

УДК 621.384.8-52

## АППАРАТУРА СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ АНАЛИТИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ СКБ И ИНСТИТУТА АНАЛИТИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

© В.В. Манойлов

*Институт аналитического приборостроения РАН, Санкт-Петербург*

Поступила в редакцию 10 июня 1999 г.

Рассмотрены в хронологическом порядке основные типы аппаратных средств систем автоматизации аналитических приборов, разработанных СКБ АП и ИАНП АН СССР. Показаны тенденции развития таких средств в различные периоды времени.

### ВВЕДЕНИЕ

В середине 60-х годов появились малогабаритные универсальные компьютеры, способные в режиме реального времени производить сбор и обработку экспериментальных данных, поступающих из аналитических приборов — масс-спектрометров, хроматографов, ИК-спектрометров, радиоспектрометров и других. Кроме обработки данных, возможности таких компьютеров позволяли производить управление процессами измерения и анализа, происходящими в приборах. По сравнению с традиционными в то время методами обработки данных аналитических приборов применение компьютеров стало революционным шагом в получении информации о веществах, анализируемых в приборах. Можно с улыбкой вспоминать о том, что еще в начале 60-х годов зарегистрированный на бумаге с помощью самописца масс-спектр измерялся линейкой, а для определения количества продукта, вышедшего из хроматографической колонки, из бумаги вырезали «пики» хроматограмм и взвешивали их на аналитических весах. Появление средств компьютерной техники позволило на первых этапах автоматизации приборов решать следующие основные задачи:

- увеличение точности измерений за счет внедрения алгоритмов, позволяющих в автоматическом режиме существенно снизить различные типы погрешностей средств измерения и методики проведения анализа;

- увеличение производительности анализа за счет получения результатов анализа непосредственно после завершения измерений и, при необходимости, многократного повторения анализа;

- автоматизация идентификации веществ с помощью баз данных;

- исключение промахов и субъективных ошибок оператора и экспериментатора при ручной обработке результатов измерений;

- выявление информативных параметров из получаемых от аналитических приборов сигналов

в случае их сильного искажения шумами, помехами, «выбросами», а также в случае представления сигнала в других системах координат, в неявном виде и т.п.

Создание систем автоматизации аналитических приборов потребовало объединения специалистов в различных областях: физики, математики, электроники, цифровой обработки сигналов, программирования, системотехники, конструирования. В 1967 году в СКБ АП по инициативе В.А. Павленко была создана лаборатория для создания средств автоматизации аналитических приборов различных типов. Руководителем лаборатории стал А.Ф. Борнгардт. Покажем в хронологическом порядке развитие средств автоматизации, начало создания которых было положено в этой лаборатории.

### СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ, РАЗРАБОТАННЫЕ В 1967-1980 гг.

#### Система автоматической обработки масс-спектров высокого разрешения «РОМБ-1»

Система «РОМБ-1» представляет собой проблемно-ориентированный вычислительный комплекс и предназначена для качественного и количественного анализа широкого круга веществ по их масс-спектрам. Система была разработана на базе серийной ЭВМ «Днепр-1». В системе достигнуто определение масс ионов в диапазоне 10-1000 а.е.м. с относительной погрешностью не хуже  $5 \cdot 10^{-6}$ . В системе применен счетчик ионов с программой компенсации просчетов для регистрации масс-спектров высокого разрешения в широком диапазоне интенсивностей ионных токов. Система впервые внедрена в ИХФ АН СССР для разработанного СКБ АП масс-спектрометра МС3301. Главным конструктором проекта системы «РОМБ-1» являлся Е.В. Ланин. Общий вид системы показан на рис. 1.

