

УДК 621.317.757

Агапитов О.В., Лисицын И.В., Мельцин А.Л., Новиков Л.В., Прахов С.С. Автоматизированный анализатор импульсных оптических спектров с телевизионной системой регистрации// Научное приборостроение. Л.: Наука, 1987.

Для регистрации импульсных оптических спектров при изучении динамики физико-химических процессов предложен автоматизированный анализатор на основе малогабаритного спектрографа с переменной дисперсией, телевизионной системы с передающей трубкой типа изокон и увиолевым входным окном, вычислительной системы обработки и управления и устройств отображения. Широкий спектральный (260-800 нм) и динамический (10^{-4} - 10^{-2} лк) диапазоны анализатора при разрешении до 0.2 нм обеспечивают его эффективное применение при экспресс-анализе больших объемов спектральной информации. Библиогр.8 назв. Ил.4.

О.В.Агапитов, И.В.Лисицын, А.Л.Мельцин, Л.В.Новиков, С.С.Прахов
 АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ АНАЛИЗАТОР ИМПУЛЬСНЫХ ОПТИЧЕСКИХ СПЕКТРОВ С
 ТЕЛЕВИЗИОННОЙ СИСТЕМОЙ РЕГИСТРАЦИИ

Методы оптической спектроскопии в настоящее время находят все более широкое применение в различных областях науки и техники. При этом перед разработчиками наряду с необходимостью повышения разрешающей способности и чувствительности стоят задачи увеличения скорости и улучшения воспроизводимости спектральных измерений. При решении целого ряда проблем, таких как изучение кинетики быстро протекающих физико-химических процессов, явлений деструкции биополимеров в мощных световых полях, динамики спектра импульсного лазерного излучения и других нестационарных процессов, протекающих за время 10^{-12} – 10^{-6} с, создание анализатора спектра, позволяющего регистрировать спектр эмиссии либо поглощения за время порядка 100 с с высокой точностью, является весьма актуальным.

Использование для задач кинетической спектрометрии традиционного сочетания монохроматора с фотоумножителем приводит к значительным погрешностям измерений спектральных компонент, если скорости развертки спектра и его деформация соизмеримы во времени. Расчеты показывают, что относительная погрешность регистрации спектра при такой методике измерений описывается выражением

$$\Delta = \frac{I'(t)}{2v} (\Delta\lambda)^2, \quad (1)$$

где v – скорость развертки спектра через выходную щель; $I'(t)$ – производная от закона изменения спектра во времени; $\Delta\lambda$ – измеряемый спектральный интервал. При выводе (1) предполагалось, что фотоприемник, последовательно регистрирующий интенсивности спектральных компонент, и усилительный тракт являются безинерционными в полосе частот развертки спектра и его изменениях во времени.

Очевидно, что для решения указанных задач оптимальным является сочетание спектрографа с координатно-чувствительным фотоприемником, обладающим элементом пространственной памяти с последующим считыванием зафиксированного спектра в систему обработки в виде электрического сигнала. При этом, учитывая одновременную регистрацию всех спектральных компонент на фоточувствительном слое приемника, отмеченная погрешность пренебрежимо мала.

Анализ существующих координатно-чувствительных фотоприемников показывает, что для регистрации спектров в широких динамическом и спектральном диапазонах (включая УФ область) при времени существования спектра до 10^{-12} с и пороговой чувствительности на уровне 10^{-4} – 10^{-5} лк в настоящее время пригодны лишь вакуумные передающие телевизионные приборы с накоплением заряда и электронным переносом изображения типа суперкремникон [1] или изокон [2–4]. Этот вывод подтверждается использованием в ряде систем трубок подобного типа [3–8] в качестве координатно-чувствительных приемников при регистрации слабых световых пото-

ков в режиме счета фотонов. Сочетание таких фотоприемников с цифровой системой обработки на основе ЭВМ позволило создать эффективные многоканальные системы для регистрации спектров эмиссии малонитеновых астрономических объектов и спектров комбинационного рассеяния в газах.

В данной работе представлены результаты разработки и исследований автоматизированного анализатора оптических одномерных спектров с телевизионной системой регистрации, цифровой системой обработки и управления на основе микроЭВМ и модулей в стандарте КАМАК.

