

А. А. АПИКИН, П. М. ПЕСЛЯК, А. А. СОКОЛОВ,
А. П. СОКОЛОВ
(Новосибирск)

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ

Использование экспериментальной установки КАМАК для решения рутинных работ и создало условия для применения вычислительных методов в повседневной практике.

Основу системы составляет комплект оборудования «Микро-КАМАК-лаб»*, в который входят ЭВМ «Электроника-60» с ОЗУ емкостью 28 К слов, алфавитно-цифровой дисплей, накопитель на гибких магнитных дисках, алфавитно-цифровое печатающее устройство, крейт-КАМАК с контроллером, приводами телевизора и самописца. Фактически «Микро-КАМАК-лаб» является персональным компьютером, снабженным устройством сопряжения в стандарте КАМАК. В зависимости от конкретных задач, решаемых системой, в устройство сопряжения могут дополнительно включаться те или иные модули. В нашем случае это четыре 24-разрядных регистра данных, модуль управления электромагнитными реле и телеграфный интерфейс.

Регистры данных предназначены для считывания сигналов с цифровых измерительных приборов. Первоначально для ввода сигналов в ЭВМ использовались аналого-цифровые преобразователи. Это, однако, оказалось неудобным, в первую очередь, из-за отсутствия индикации измеряемого сигнала и малого динамического диапазона АЦП. Сейчас сигналы с фотоприемников и датчиков подаются на цифровые вольтметры, откуда считываются через регистры данных. Четырех регистров данных достаточно для проводимых в лаборатории экспериментов.

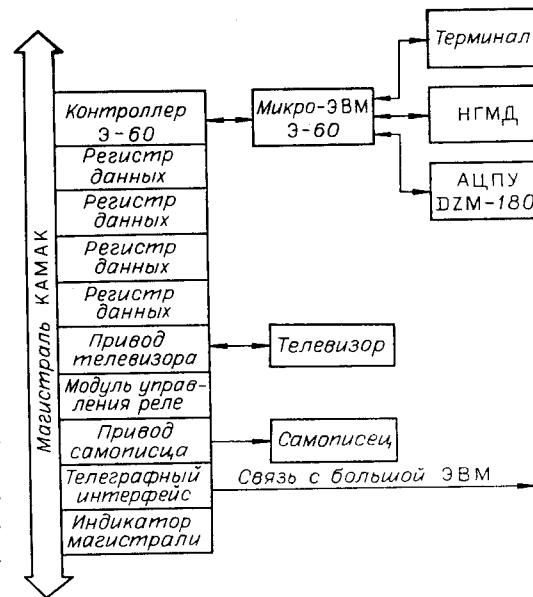
Шестиканальный модуль управления электромагнитными реле применяется для включения и выключения различных устройств, например двигателей, фотозатворов. Для удобства юстировки схем и подготовки эксперимента модуль содержит средства индикации состояний каналов и кнопки ручного переключения.

Связь лабораторной системы с ЭВМ коллективного пользования «Nord-10» осуществляется через телеграфный интерфейс.

Различные экспериментальные установки подключаются к системе с помощью управляемых фотозатворов, прецизионных потенциометров и электромагнитных реле. Управляемые фотозатворы, изготовленные на основе электромагнитных реле, имеют апертуру 3—6 мм и время срабатывания 5—10 мс. Основное их назначение — включение в определенные моменты времени экспонирующего или зондирующего излучения, а также предохранение фотоприемников от мощных источников света. Прецизионные потенциометры встраиваются в качестве датчиков углов и перемещений в приборы, не имеющие соответствующих элементов. Посредством электромагнитных реле обычно производится включение двигателей развертки спектра. Структурная схема системы приведена на рис. 1.

* Гусев О. З. и др. Базовые конфигурации систем «Микро-КАМАК-лаб». — Автоматизация, 1984, № 4.

Рис. 1. Структурная схема лабораторной системы автоматизации.