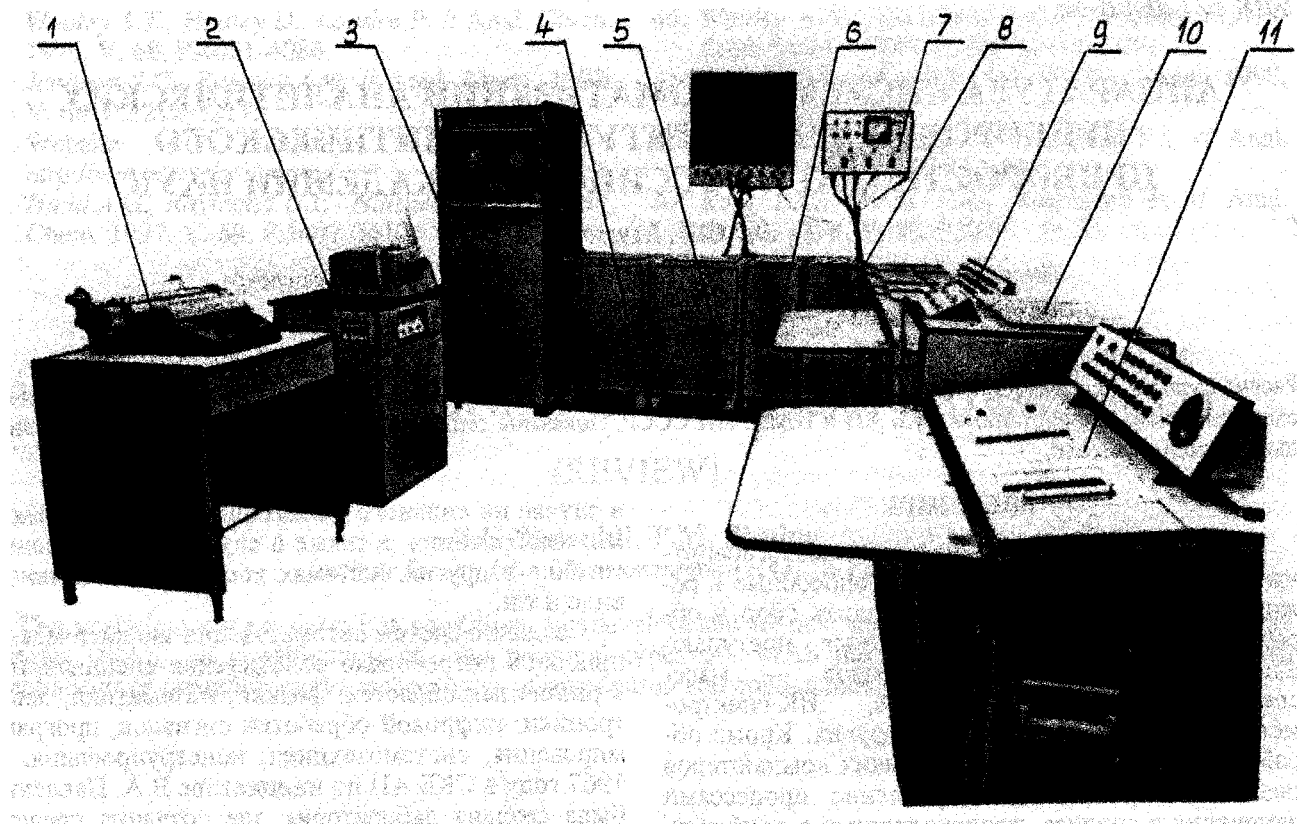


Рис. 1. Внешний вид системы "Ромб-1". Пояснения в тексте

Система «РОМБ-1» объединяет ЭВМ «Днепр-1», устройства ввода-вывода для согласования и взаимодействия с масс-спектрометром, накопитель на магнитной ленте НМЛ-700, нормализатор импульсов и стенд проверки модулей. На рис. 1 цифрами обозначены следующие устройства: 1 – устройство печати, 2 – ленточный перфоратор, 3 – накопитель на магнитной ленте, 4 – стойка согласования, 5 – стойка преобразования, 6 – постоянное запоминающее устройство, 7 – распределительный щит, 8 – оперативное запоминающее устройство, 9 – арифметическое устройство и устройство управления ЭВМ «Днепр-1», 10 – устройство ввода-вывода, 11 – устройство согласования с объектом.

#### Спектроаналитический вычислитель «РОСА-1»

Спектроаналитический вычислитель «РОСА-1» предназначен для обработки выходных сигналов масс-спектрометров, электронных спектрометров, хроматографов и других аналитических приборов в реальном масштабе времени, а также для ввода обработанной информации в универсальные вычислительные машины. В зависимости от вида об-

рабатываемой информации в вычислитель устанавливалась сменная кассета долговременного запоминающего устройства (ДЗУ) с соответствующим набором программ обработки. Выбор набора программ производился при заказе вычислителя из состава разработанного математического обеспечения. В зависимости от типа обслуживаемого аналитического прибора в вычислитель устанавливались согласующие устройства (интерфейсные карты), обеспечивающие управление прибором в процессе анализа и получение от прибора дискретной информации. Вычислитель «РОСА-1» построен по принципу программного синхронного 16-разрядного вычислителя, выполняющего арифметические операции с фиксированной запятой. Главным конструктором проекта по разработке вычислителя был А.М. Могильницкий. Вычислитель «РОСА-1» серийно выпускался Чебоксарским заводом электроизмерительных приборов. Их было выпущено более 130 штук. Он входил в состав приборов, серийно выпускаемых заводом «Научприбор» (г. Орел) и Экспериментальным заводом научных приборов АН СССР (ЭЗНП). Вычислитель входил в состав масс-спектрометров: МХ1320, МИ1320, МИ1321, МИ3304, МХ1330, первых отечественных серийных электронных

спектрометров и других аналитических приборов. На рис. 2 представлена стойка спектроаналитического вычислителя «РОСА-1».

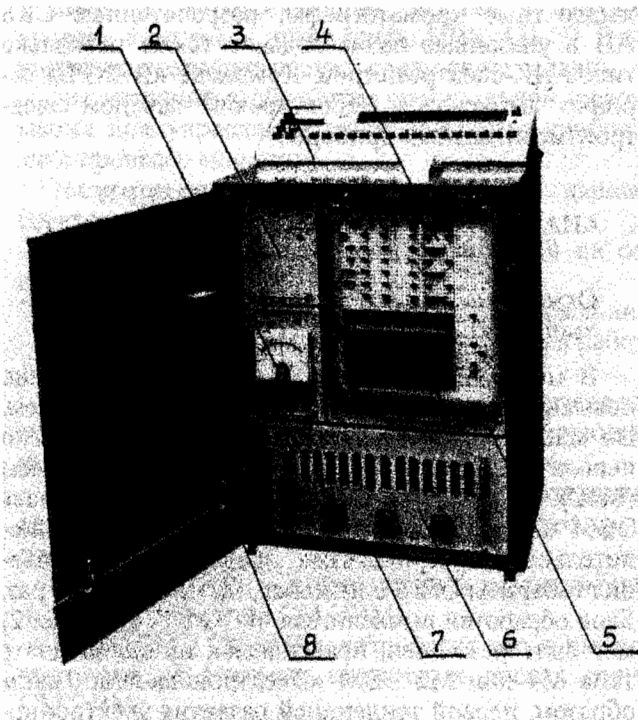


Рис. 2. Стойка спектроаналитического вычислителя "Роса-1" с открытой передней крышкой. Пояснения в тексте

На этом рисунке цифрами обозначены следующие блоки: 1 – блок питания 12,6 и 200 В, 2 – блок питания 4 В, 3 – пульт управления, 4 – запоминающее устройство сменных констант, 5 – аналого-цифровой преобразователь, 6 – блок обработки, 7 – каркас стойки, 8 – шарнирно-откидная дверца, обеспечивающая доступ к разъемам для подключения кабелей к аналитическому прибору.

#### Электронная система отображения структурно-химической информации «РАСТР»

Система «РАСТР» входила в состав масс-спектрометров высокого разрешения МС 3301 и МХ 1310. Система предназначалась для представления на экране специализированного дисплея структурно-химических формул, получаемых в результате автоматической идентификации веществ по его масс-спектру. Система «РАСТР» через вычислительные устройства комплекса «РОМБ-1», либо его усовершенствованный вариант «РОМБ-1М», принимала информацию от аналитического прибора и после преобразования отображала эту информацию в привычном для исследова-

вателя виде: либо в виде линейчатого спектра с указанием в цифрах массы, интенсивности и площади пиков ионного тока, либо в виде структурной химической формулы. Система «РАСТР» была снабжена световым пером. С помощью светового пера система обеспечивала указания оператора моделировать химические структуры выбранных участков масс-спектра. Система обеспечивала прием и передачу информации в ЭВМ «Днепр» для комплекса «РОМБ-1» или в ЭВМ типа СМ-3 для комплекса «РОМБ-1М» с помощью соответствующего этим функциям математического обеспечения.