Оптический анализатор состоит из малогабаритного спектрографа, построенного по симметричной схеме Эберта, передающей телевизионной трубки на основе модифицированного изокона типа ЛИ-803 с увиолевым входным окном, привода трубки с использованием блока канала системы "Интроскоп", вычислительной системы обработки и управления (СОУ) и системы отображения (рис.1).

С целью расширения класса исследуемых молекулярных спектров и уменьшения времени анализа узел диспергирующего элемента спектрографа выполнен в виде блока четырех дифракционных решеток (200, 600, 1200, 2400 штр/мм), разворачивающихся в оптическом тракте через волновой редуктор ВР и шаговые двигатели ИД-1 и ИД-2 с точностью $2''$ по рабочей программе СОУ с последующей фиксацией с помощью электромагнита ЭМ-1. Нелинейные зависимости углов разворота дифракционных решеток от длины волны, совпадающей с серединой спектрограммы, заложены в управляющие рабочие программы СОУ. Задание текущих параметров спектрографа и режимов его работы (номер решетки, центральная длина волны, режимы установки или сканирования) производится в диалоговом режиме с пульта алфавитно-цифрового дисплея. Точность установки начального положения блока дифракционных решеток в $2''$ обеспечивается одновременным совмещением трех светоплощадок с соответствующими фотодиодами. Смена светофильтров в оптическом тракте для предотвращения наложения спектров высших порядков производится автоматически с помощью шагового двигателя ИД-3. Обратная линейная дисперсия при смене дифракционных решеток меняется от 12.5 до 0.63 нм/мм в спектральном интервале 280-750 нм. Для настройки телевизионного канала в оптический тракт спектрографа введена схема, проецирующая изображение тест-таблицы в фокальную плоскость при развороте плоского зеркала ПЗ электромагнитом ЭМ-2.

Использование в качестве приемника излучения изокон типа ЛИ-803 с увиолевым входным окном обусловлено его высокой чувствительностью, широким спектральным (280-750 нм) и динамическим ($5 \cdot 10^{-4}$ - $2 \cdot 10^{-2}$ лк) диапазонами регистрируемых световых потоков, возможностью хранения оптического изображения в виде потенциального рельефа на мишени. Последний параметр оказывается весьма важным при построении анализатора оптических спектров наносекундной и пикосекундной длительности, ибо позволяет фиксировать короткоживущий спектр за время его существования с последующим считыванием через сравнительно медленный аналого-цифровой преобразователь в СОУ. При этом появляется возможность накопления на потенциальном рельефе трубки спектров за несколько оптических импульсов, следующих с высокой частотой повторения. Используемый в анализаторе изокон управлялся по катоду и запирался по команде СОУ в режиме накопления на заданное число световых импульсов.

Спектр проецируется на входное окно изокон в виде прямоугольника размером 24x20 мм. Строчное считывание мишени производится по направлению, перпендикулярному дисперсии спектральных линий, что позволяет интегрировать сигнал по строке в пределах высоты спектра.