Программное обеспечение. Программное обеспечение базируется на операционной системе РАФОС (RT-11), дополненной экраным редактором текстов*. Основным функциональным компонентом программных средств является управляющая программа, которая обеспечивает проведение экспериментов, предварительную обработку данных, построение графиков, обмен данными с ЭВМ более высокого уровня, запись данных на гибких дисках. Взаимодействие оператора с управляющей программой интерактивное; оно осуществляется в терминах, понятных пользователю, не обладающему специальной подготовкой в области программирования. Программа имеет модульную структуру, написана на Ассемблере, занимает объем памяти около 6 К слов, может работать с операционной системой RT-11 и без нее. Структура управляющей программы приведена на рис. 2.

Организация данных. Следует отметить, что от организации данных существенно зависят функциональные возможности и структура управляющей программы. В рассматриваемой работе данные хранятся в виде массивов целых чисел, каждый из которых имеет имя и указатель длины. Формат целых чисел был выбран из тех соображений, что диапазон целых чисел ± 32768 вполне удовлетворяет требованиям точности экспериментов и графического представления результатов численных расчетов. Одновременно достигается выигрыш в использовании памяти и в скорости обмена данными. В системе применяются однобуквенные имена массивов, а необходимые комментарии делаются в рабочем журнале либо на гибких дисках. Отметим, что однобуквенными

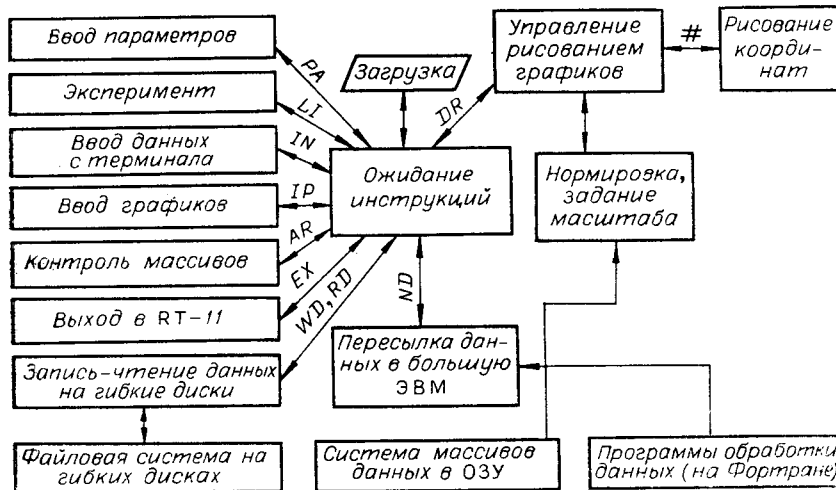


Рис. 2. Структура управляющей программы.

* Экранный редактор текстов TED, разработанный в ИЛиЭ СО АН СССР, широко используется в институтах СО АН СССР.

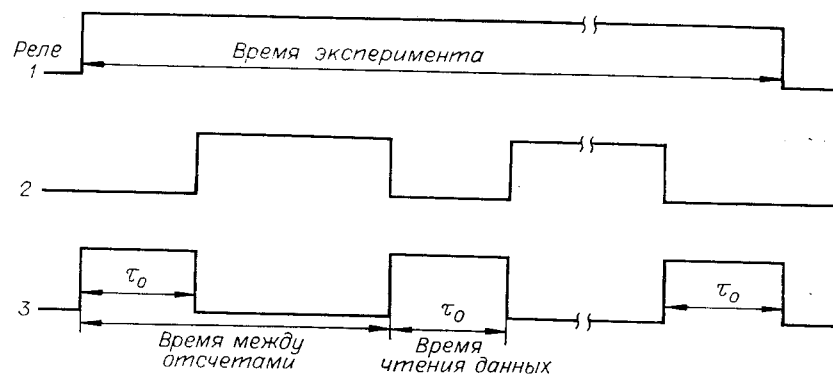


Рис. 3. Временная диаграмма сигналов, управляющих электромагнитным реле.