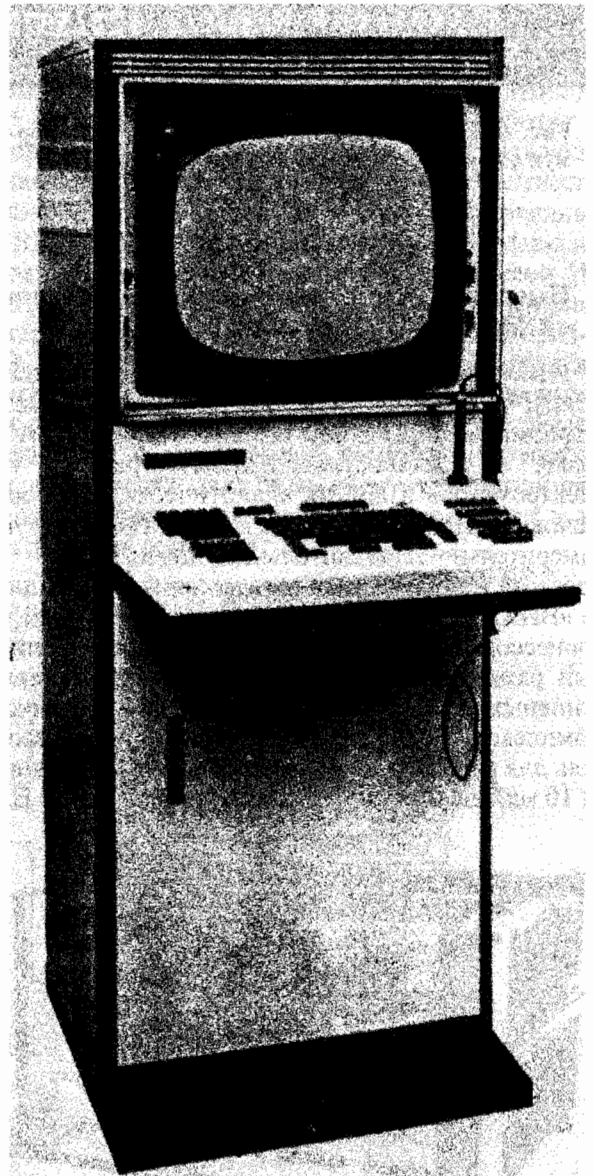


Рис. 3. Внешний вид стойки системы "Растр". Пояснения в тексте

На рис. 3 представлен внешний вид системы «РАСТР». С правой стороны клавиатуры установлено световое перо. На рис. 4 показан пример вывода информации на экран дисплея в виде структурных химических формул.

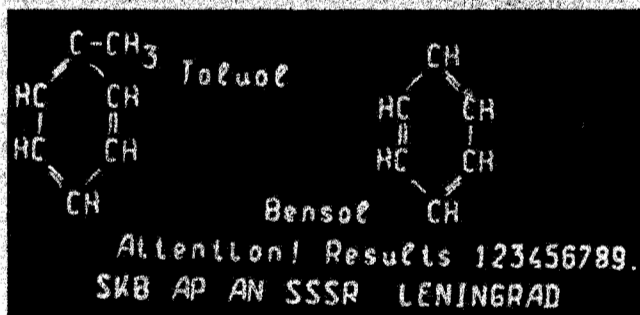


Рис. 4. Примеры построения структурных формул с помощью системы "Растр"

#### Измерительно-вычислительный комплекс «ВИХРЬ»

Измерительно-вычислительный комплекс «ВИХРЬ» предназначен для сбора и обработки информации в реальном масштабе времени от газовых и жидкостных хроматографов, ИК-спектрометров и других аналитических приборов. Основное отличие комплекса «ВИХРЬ» от других измерительно-вычислительных комплексов – это простота и дешевизна в изготовлении. В комплексе «ВИХРЬ» использовался последовательный тип процессора, как наиболее простой. Информационный размер слова – 2 байта. Время выполнения основных арифметических операций – 32 мксек. Комплекс имел аналого-цифровой преобразователь для работы в широком диапазоне напряжений от 10 мкВ на шкале 0,3 В до 30 В на шкале 30 В.

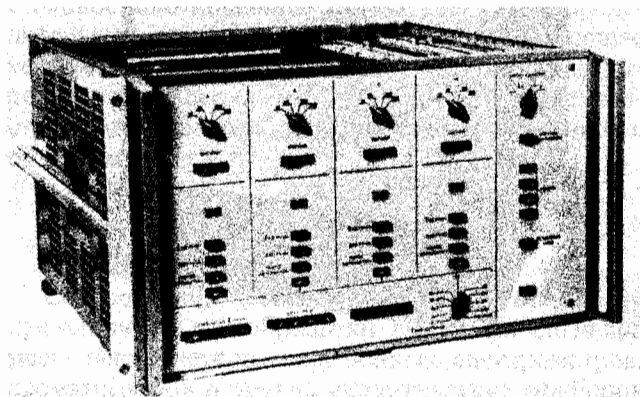


Рис. 5. Вычислительное устройство "Вихрь", стоечный вариант. Пояснения в тексте

Главным конструктором разработки комплекса «ВИХРЬ» был О.А. Любезников. На рис.5 показан стоечный вариант комплекса «ВИХРЬ». С помощью комплекса «ВИХРЬ» были автоматизированы жидкостные хроматографы, разработанные СКБ АП в указанные выше годы, а также несколько типов ИК-спектрометров. Комплекс «ВИХРЬ» серийно выпускался Чебоксарским заводом электроизмерительных приборов.

#### СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ АНАЛИТИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ 1980-1992 гг.

