

542/2-80



ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

У/2-80

P10 - 12794

Т.А.Исламов, Г.А.Кононенко, А.В.Ревенко,
А.А.Тангабаев, М.И.Фоминых, В.М.Цупко-Ситников

АВТОМАТИЗАЦИЯ
ФОТОМЕТРИРОВАНИЯ БЕТА-СПЕКТОГРАММ
НА БАЗЕ МИКРОФОТОМЕТРА
С ШАГОВЫМ ПРИВОДОМ КАРЕТКИ
НА ЛИНИИ С ЭВМ

1979

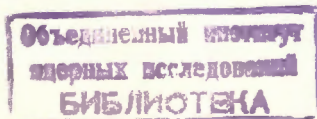
P10 - 12794

Т.А.Исламов,* Г.А.Кононенко, А.В.Ревенко,
А.А.Тангабаев,* М.И.Фоминых, В.М.Цупко-Ситников

**АВТОМАТИЗАЦИЯ
ФОТОМЕТРИРОВАНИЯ БЕТА-СПЕКТОГРАММ
НА БАЗЕ МИКРОФОТОМЕТРА
С ШАГОВЫМ ПРИВОДОМ КАРЕТКИ
НА ЛИНИИ С ЭВМ**

Направлено в сборник
"Прикладная ядерная спектроскопия"

*Ташкентский государственный университет.



Исламов Т.А., и др.

P10 - 12794

Автоматизация фотометрирования бета-спектрограмм на базе микрофотометра с шаговым приводом каретки на линии с ЭВМ

Для обработки спектрограмм, получаемых с помощью бета-спектрографов, разработано устройство автоматического фотометрирования с приводами каретки по двум осям на шаговых двигателях, установленное на линии с ЭВМ. Информация с этого устройства принимается в ЭВМ в режиме сложения данных от многократных проходов каретки, что наряду с использованием двухстрочного сканирования значительно сокращает время фотометрирования. В приборе использован фотоумножитель ФЗУ-92, работающий при больших световых потоках, отношение максимального тока анода к току делителя составляет 1/200. Прибор позволяет обрабатывать спектрограммы размерами 80 x 400 мм² с минимальным шагом сканирования 1000/240 мкм или же с шагом, кратным минимальному: $\mu \cdot 1000/240$ мкм, где $\mu = 1, 2, \dots, 64$.

Управление прибором возможно как от отдельного устройства управления в ручном или в автоматическом режиме, так и от ЭВМ.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований, Дубна 1979

Islamov T.A. et al.

P10 - 12794

The Automatic Micrometer with Pitch Drives of the Carriage on Both Axes On-Line with the Computer

The device for automatic photometer measuring with pitch drives of the carriage on both axes on-line with the computer is described. It is used for treatment of β -spectrogram from magnetic spectrographs. Information from this device is registered in the computer. The μ -multiplier is used in the device working with a large light flow. The anode current of this multiplier is 200 times greater than that of the voltage divider. The device could be used to measure the β -spectrograms on the 80x400 mm² area with a minimum pitch of scanning of 1000/240 mkm or with the pitch of $\mu \cdot 1000/240$ mkm, where $\mu = 0, 1, 2, \dots, 64$. Two modes of the system driving are possible: from a special device and from the computer by a program.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1979

ВВЕДЕНИЕ

В арсенале техники ядерной спектроскопии определенную роль выполняют магнитные бета-спектрографы. При простоте их конструкции и эксплуатации они обладают также рядом преимуществ /в определении энергий и интенсивностей гамма-переходов, а также их мультипольностей/, которых не имеют другие приборы, используемые для регистрации спектров конверсионных электронов. По энергетическому разрешению, достигающему сотых долей процента, бета-спектрографы уступают только кристалл-дифракционным γ -спектрометрам, но в отличие от последних, эффективных только в мягкой области спектра, бета-спектрографы успешно используются в диапазоне энергий от 10 до 1500 кэВ^{1/}.

Высокое разрешение и широкий диапазон энергий, охватываемый в одном измерении, делают бета-спектрографы самыми "многоканальными" приборами ядерной физики: один спектр конверсионных электронов, полученный с их помощью, содержит информацию, соответствующую 20-50 тысячам каналов многоканальных анализаторов.