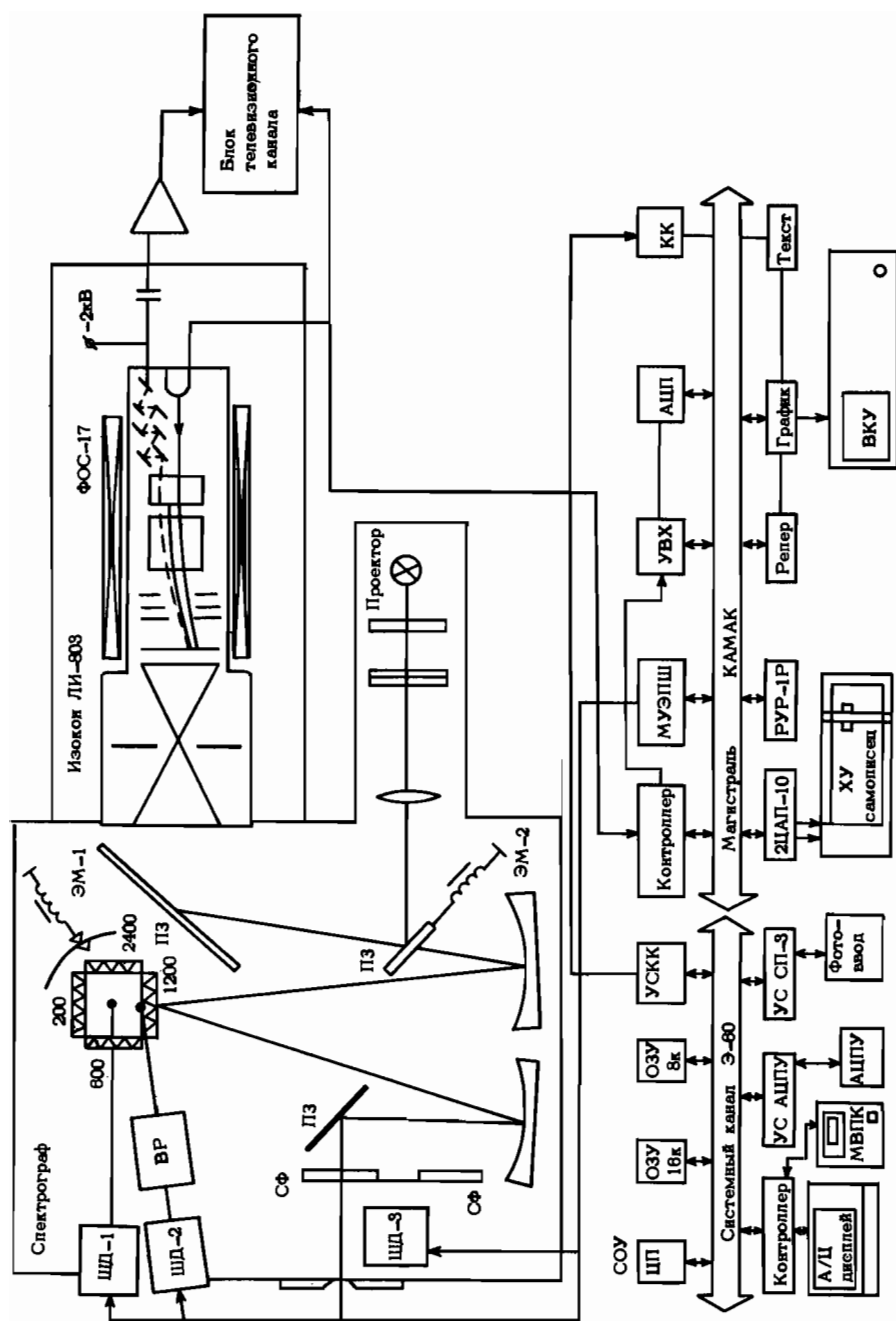


Рис. 1. Функциональная схема анализатора импульсных оптических спектров.

СВУ построена на основе микросхем "Электроника-60" и модулей стандарта КАМАК. В качестве центрального процессора использован модуль М2. Общая емкость оперативного запоминающего устройства (ОЗУ) составляет 28 К слов, скомпонованных из 4 К слов резидентного ОЗУ платы ЦП и 24 К слов плат типа П-3. Общение оператора с СВУ производится через алфавитно-цифровой дисплей. Для хранения программного обеспечения и ввода необходимых данных используется модуль внешней памяти кассетный МВПК-АЗ11-4 емкостью $3 \cdot 10^5$ байт. Связь ЭМ с дисплеем и МВПК осуществляется через плату контроллера МВПК, благодаря которой осуществляется побайтный обмен информацией между ЦП и указанными выше устройствами. Для ввода программ, отработанных на других устройствах, используется считыватель с перфоленты СП-3, подключенный через устройство сопряжения УС СП-3. Алфавитно-цифровое печатающее устройство (АЦПУ) подключено к каналу ЭМ через устройство сопряжения УС АЦПУ.

Для связи ЭМ с аналитической частью использована система в стандарте КАМАК, представляющая собой набор модулей измерительных и исполнительных устройств с цифровой аппаратурой обработки данных. В крейте КАМАК расположены: двухканальный цифроаналоговый преобразователь 2ЦАП-10 для управления самописцем Н-306, регистр управления реле РУР-1Р, запитывающий электромагниты ЭМ-1 и ЭМ-2, модуль управления шаговыми электроприводами МУЭПШ, набор модулей графического дисплея "Динамо", модуль устройства выборки и хранения (УВХ), модуль аналого-цифрового преобразователя (АЦП), контроллер. Управление крейтом ведется через крейт-контроллер (КК), который подключается к ЭМ через устройство связи УСКК, обеспечивающее двусторонний обмен 16-разрядными словами между крейт-контроллером и центральным процессором.