##### Основные тенденции развития электронно-вычислительных средств в 80-е годы

В конце 70-х – начале 80-х годов существенно повысилась степень интеграции цифровых схем. Во многих цифровых устройствах стали широко использоваться большие интегральные схемы (БИС). В 1977 г. в широкой продаже появилась ЭВМ «Электроника-60». По сравнению с вычислительными устройствами предыдущего поколения габариты ЭВМ снизились, примерно, в 10 раз. Блок обработки вычислителя «РОСА-1» (см. рис. 2) мог быть размещен, практически, на одной плате типа М1 или М2 ЭВМ «Электроника-60». Таким образом, первой тенденцией развития электронно-вычислительных средств в этот период времени было широкое применение БИС. Кроме того, в этот период времени получил распространение магистрально-модульный принцип комплексирования автоматизированных систем и во многих западных и отечественных фирмах был налажен серийный выпуск модулей электронной техники. Модульный принцип построения – вторая тенденция развития электронно-вычислительных средств. Наиболее популярной для автоматизации научного эксперимента и приборов была модульная система КАМАК (САМАС — Computer Application for Measurement And Control, т.е. применение компьютеров для измерения и управления). Наконец, третьей тенденцией развития являлось применение сетевых технологий при обработке информации в нескольких процессорах. На базе этих основных тенденций и развивались средства аналитических приборов.

##### Измерительно-вычислительные комплексы аналитических приборов на основе системы КАМАК (ИВК-АП)

Комплекс ИВК-АП в самом общем случае представлял собой двухуровневый управляющий вычислительный комплекс, предназначенный для автоматического съема и обработки информации, получаемой от комплекса аналитических приборов при проведении широкого круга физико-

химических исследований, включая анализ состава и структуры, а также идентификацию сложных органических соединений с целью автоматизации проблемно-ориентированной лаборатории.

ИВК-АП, объединяющий нижний и верхний уровень комплекса, имел шифр ИВК АП-00. Этот комплекс позволяет решать следующие задачи:

- регистрация и обработка спектральной информации при управлении аналитическими приборами в процессе анализа;
- создание и поддержка систем баз данных спектральной и химической информации;
- машинная идентификация соединений на основе каталога спектров;
- получение и анализ структурной информации;
- поддержка многопрограммных режимов работ.

Структурная схема ИВК АП-00 представлена на рис. 6. На этом рисунке показаны следующие устройства и подсистемы:

- ИВК АП-03 – измерительно-вычислительный комплекс аналитических приборов верхнего уровня;
- УВК СМ1420 – управляющий вычислительный комплекс серии СМ ЭВМ.
- УВП СМД СМ5415 – устройство ввода-вывода программ на сменных магнитных дисках серии СМ ЭВМ;
- ИММС Э60 – интерфейс межмашинной связи "Электроника 60М";
- ИВК АП-02-03 – измерительно-вычислительный комплекс аналитических приборов нижнего уровня исполнения (варианта) 03;
- ВТА 2000-15 – видеотерминал;

- ПТ-01 – пульт терминальный;
- ПТИ-01 – пульт терминальный интеллектуальный.

ИВК АП-00 является многоуровневым комплексом, что достигается объединением в единую информационную сеть комплексов с различным уровнем системной иерархии. Нижний уровень систем образуют комплексы ИВК АП-02-03, автоматизирующие хромато-масс-спектрометрические исследования и интеллектуальные пульты терминалы ПТИ-01. Такие терминалы строятся на базе микро-ЭВМ и позволяют увеличить число исследователей, одновременно работающих с экспериментальными данными. Для этой же цели используются терминальные пульта ПТ-01, но они не содержат микро-ЭВМ. Верхний уровень системной иерархии образован комплексом ИВК АП-03, автоматизирующим вторичную обработку информации в исследовании веществ и обладающим значительными объемами оперативной и внешней памяти. Аналитические приборы, подключенные к ИВК АП-02-03 функционируют независимо. Взаимодействие с центральным комплексом ИВК АП-03 происходит путем прерывания программ по запросу от периферийного комплекса ИВК АП-02-03. На рис. 7 представлены основные потоки данных между подсистемами ИВК АП-00, аналитическими приборами и архивами данных. Измерительно-вычислительные комплексы нижнего уровня решают задачи по сбору, первичной обработке и управлению процессом измерения в аналитических приборах.