именами массивов удобней пользоваться в интерпретаторе формул при вычерчивании графиков.

Проведение экспериментов. Наиболее распространенным способом регистрации экспериментальных данных является запись сигналов на самописец. Подпрограмма проведения экспериментов обеспечивает одновременное считывание нескольких сигналов через заданные промежутки времени, т. е. режим многоканального самописца. Кроме того, подаются три управляющих сигнала, включающие электромагнитные реле по алгоритму, временная диаграмма которого приведена на рис. 3. Сигнал на реле 1 подается на время всего эксперимента, с его помощью обычно запускают электродвигатели и нагревательный элемент либо открывают фотозатвор; реле 2 включается одновременно с Р1, но выключается на определенный промежуток времени перед считыванием данных; с помощью этого реле удобно производить развертку спектра с остановкой на время считывания либо открывать источник экспонирующего излучения, который необходимо закрыть на время считывания; реле 3 включается после включения Р2 и находится в таком состоянии в течение времени, необходимого для срабатывания измерительной аппаратуры; Р3 обычно открывает фотозатвор, предохраняющий фотоприемник от мощного экспонирующего излучения.

Наличие управляющих сигналов упрощает подключение к системе самых разнообразных экспериментальных установок. Перед проведением измерений в диалоговом режиме задаются следующие параметры: число отсчетов, интервал между отсчетами, время срабатывания измерительной аппаратуры, названия массивов, в которые будут заноситься регистрируемые сигналы. Измеряемые сигналы выводятся на экран телевизора (рис. 4). По окончании измерений ЭВМ подает звуковой сигнал и переходит в режим ожидания инструкции.

При проведении измерений ЭВМ большую часть времени свободна. Управляющая программа реализует в такие периоды все остальные свои функции (обработку данных, рисование, запись на диски и т. д.) в ре-

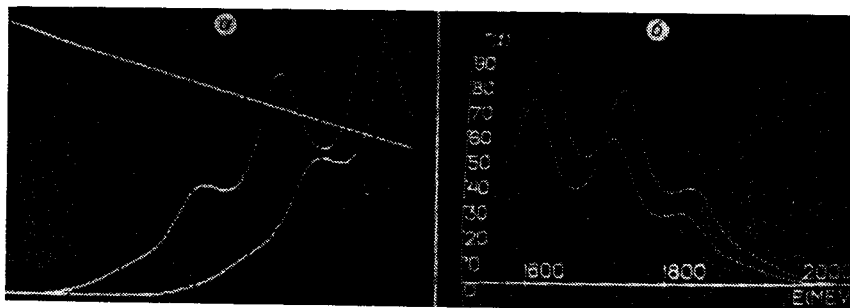


Рис. 4. Пример изображения на экране ТВ измеряемых в эксперименте сигналов: а — во время эксперимента; б — после обработки в секции графического вывода.

жиме меньшего приоритета. Это заметно повышает эффективность системы.

Во время работы часто возникает необходимость просмотреть имена созданных массивов и уничтожить некоторые из них. Для этого введена инструкция, по которой ЭВМ «Электроника-60» печатает список массивов и сообщение: «Какой массив уничтожить?» Массивы уничтожаются по одному, оставшиеся — уплотняются.

Обработка данных и численные расчеты. Простейшая обработка данных (арифметические операции с массивами и вычисление логарифма), необходимость в которой наиболее часто возникает при построении графиков, производится с помощью интерпретатора формул непосредственно при задании параметров рисования. В основном же численные расчеты выполняются на Фортране ЭВМ «Nord-10», связанной с «Электроникой-60» через последовательный интерфейс. В этом случае лабораторная система работает как «разумный» терминал ЭВМ «Nord-10», который, кроме функций обычного терминала, осуществляет обмен массивами данных между ЭВМ.