Синхронизацию процессов накопления и съема спектральной информации, первичную обработку сигналов, а также формирование управляющих и сервисных импульсов осуществляет контроллер (рис.2). Перестраиваемый формирователь зоны интег-

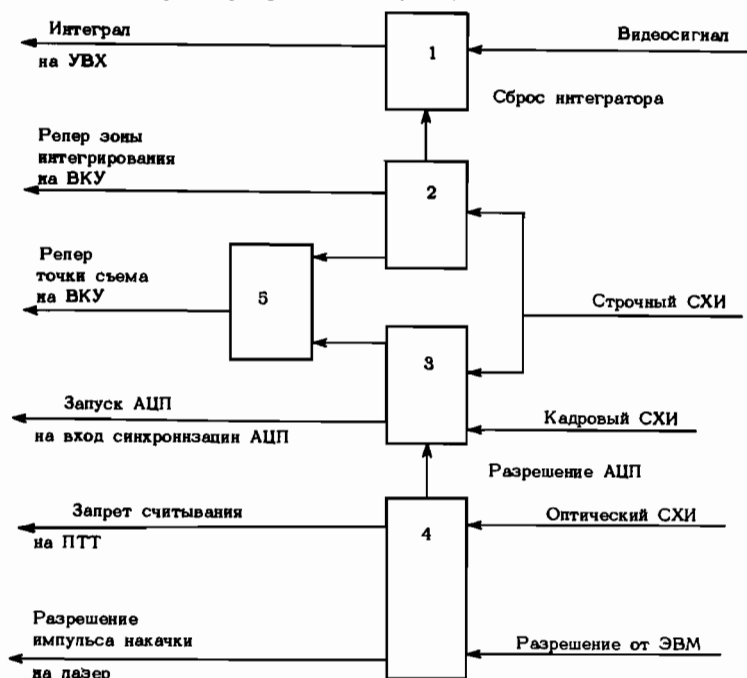


Рис.2. Структурная схема контроллера.

рирования сигнала по строке 2 управляет ключом сброса интегратора относительно начала строки. Стробуемый интегратор сигнала I осуществляет накопление информации за каждую строку измерительного кадра. При этом происходит фильтрация высокочастотных составляющих шума телевизионной трубки и выделение информации из полного ТВ-сигнала. Формирователь импульсов 3 обеспечивает выдачу 265 импульсов "хранение" для УВХ (по одной выборке на строку) во время съема кадров. Контроллер внешних устройств 4 содержит счетчик, запускаемый по каналу оптической синхронизации, формирователь импульсов "запрет считывания с мишени ПТТ" и "разрешение лазерного импульса". Формирователь репера выборки сигнала на строке и зоны интегрирования 5 дает возможность наблюдать на ВКУ в виде вертикальных реперов указанные выше временные интервалы, что позволяет настраивать систему на максимальное отношение сигнал/шум.

Проинтегрированный измеряемый кадр поступает на вход УВХ, с выхода которого выводится на I3-разрядный АЦП. УВХ обеспечивает выборку фиксированного значения напряжения интегратора на время преобразования АЦП, составляющего 20 мкс. Значения напряжений в цифровом виде через магистраль КАМАК и крейт-контроллер поступают в оперативное запоминающее устройство ЭВМ, образуя числовой массив из 256- и I6-разрядных слов, соответствующих зарегистрированному спектру. Через I00 мкс изображение спектра выводится на видеоконтрольное устройство (ВКУ) через дисплейный набор модулей "Динамо". Документирование полученных результатов производится двухкоординатным самописцем, а также на алфавитно-цифровом печатающем устройстве ДЗМ-I80.

Программное обеспечение СОУ состоит из трех резидентно расположенных в ОЗУ программ: интегральной системы программирования БАСКАЛ-МI, монитора для кассетного накопителя МВПК АЗИ-4 и абсолютного загрузчика. Расширенная перфоленточная версия БЕЙСИК-БАСКАЛ отличается от БЕЙСИКА возможностью работы с аппаратурой стандарта КАМАК, а также возможностью организовать систему программных модулей, которые используют общий набор переменных и могут вызываться друг из друга, как подпрограммы. Имеется возможность использовать позиционно независимые программные модели, представленные в абсолютном двоичном формате для быстрого съема информации с аналитической части прибора.