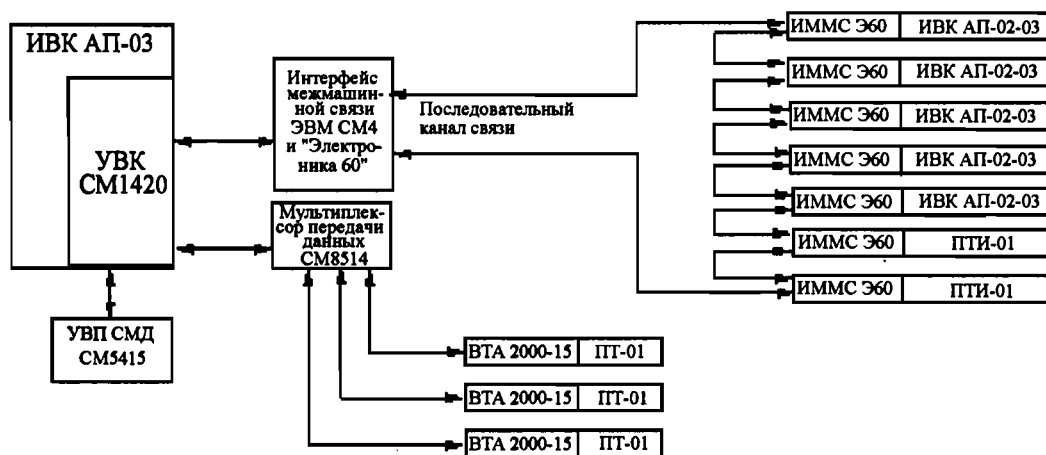


Рис. 6. Структурная схема ИВК АП-00. Пояснения в тексте

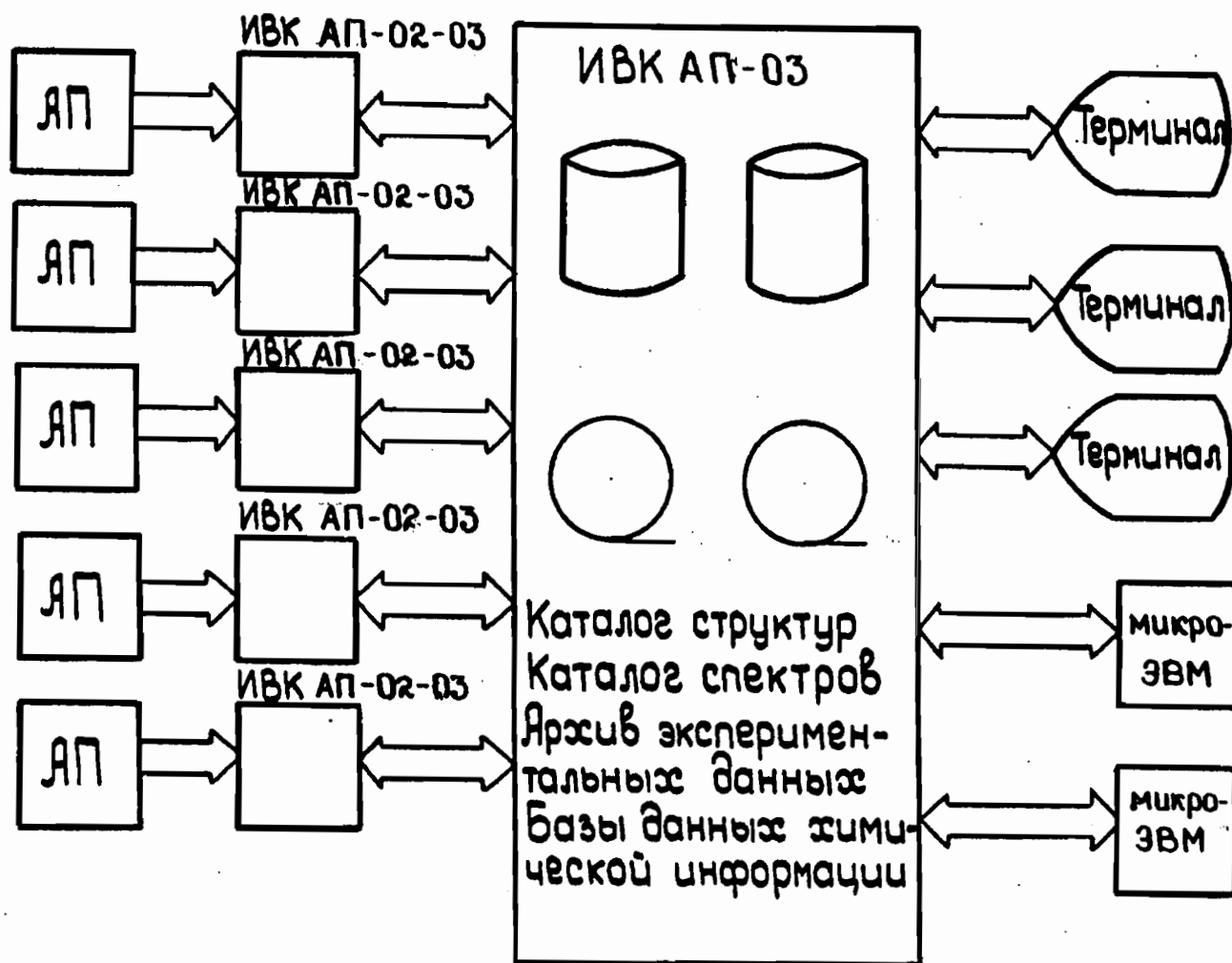


Рис. 7. Структурная схема потока данных в ИВК АП-00. Пояснения в тексте

Устройство связи с объектом в этих комплексах построено на основе крейтов и модулей КАМАК, выпускаемых различными заводами и приборостроительными организациями в СССР и Польше. В этих комплексах с успехом могли бы использоваться модули КАМАК западных фирм Франции, Германии, Швейцарии, но западные модули были дороже и практически не доступны на советском рынке. На рис. 8 показан один из вариантов набора модулей КАМАК для автоматизации химического масс-спектрометра или электронного спектрометра. На рис. 8 показаны следующие модули КАМАК и устройства Диалогового вычислительного комплекса «Электроника НЦ-80-20.2» (покупное изделие): ТПУ – термопечатающее устройство, НГМД – накопитель на гибких магнитных дисках, КНГМД – контроллер накопителя на гибких магнитных дисках, УСК – устройство связи с контроллером КАМАК, К-16 – контроллер крейта КАМАК, ЦГН – цифровой генератор напряжений, ГСИ – генератор синхроимпульсов, Счетчик 2×24 – два счетчика импульсов на 24 разряда, ПК – переключатель каналов, ПШ – переключатель шкал, УВХ – устройство выборки и хранения,

РУР-1 – регистр управления реле, МВ-1 – модуль связи с цифровым вольтметром, МУШД – модуль управления шаговым двигателем.

Часть продаваемых на советском рынке модулей КАМАК разрабатывалась в СКБ АП. Эти модули осваивались в серийном производстве и выпускались ЭЗНП. Применение их далеко не ограничивалось системами автоматизации аналитических приборов. Они применялись также в других разнообразных системах автоматизации эксперимента, так как они были универсальными. Кроме модулей, указанных на рис. 8 и аналогичных им, следует отметить, что в ряде исполнений (вариантов) комплексов ИВК АП-02 для повышения скорости обработки данных включались также модули, осуществляющие предварительную обработку сигналов аналитических приборов: арифметико-логическое устройство (АЛУ), запоминающее устройство, модуль прямого доступа в память. Такие модули строились на микропроцессорных комплектах повышенного быстродействия и давали возможность существенно сократить объем передаваемой в процессоры верхнего уровня информации.