Реализация высокого разрешения бета-спектрографов возможна благодаря использованию для регистрации электронов ядерных фотоэмульсий. В низкоэнергетической области конверсионных электронов / $E < 100$ кэВ/ энергетическое разрешение на фотопластинках достигает 30 эВ.

Однако, обеспечивая хорошее геометрическое, а следовательно, и энергетическое разрешение, способ регистрации конверсионных электронов ядерными фотоэмульсиями создает значительные трудности при получении точных значений интенсивностей линий. Эти трудности связаны как с качеством эмульсий /однородность по толщине слоя и составу, наличие загрязнений, царапин/, так и с условиями их обработки. Кроме того, в сравнении с γ -спектрами, спектры конверсионных электронов имеют более сложную форму линии, зависящую от энергии частиц и толщины слоя источника, что осложняет их анализ. В этих условиях

наиболее ценная и точная информация может быть получена в сериях измерений. При этом значительно увеличиваются объем информации и затраты времени на ее обработку.

Таким образом, успех в использовании магнитных бета-спектрографов в значительной мере зависит от степени автоматизации процесса обработки спектрограмм и последующего анализа информации. Первым, определяющим этапом обработки является автоматизация процесса фотометрирования, т.е. получения спектра в оптических плотностях с последующим переводом в электронную интенсивность.

Ранее был описан автоматический микрофотометр /АМФ/ на линии с ЭВМ^{2/}, в котором привод каретки осуществлялся от асинхронного двигателя. Этот прибор позволил сделать первый шаг в автоматизации обработки спектрограмм. Однако инерционный непрерывный привод не обеспечивает необходимой гибкости в управлении прибором: не позволяет с нужной точностью задавать базу перемещения, точку начала и конца сканирования, осложняет перестройку прибора на обработку различных объектов, затрудняет управление прибором от ЭВМ.

С целью устранения этих недостатков нами была разработана новая модель АМФ с использованием прецизионного шагового привода каретки по обеим осям ее перемещения. При этом были улучшены все основные показатели ранее описанной модели: улучшена линейность и чувствительность регистрирующей системы, а также стабильность ее работы; появилась возможность задавать несколько режимов обработки спектрограмм и просто осуществлять задание любого алгоритма сканирования через ЭВМ; для уменьшения разброса точек спектра за счет "шумов" спектрограмм /значительных для используемых эмульсий и характерных для регистрации электронов/ стало возможным суммировать в одном и том же участке памяти результаты большого числа проходов по параллельным дорожкам.

Указанные усовершенствования позволили продвинуться вперед в решении задачи автоматизации обработки бета-спектрограмм и расширить область успешного использования спектрографов, в частности, для изучения спектров электронов Оже^{3,4/} /см. рис. 6/.

Ниже описана новая модель АМФ, краткое сообщение о приборе было опубликовано ранее^{5/}.

БЛОК-СХЕМА АППАРАТУРЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ФОТОМЕТРИРОВАНИЯ

Вся система состоит из трех основных узлов: 1/ оптико-механической части /собственно микрофотометра/, 2/ электро-

ники управления и преобразования сигналов и 3/ ЭВМ, используемой для накопления информации и ее последующей обработки. Блок-схема аппаратуры показана на рис. 1.

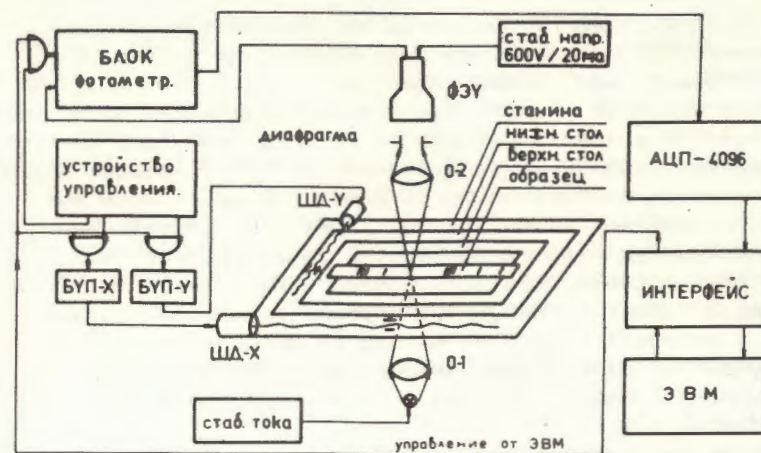


Рис. 1. Блок-схема установки автоматического фотометрирования

Спектрограмма или другой оптический объект /образец/ закрепляется на верхнем столике каретки. Каретка может перемещаться в двух направлениях: в продольном и поперечном. Первое реализуется в результате движения ее нижнего стола, второе - в результате движения верхнего. Конструкция каретки и столиков позволяет обмерять объекты на площади $80 \times 400 \text{ мм}^2$.