Пересылка массивов осуществляется программами, написанными на Фортране в ЭВМ «Nord-10». Параметрами подпрограмм пересылки являются размер N и имя X массива в «Nord-10», в который или из которого пересылаются данные. Имена соответствующих ЭВМ «Электроника-60» массивов вводятся оператором в ответ на сообщение: «Какие M массивов пересылать в „Nord“?» ... или «Куда принимать M массивов из ЭВМ „Nord“?»

Организованная таким образом передача данных удобна при обработке большого числа массивов экспериментальных данных по одинаковому алгоритму.

Обработку информации и численные расчеты на Фортране может выполнять и микро-ЭВМ. Этот вариант менее удобен, поскольку возникает необходимость частых манипуляций гибкими дисками: приходится переписывать управляющую программу и данные на диски, а в ОЗУ загружать Фортран RT-11, текстовый редактор, редактор связей и другие необходимые программы.

Обратим внимание, что на структурной схеме управляющей программы (см. рис. 2) отсутствует прямая связь между секциями численных расчетов и графического вывода. Данные, полученные при вычислениях, преобразуются в целые числа, пересылаются в микро-ЭВМ и хранятся в виде массивов (так же как и экспериментальные данные). Тем самым исключается необходимость повторного счета при неправильном задании или изменении параметров рисования; масштаб, положение осей и т. п. выбираются оператором при обращении к секции графического вывода.

На дисках ЭВМ «Nord-10» имеется библиотека, в которую входят программы, написанные пользователями системы для своих задач, программы обмена данными «Электроника-60» — «Nord-10» и программы общего назначения. К последним относятся программы интерполяционного и сглаживающего кубических сплайнов, сглаживания по нескольким точкам, интерполяции полиномами, построения псевдообъемных изображений и т. д. На рис. 5 и 6 приведены примеры, иллюстрирующие ра-

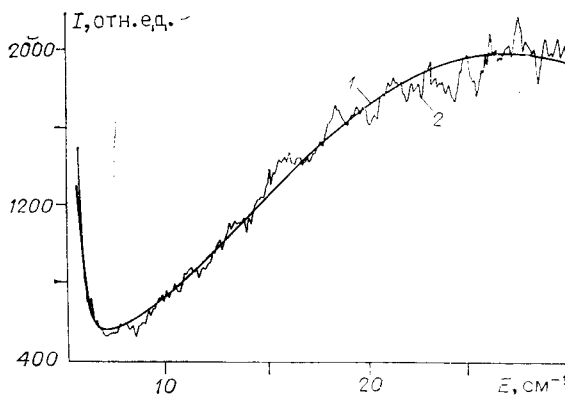


Рис. 5. Пример сглаживания экспериментального сигнала (комбинационного рассеяния света на $\alpha\text{-As}_2\text{S}_3$):

1 — рассчитанный спектр, 2 — исходный сигнал с фотоприемника.

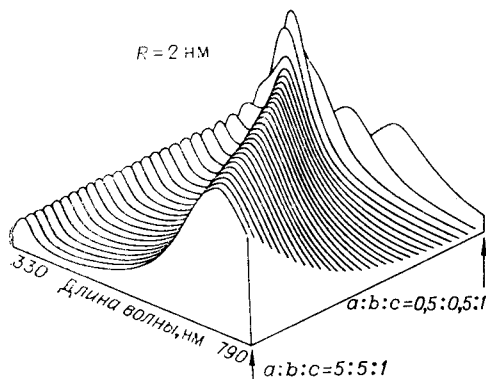


Рис. 6. Псевдообъемное изображение, полученное при моделировании спектров поглощения мельчайших частиц серебра.

боту процедур сглаживания по точкам и построения объемных изображений.