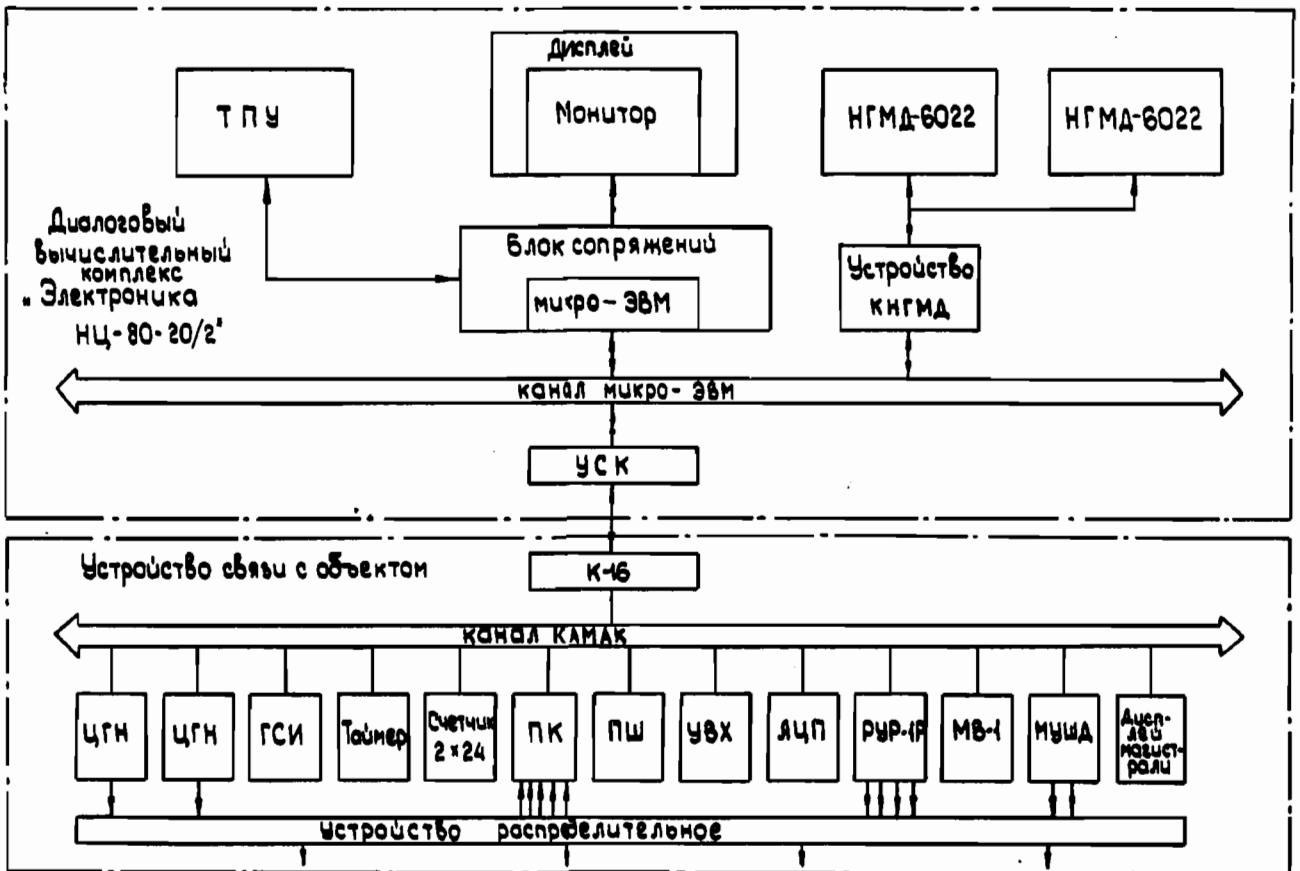


Рис. 8. Структурная схема комплекса измерительно-вычислительного. Пояснения в тексте

С помощью этих модулей производится обнаружение и оценка параметров спектральных пиков и поэтому в процессоры верхнего уровня передавалась уже обработанная информация, объем которой в десятки раз меньше первоначальной. За рубежом аналогами комплексов ИВК АП были комплексы «Spectro-system» фирмы VARIAN (США, Германия) и UNAS фирмы SHLUMBURGE (Франция). Преимуществом данной разработки являлась возможность создания оптимальной конфигурации комплекса в зависимости от класса задач, решаемых в аналитическом приборе. С помощью комплексов ИВК АП были автоматизированы ряд серийно выпускаемых ЭЗНП масс-спектрометров различных типов, серийные спектрометры Мессбауэра и другие аналитические приборы. Главным конструктором и руководителем работ по ИВК АП был Е.В. Ланин.

#### **Измерительно-вычислительные комплексы на основе интерфейсов Q-bus и S-bus**

Кроме аппаратуры на основе интерфейса КАМАК в СКБ АП для построения систем автоматизации ряда приборов применялись и другие интерфейсы. Некоторые системы автоматизации аналитических приборов были построены на основе машинного интерфейса ЭВМ «Электроника 60» Q-bus, а также на основе расширенного интерфейса микропроцессорного комплекта K580. Последний интерфейс в СКБ АП был назван S-bus. На базе этих интерфейсов были построены и серийно выпускались следующие аналитические приборы: масс-спектрометры МИ3306, МИ1332, МИ1340, МИ9302, хроматографы ХЖ1309, ХЖ1311, ХЖ1313, установка лазерного светорассеяния ЛС-01.

#### **Системы автоматизации на основе интерфейса VME**

Опыт использования аппаратуры КАМАК совместно с ЭВМ типа СМ-4 и «Электроника 60» подтвердил высокую эффективность магистрально-модульных принципов построения систем автоматизации на его основе. Однако в середине 80-х годов система КАМАК в силу своих конструктивных, архитектурных и схемотехнических особенностей морально устарела. С начала 80-х годов в развитых странах Европы и Америки появились и стали интенсивно развиваться новые стандарты на магистрально-модульные системы, основанные на более совершенных конструктивах ЕВРОМЕХАНИКА, постоянно меняющейся эффективной элементной базе, широком применении микропроцессоров, БИС и СБИС. К концу 80-х и в начале 90-х годов широкое применение получили системы на основе магистрального интер-

фейса VME. Основными преимуществами этого стандарта являются:

- возможности строить на его основе как системы похожие на КАМАК, так и малогабаритные, встраиваемые в прибор системы высотой 100 мм, глубиной 160 мм, а шириной не более 100 мм;
- возможности производить обработку информации, при необходимости, словами различной длины от одного до 4 байтов;
- высокие скорости передачи данных по магистрали;
- простая реализация многопроцессорных режимов и алгоритмов прерываний.