Оптическая система прибора, созданного на базе промышленного микрофотометра МФ-2, оставлена без изменений. Свет от источника фокусируется линзой 0-1 в плоскости объекта. Световой поток, прошедший через образец, собирается линзой 0-2 и фокусируется в плоскости диафрагмы d , за щелью которой расположен регистрирующий элемент - фотоумножитель /ФЭУ/. В приборе используется прямоотсчетная система, как наиболее простая и обеспечивающая максимальную скорость обработки.

Напряжение с выхода ФЭУ, пропорциональное прошедшему через данный участок образца световому потоку, подается на блок фотометрирования /БФ/, выполняющий функции преобразователя непрерывного сигнала в импульсный, амплитуда которого пропорциональна мгновенному значению сигнала в измеряемой точке.

Импульсы с выхода БФ поступают на вход амплитудно-цифрового преобразователя /АЦП/, коды с которого последовательно записываются в соответствующие каналы /ячейки/ памяти ЭВМ.

Работа системы организуется автономным устройством управления /УУ/, которое при заданном режиме работы /база сканирования, шаг, поперечный сдвиг, число проходов/ выдает необходимую последовательность управляющих сигналов.

На этапе фотометрирования УУ посылает импульсы на блок управления продольным перемещением /БУП-Х/, который управляет шаговым двигателем ШД-Х. Двигатель через пару винт-гайка перемещает нижний столик каретки по направляющим, укрепленным на станине прибора. В зависимости от заданного шага сканирования /кратного элементарному шагу двигателя/ УУ вырабатывает сигнал, стробирующий выходное напряжение ФЭУ, в результате чего на выходе БФ появляется импульс, поступающий на АЦП. Запись информации в ЭВМ осуществляется в процессе движения каретки и возможна в обоих направлениях для каждой оси.

После прохождения заданной базы по оси Х устройство управления начинает выдавать сигналы на блок управления поперечным перемещением /БУП-У/ для отработки заданного сдвига по оси У. Привод поперечного перемещения устроен аналогично приводу продольного.

Далее в зависимости от установленного режима начинается или сканирование образца в обратном направлении или возвращение каретки в исходное положение по оси Х.

В зависимости от необходимости информация, полученная в результате последовательных проходов каретки, может суммироваться в оперативной памяти ЭВМ /сложение кода, записанного в ячейку памяти машины во время предыдущего прохода, с кодом, поступающим в эту же ячейку при новом проходе/, как это имеет место при обработке бета-спектрограмм, или записываться на магнитную ленту при обработке объектов другого типа.

Растр-элемент сканирования определяется размерами щели диафрагмы d , которые устанавливаются в зависимости от шага сканирования.

СИСТЕМА СКАНИРОВАНИЯ

Для осуществления сканирования образца, т.е. его перемещения относительно светового луча, выделяющего растр-элемент объекта, на станине прибора установлена специальная каретка,

имеющая привод от шаговых двигателей по двум координатам. Каретка состоит из двух столов: верхнего и нижнего. Нижний стол перемещается в продольном направлении / Х -координата/ по направляющим, установленным на станине прибора. Поступательное движение столику передается специальным винтом длиной 450 мм, закрепленным в подшипниках на станине. Ротор шагового двигателя, также закрепленного на станине, жестко соединен с осью винта, а разрезная гайка с поджимом соединена с нижним столом.

Верхний столик перемещается в поперечном направлении / У -координата/ по направляющим, установленным на нижнем столе. Двигатель, с помощью которого осуществляется поперечное перемещение, закреплен на нижнем столе. Вращательное движение двигателя преобразуется в поступательное движение верхнего стола через пару винт-гайка так же, как и в приводе нижнего.