Ввод данных с терминала. Довольно часто возникает необходимость ввести в ЭВМ последовательность чисел для последующей обработки. Это можно сделать с помощью команды INPUT. Перед

вводом данных указываются количество вводимых точек и имя массива. Данные вводятся в виде целых чисел.

Эта же подпрограмма позволяет просматривать и исправлять содержимое имеющихся массивов. При работе цифровых измерительных приборов во время эксперимента иногда происходят «выпадения» точек. Значение неверной точки можно заменить, например, среднеарифметическим двух ближайших точек.

Запись/чтение данных на гибких дисках. Каждый из экспериментаторов, работающих с системой, располагает несколькими «личными» дисками, на которых хранятся экспериментальные данные и результаты расчетов. Для записи-чтения на гибких дисках используется файловая система ОС RT-11. Это дает возможность обращаться к данным из других программ, работающих в RT-11. При записи информации в диалоговом режиме указывается, какие массивы будут записываться и в какой файл; делаются комментарии содержимого каждого из массивов. При чтении данных указывается имя считываемого файла и имена, присваиваемые считываемым массивам. После считывания на терминале печатаются комментарии к соответствующим массивам.

Слияние массивов. В спектральных исследованиях измерение спектра иногда производится в два приема: сначала регистрируется один участок спектра, затем меняются решетки или фотоприемники и записывается другой участок. При этом получаются два массива данных, которые желательно объединить. Для этой цели введена инструкция слияния массивов LET. Поскольку объединение спектров имеет смысл лишь при условии их масштабного соответствия, объединяемые массивы могут подвергаться арифметическим операциям.

Вычерчивание графиков. В секции графического вывода предусмотрены следующие возможности:

построение зависимостей $Y(x)$, $X(y)$ параметрически заданных кривых $(Y(t), X(t))$;

задание нужного масштаба;

автоматический выбор масштаба по одной либо по обеим координатам;

построение необходимых осей координат, их разметка, ввод подписей;

простейшая обработка данных непосредственно перед вычерчиванием.

Отображение функциональных зависимостей определяется следующими параметрами:

YMAX, YMIN, XMAX, XMIN — экстремальные значения поля координат;

NMIN, NMAX — начальный и конечный номера выводимых точек массива.

Сами зависимости задаются в виде $Y = \langle \text{формула} \rangle$, $X = \langle \text{формула} \rangle$. Формулой может быть выражение, составленное по правилам арифметики из названий массивов, констант, знаков $+ - / ()$, функции LN и

параметра TIME, принимающего значение номера рисуемой точки.

При вычерчивании осей координат указываются точка пересечения осей (параметры OX и OY) и интервалы, через которые надо ставить метки (параметры DX и DY).

Текст подписей для осей координат задается параметрами SX и SY ; положение каждой подписи относительно оси определяется значениями 1, 2, 3, 4, указывающими, в каком квадранте разместить подпись. Указание номера квадранта печатается через двоеточие после параметров OX , OY , DX , DY .

Все указанные параметры могут вводиться оператором в произвольном порядке. Если строка параметров (возможно и пустая) заканчивается символом «Табулятор», то заданная кривая (в виде последовательности точек) выводится на телевизор; по символу «Пробел» кривая отображается на графопостроителе отрезками прямых линий, соединяющих точки. Чтобы нарисовать оси координат и подписи, необходимо перед символами «Табулятор» или «Пробел» поставить знак #.

Более сложные процедуры обработки данных (сглаживание по нескольким точкам, интерполяционный и сглаживающий сплайны, построение стереометрических проекций с убираем невидимых линий), относящиеся к графическому выводу, реализованы на Фортране.

Заключение. Описанное программное обеспечение прошло в лаборатории длительную проверку, в ходе которой отбирались наиболее удачные решения и устранялись ошибки и недочеты. В настоящее время работа в основном завершена. Это не относится, разумеется, к библиотеке фортрановских программ, которая постоянно развивается и дополняется пользователями системы.

Поступила в редакцию 30 января 1984 г.
