк В. С., Моренков А. Д., Олейников А. Я. Автоматизация исследований свойств полупроводников на основе измерения гальваномангнитных коэффициентов.— Управляющие системы и машины, 1976, № 3, с. 90—94.
5. Панкрац Е. В., Лозюк В. С. Средства управления аппаратурой КАМАК в ДЭС РВ ЭВМ СМ-3.— В кн.: Материалы XII Всесоюз. школы по автоматизации научных исследований. Бакуриани, 1978.
6. The Definition of IML, a Language for Use in CAMAC Systems.— ESONE Committee, 1974.
7. Казакова И. А., Панкрац Е. В. Реализация языка промежуточного уровня IML на ЭВМ типа СМ-3.— Автометрия, 1980, № 3.
8. Бухаров М. И., Васильев Г. А., Выставкин А. Н. и др. Машинное тестирование аппаратуры КАМАК в составе измерительно-вычислительных комплексов.— В кн.: Автоматизация научных исследований на основе применения ЭВМ. (Материалы конференции). Новосибирск, изд. ИАиЭ СО АН СССР, 1979.
9. Выставкин А. Н. и др. Автоматизация измерений на фурье-спектрометрах длинноволнового инфракрасного диапазона.— Автометрия, 1978, № 2.

*Поступила в редакцию 13 июля 1979 г.*

УДК 539.107.5

**И. Ф. КОЛПАКОВ**

*(Москва)*

### **НЕКОТОРЫЕ КРИТЕРИИ ДЛЯ ВЫБОРА ЭВМ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ**

Спектрометры с проволочными камерами (СПК) служат для изучения одного или нескольких типов взаимодействий с элементарными частицами [1, 2]. Детекторами частиц служат черенковские и сцинтилляционные счетчики, временные и полного поглощения (калориметры), проволочные камеры (пропорциональные и дрейфовые). Автоматизированная