Для Х-привода используется высокоточный винт с шагом резьбы 1 мм и двигатель ШД-5Д-1 с элементарным углом поворота $1,5^\circ$, что позволяет сканировать образец с минимальным шагом $h = 1000/240$ мкм. Возможен также шаг, кратный минимальному: $n \cdot h$, и в данной системе $n_{\max} = 64$. Каретка осуществляет перемещение, состоящее из последовательных элементарных шагов, а шаг сканирования определяется интервалом между стробирующими импульсами.

Поскольку прибор предназначен для точных измерений положений конверсионных линий, важно знать погрешности, вносимые сканирующей системой. Они определяются погрешностью в угле поворота двигателя и неравномерностью в нарезке винта /при условии, что люфты в системе отсутствуют/.

Среднеквадратичные отклонения в измерении расстояний с помощью прибора от истинных, определенных с помощью микроскопа МБИ-9 /для расстояний до 8 мм/ и с помощью компаратора ИЗА-2 /для расстояний до 150 мм/, составляют 8 и 11 мкм соответственно. В первом случае измерения осуществлялись с шагом 1000/240 мкм, во втором случае - с шагом 1000/20 мкм. Таким образом, прибор практически не накапливает погрешность с увеличением расстояния.

Для У-привода использован винт с шагом резьбы 0,8 мм и ШД типа ШДА-2А с углом поворота $11,25^\circ$, что обеспечивает элементарный шаг в поперечном направлении, равный 25 мкм. Полезный рабочий ход Х-привода - 400 мм, У-привода - 80 мм. Скорость сканирования может изменяться от 0 до 5 мм в секунду. Максимальная скорость поперечного перемещения - 3 мм в секунду.

Суммарная нелинейность передаточной характеристики фотометрической системы и АЦП составляет 0,3%. Дисперсия шумовой дорожки регистрирующего тракта в максимуме достигает 0,1%. Основной вклад в шум вносит ФЭУ. Однако есть резерв уменьшения этой величины путем использования осветителя с большей яркостью и ФЭУ с большей интегральной чувствительностью В/ .

УСТРОЙСТВО УПРАВЛЕНИЯ

Функциональная блок-схема устройства управления приведена на рис. 3. Управление работой приводов может осуществляться или в ручном режиме, или в автоматическом. Ручной режим используется для подготовки образца к фотометрированию, выбор направления движения каретки, пуск и останов приводов производятся вручную. Автоматический режим позволяет использовать сканирование прямоугольным однострочным или двухстрочным растром В/ по программам, заносимым в блок режимов /БР/, рис. 3,4/, который может быть заменен, если необходимо работать с новыми программами сканирования.

Параметры раstra сканирования задаются в виде чисел шагов приводов с помощью клавишных регистров /КР/ пятидесятикадного установочного счетчика СЧ-1 /длина строки - КР-1 или КР-3 и расстояние между строками - КР-2 или КР-4/, а также с помощью регистра КР-5 двухдесятикадного счетчика СЧ-2 с индикацией /число строк или число участков в строке 11/ /. Пятидесятикадный реверсивный счетчик с индикацией /СЧ-3/ подсчитывает импульсы, подаваемые на соответствующий шаговый привод, показывая положение каретки в текущий момент. Этот счетчик удобен при подготовке образца к фотометрированию.

Рассмотрим работу УУ для режима с двухстрочным сканированием /запись информации в ЭВМ при прямом и обратном движении каретки/. На рис. 4 приведена принципиальная схема БР. Режим перемещения, т.е. последовательность включения приводов и направления их движения, определяется управляющими потенциалами сдвигающего регистра /СР/, подаваемыми на БУП-Х и БУП-У через переключатель П1. Режим обработки /выбор направления движения каретки, в котором осуществляется запись информации в ЭВМ/, задается переключателями П2-П6 с помощью переключателя П7 выбирается режим работы /автоматический или ручной/. Ручной режим работы соответствует положению П7, показанному на рис. 4. Переключателем П1 изменяется связь между выходами 01-04 и входами БУП-Х и БУП-У, что и позволяет переходить с одного режима сканирования на другой. П7 отключает вход СЧ-1 от импульсов генератора, что делает невозможным автоматическое формирование управляющих сигналов.