Программное обеспечение, рабочие программы СОУ и библиотека спектров хранятся на кассетах МВПК типа МК-60-I. Для удобства доступа к данным и программам разработана программа Монитор МВПК, которая позволяет в режиме диалога через алфавитно-цифровой дисплей управлять кассетным накопителем. Монитор имеет гибкую систему команд, позволяющую создавать каталог файлов, искать по номеру нужный файл и выводить его синхронно в ОЗУ и на экран алфавитно-цифрового дисплея.

Программные модули СОУ кроме управления аналитической частью и съема спектров позволяют обрабатывать снятые спектры и непосредственно наблюдать результаты обработки на ВКУ графического дисплея. При этом возможно проводить все основные спектральные преобразования: дифференцирование, интегрирование, вычитание постоянной составляющей, сглаживание, определение полуширин пиков, прямое и обратное Фурье-преобразование спектра, одновременно выводить до I0 спектров на экран, измерять амплитуды компонент спектра с помощью репера и нормировать спектр на указанный коэффициент.

Испытания анализатора оптических спектров с телевизионной системой регистрации проводились путем измерений спектров флуоресценции этанольных растворов

родамина 6Ж, возбуждаемых импульсами излучения лазера JAG длительностью 17 нс на длине волны 533 нм (рис.3.). Число импульсов задавалось контроллером. Величи-

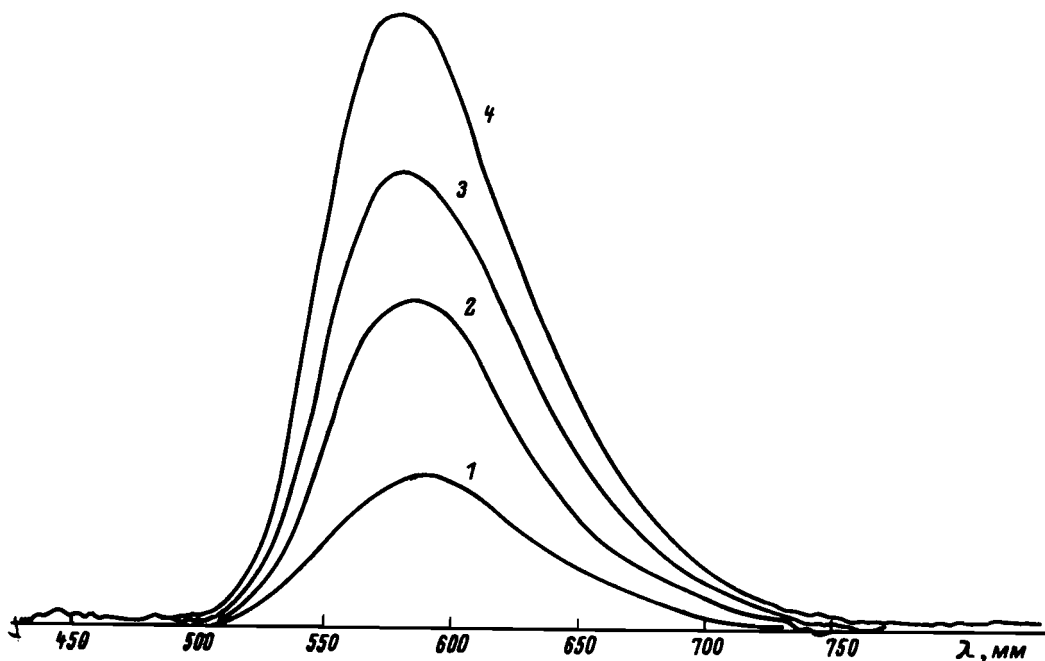


Рис.3. Спектры флуоресценции родамина 6Ж с экрана ВКУ.

Количество импульсов накачки: 1 - 2; 2 - 4; 3 - 6; 4 - 10.

на экспозиции одного импульса флуоресценции составляла около $2 \cdot 10^{-5}$ лк·с.

Для иллюстрации разрешающей способности анализатора на рис.4 приведена спектрограмма дуплета линий 579.065 и 578.266 нм разряда ртути в лампе ДРШ-120. Измерения, проведенные при решетке 1200 штр./мм, показывают, что данный дуплет устойчиво разрешается на уровне половинной мощности. Динамический диапазон измеряемых интенсивностей определялся по калибровочной лампе накаливания типа ТРШ-2850 с использованием набора нейтральных и интерференционных светофильтров. Начальный уровень освещенности измерялся калиброванным фотодиодом типа ФД-24К.