В 1985-1988 годах в СКБ АП впервые в СССР была проведена ОКР по разработке конструктивов и отечественного набора модулей для аппаратуры с магистральным интерфейсом VME. В результате ОКР была разработана документация и выпущены опытные образцы примерно 20 типов модулей VME. В их числе несколько типов процессорных модулей, различные аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи, модули цифрового ввода и вывода дискретной информации, быстродействующие счетчики, таймеры и т.п. ЭЗНП освоил и серийно выпускал эти модули. На основе модулей VME была построена электронная часть хромато-масс-спектрометра нового поколения МСД 650. В 1990-1991 годах СКБ АП с участием ИАНП РАН была произведена ОКР по разработке интерфейсных БИС модулей VME. Были выпущены опытные образцы 4 типов БИС. Опытные образцы были изготовлены на швейцарской установке LASARRAY, которая была приобретена Научно-техническим объединением АН СССР. Процесс производства на этой установке производился по спецификации пользователя (ASIC). Установка представляла собой автономную мини-мастерскую. Конструкция электронной схемы переносилась на предварительно подготовленную пластину с применением «прямой записи лазером». Недостатками установки в тот период времени являлись существенные затраты на ее эксплуатацию, а также на приобретение импортных расходных материалов и комплектующих.

#### **СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ 1992-1999 гг.**

##### **Электронная часть хромато-масс-спектрометра МСД 650**

Электронная часть хромато-масс-спектрометра МСД 650 была построена по документации, разработанной совместно ЭЗНП РАН и Институтом аналитического приборостроения РАН (ИАНП РАН). Электронная часть прибора включает в себя



систему электронного обеспечения и систему автоматизации, которая предназначена для автоматического и программного управления устройствами аналитической части прибора и регистрации ионных токов с последующей обработкой полученной информации. Конструктивно система автоматизации состоит из двух частей:

-еврокаркас магистрально-модульной конструкции с шиной VME;

-персональный компьютер с принтером.

В состав еврокаркаса входят следующие модули:

-аналого-цифровой преобразователь (ADC1632);

-модуль маркера масс;

-модуль управления электромагнитом;

-модуль управления энергоанализатором;

-модуль процессора (CPU).

ADC1632 выполнен на базе микросхемы 16-разрядного аналого-цифрового преобразователя фирмы Analog Devices AD 676. Диапазон входных сигналов от 0 В до 10 В по любому из трех каналов. Модуль управления электромагнитом выполняет программное управление магнитным полем с помощью 18-разрядного цифро-аналогового преобразователя. В качестве модуля процессора для высокоскоростной первичной обработки сигналов

используется серийно выпускаемый фирмой OR (Германия) в промышленном исполнении процессорный модуль VC-486. Этот модуль программно совместим с персональным компьютером типа IBM PC и имеет широкую периферию:

-интерфейс шины VME;

-последовательный порт RS-232;

-канал обмена ETHERNET.

Обмен информацией между процессорным модулем и центральной ЭВМ осуществляется по быстрому каналу обмена ETHERNET и по медленному каналу RS-232. Обмен информацией с модулями системы автоматизации осуществляется через интерфейс шины VME.

### Узлы систем автоматизации нового поколения

В настоящее время в связи с увеличением степени интеграции современных интегральных схем имеется возможность усовершенствовать ряд электронных подсистем масс-спектрометров и других приборов. В 1997-1998 годах в ИАНП РАН были разработаны ряд универсальных электронных подсистем и программное обеспечение для аналитических приборов, в том числе для изотопных и химических масс-спектрометров.

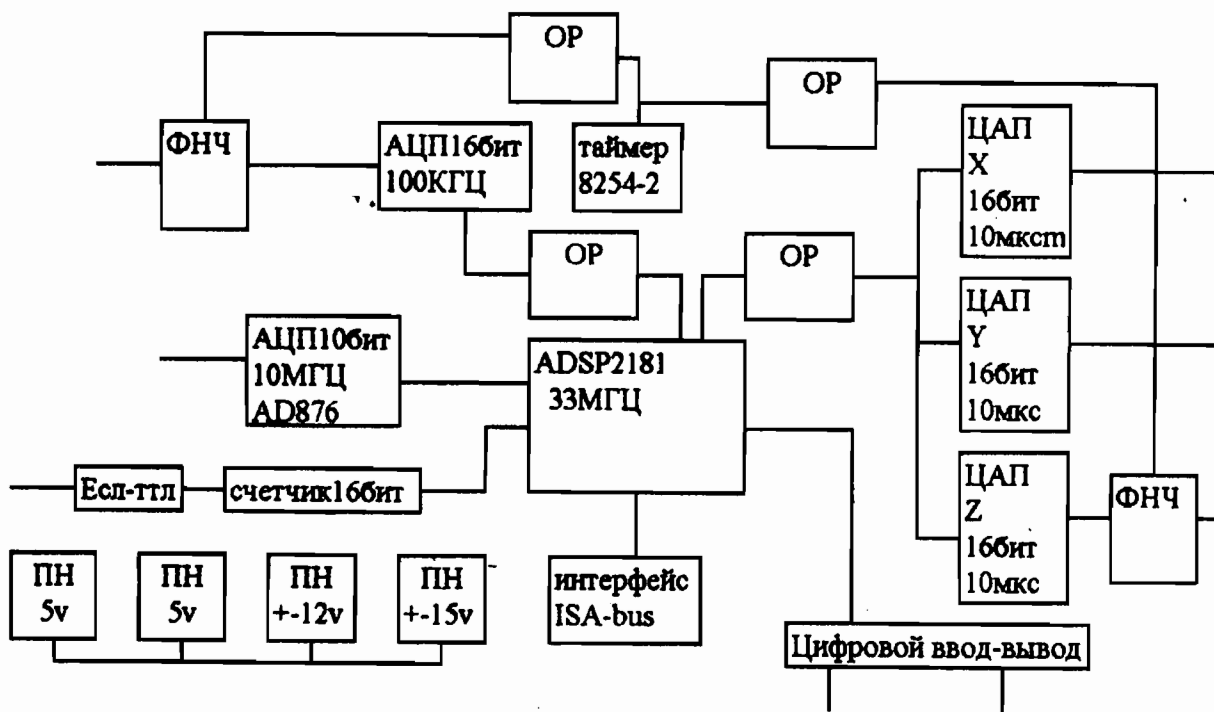


Рис. 9. Структурная схема устройства автоматизации последнего поколения. Пояснения в тексте