Испытания показали, что благодаря использованию интегратора строки динамический диапазон анализатора расширяется в сторону низких освещенностей на порядок, что позволяет регистрировать освещенности $\sim 10^{-5}$ лк. Бесподстроечный динамический диапазон при этом составляет 200.

В заключение следует отметить, что созданный анализатор оптических спектров благодаря широкому использованию вычислительной техники в сочетании с телевизионной системой регистрации позволил не только повысить точность и воспроизводимость измерений, но и существенно упростил и ускорил методику спектроскопических исследований, что часто является определяющим при экспресс-анализе больших массивов спектральной информации.

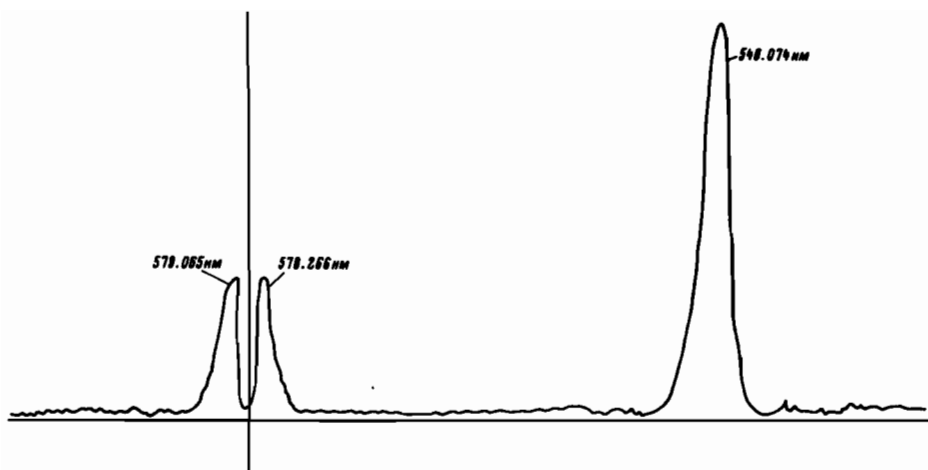


Рис.4. Спектрограмма части спектра ртутной лампы ДРП-120.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вильдгрубе Г.С., Млахов И.К., Степанов Р.М., Урвалов В.А.// Техника кино и телевидения. 1977. № 10. С.10-14.
2. Danforth Cope A., Borkan H.// Appl. Opt. 1963. N3. P. 253.
3. Господинов Г.А., Осьминкина К.И.// Электронная пром-сть. 1974. № 3. С.17.
4. Вайнер Ю.Г., Господинов Г.А., Маявкин Л.П. и др.// ЖПС. 1977. Т.ХХУІ, вып.5. С.919.
5. Балегга Н.Н., Маркелов С.В., Небелицкий В.Б. и др.// Автометрия. 1979. № 4. С.22.
6. Бондаренко Ю.В., Будцев В.Я., Касперович А.Н.// Автометрия. 1983. № 4. С.3.
7. Вайнер Ю.Г., Маявкин Л.П., Силькис Э.Г., Титов В.Д.// Приборы и техника эксперимента. 1981. № 4. С.183.
8. Петраков А.В., Харитонов В.М. Высокоточные телевизионные комплексы для измерения быстротекающих процессов. М., 1979.

А.К.Андреев, Б.М.Воронин, Д.Е.Житников, И.А.Иванов, А.П.Иванов, М.С.Кобрин, А.Э.Рафальсон, Ю.С.Рутгайзер, Б.Н.Соколов, А.Н.Филатов, Б.Е.Фуксман

МАСС-СПЕКТРОМЕТР МХ1320 С ИСПАРИТЕЛЕМ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ИСПАРЕНИЯ ТРУДНОЛЕТАЮЩИХ ВЕЩЕСТВ

В СКБ аналитического приборостроения АН СССР в период 1965-1968 гг. были разработаны масс-спектрометры [1, 2], предназначенные для изучения процессов испарения труднолетучих веществ.

С усложнением задач высокотемпературной химии, в частности с необходимостью исследований многокомпонентных соединений, с повышением требований к чувствительности и разрешающей способности приборов, необходимостью автоматизации измерений, а также замены устаревшей элементной базы потребовалась разработка современного