Особенностями этих подсистем является расположение на одной интерфейсной плате нескольких функциональных узлов, каждый из которых ранее представлял модуль. Такими функциональными узлами являются аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи, счетчики, процессоры для быстрой обработки сигналов. Кроме того, использование современных логических программируемых микросхем типа iFX780, EPM7064, EPM7032 фирмы Altera позволяют производить внутрисхемную динамическую реконфигурацию, что удобно для проектирования электронных узлов для разных экспериментов на одной электронной плате. На рис. 9 представлена структурная схема такого устройства. Устройства такого типа внедрены в сканирующем туннельном микроскопе, в масс-спектрометре для химического анализа, в электронном спектрометре. Устройство построено в конструктиве ЭВМ PC/AT с магистралью ISA-bus. Устройство позволяет вводить в ЭВМ с такой магистралью аналоговые данные с 16-разрядной точностью, оцифровывать быстропротекающие события со скоростью 10 Мегаотчетов/сек, фиксировать импульсные дискретные события, считать импульсы со скоростью не менее 50 МГц, выполнять дискретный ввод/вывод для управления и контроля экспериментом, а также аналоговый вывод по 3-м каналам с 16-разрядной точностью. На рис. 9 обозначены: ФНЧ – фильтр нижних частот, ОР – устройства оптронной развязки, Есл-гтл – преобразователь уровня для ТТЛ-схем, ПН-преобразователи питающих постоянных напряжений, АЦП – аналого-цифровые преобразователи, ЦАП – цифро-аналоговые преобразователи.

В основу устройства положен цифровой сигнальный процессор (ц.с.п.) фирмы Analog Devices ADSP2181 с быстродействием 33 Мегаопераций/сек и внутренним оперативным запоминающим устройством объемом 80 Кбайт. Архитектура и набор команд этого микропроцессора позволяют эффективнее, чем обычные универсальные процессоры, выполнять алгоритмы цифровой обработки сигналов — фильтрацию, корреляцию, спектральный анализ. Максимальная частота преобразования 16-разрядного АЦП — 100 КГц, время преобразования ЦАП — 8 мксек. На входе перед АЦП, и на выходе после ЦАП, установлены программно управляемые фильтры нижних частот, частота среза которых регулируется в пределах  $0,1 \text{ Гц} \div 50 \text{ КГц}$ . Аналого-цифровой преобразователь и цифро-аналоговые преобразователи подсоединены к последовательным портам ц.с.п. через оптронные развязывающие устройства, что позволило снизить уровень помех на плате. Управление ФНЧ от таймера также идет через оптронные развязки. Питание аналоговых узлов осуществляется от преобразователей напряжения

первичным является напряжение 5 В от ЭВМ. 10-разрядный быстродействующий АЦП позволяет оцифровывать кратковременные события со скоростью 10 Мегаотчетов/сек. Разрядность счетчика событий 3-16 бит, скорость счета не менее 50 МГц. Входной регистр дискретного контроля и выходной регистр дискретного управления имеют по 8 разрядов каждый. Вся схемотехника, связанная с регистрами контроля и управления, счетчиком и интерфейсом с ЭВМ, реализована на программируемой логической интегральной схеме EPX780 фирмы Altera. Реализация цифровых устройств на основе программируемых логических микросхем фирмы Altera существенно дешевле, чем на специализированных и универсальных установках по технологии ASIC, и может быть осуществлена, практически, в любой лаборатории, имеющей персональный компьютер. Разработку данного устройства выполнили Е.В. Булаенко, С.В. Тузенко под руководством д.ф.-м.н П.А. Фридмана.

Кроме рассмотренных устройств с процессором, АЦП, ЦАП, счетчиками, таймерами и т.п., в 1997-1999 гг. ИАнП РАН были разработаны ряд современных электронных устройств для регистрации ионных токов и управления магнитным полем изотопных масс-спектрометров МИ1201 различных модификаций и масс-спектрометра МИ 1320. Эти устройства также имеют интерфейс ISA-BUS и содержат БИС АЦП, ЦАП и др. Эти устройства внедрены в различных лабораториях, изучающих возраст геологических образований в ИГЕМ РАН, ВСЕГЕИ, ОИГГМ СО РАН. Модернизации старых электронных систем совместно с новым программным обеспечением позволили проводить измерения в изотопной геохимии на качественно новом уровне.

Современные системы автоматизации, использующие персональные компьютеры совместно с вставляемым в них небольшим количеством интерфейсных устройств по своим возможностям превосходят аналогичные системы 70-х годов, для размещения которых требовались помещения в несколько десятков квадратных метров, как, например, система «РОМБ-1», представленная на рис. 1.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрение в хронологическом порядке наиболее интересных для определенного времени систем автоматизации аналитических приборов показывает большой опыт сотрудников СКБ АП и ИАнП РАН в разработке, серийном освоении и внедрении разнообразной аппаратуры различной степени сложности. Можно отметить три основных этапа в развитии средств автоматизации: 1) начальный, специализированный (1967-1980);

2) универсальный, модульный; 3) широкого применения СБИС и встроенных микропроцессорных устройств. На каждом из этих этапов разработчики СКБ АП и ИАнП РАН базировались и базируются на новейших мировых достижениях в области

электронной элементной базы, новейших архитектурных решениях по построению систем, новейших международных стандартах в области унификации проектирования электронных средств и конструкторского исполнения.

**HARDWARE OF AUTOMATION SYSTEMS FOR ANALYTICAL  
INSTRUMENTS OF SPECIAL DESIGN BUREAU  
OF ANALYTICAL INSTRUMENTATION  
AND INSTITUTE FOR ANALYTICAL INSTRUMENTATION  
OF RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES**

**V.V. Manoilov**

*Institute for Analytical Instrumentation RAS, St.Petersburg.*

The hardware of automation systems for analytical instruments developed at the Special Design Bureau of Analytical Instrumentation and Institute for Analytical Instrumentation of the RAS are reviewed in chronological order. The main trends in development of this hardware are shown for different periods of time.