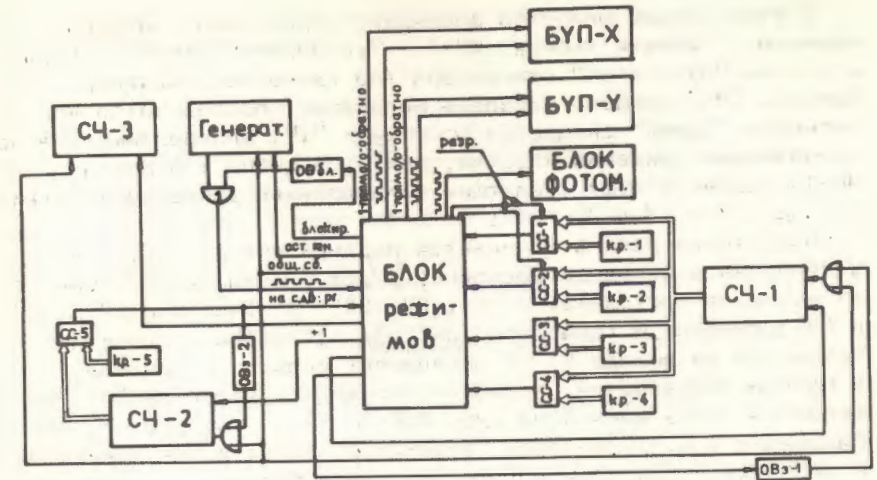


Рис. 3. Блок-схема устройства управления.

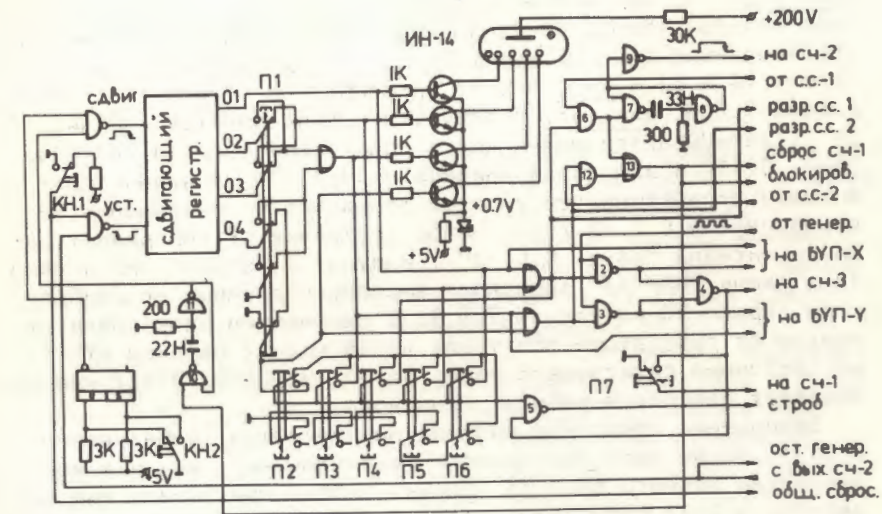


Рис. 4. Блок режимов.

В этом случае оператор формирует управляющие сигналы вручную с помощью кнопок: КН-1 - "установка", КН-2 - "сдвиг" и кнопки "пуск-стоп" генератора /на схеме не показана/. На выходах СР /имеющего цифровую индикацию/ последовательно сигналом "сдвиг" смещается состояние "1", определяющее четыре направления движения каретки, при этом цифры 1-4 лампы ИИ-14 соответствуют следующим направлениям движения каретки: 1 - +X; 2 - -X; 3 - +Y; 4 - -Y.

Подготовка режима начинается подачей сигнала установки устройства в исходное состояние /"уст." - кн.1/. СР принимает исходное состояние: $01=1$; $02 \div 04 = 0$. Счетчики СЧ-1, СЧ-2 и СЧ-3 очищены, и генератор /рис. 3/ остановлен. Единичный потенциал на выходе 01 СР определяет работу X-привода в прямом направлении, позволяет проходить импульсам от генератора через ключ 2 на вход БУП-X и разрешает срабатывание С.С.-1. Кнопкой "пуск-стоп" запускается генератор, и импульсы через ключ 1 /рис. 3/ поступают на входы ключей 2 и 3 блока режимов. Одновременно эти же импульсы через ключ 4 подаются на входы СЧ-1, СЧ-3 и на блок фотометрирования.

При совпадении числа, установленного на КР-1 /рис. 3/, с числом импульсов, поступивших в СЧ-1, срабатывает схема сравнения С.С.-1 и запускает через ключ 6:1/одновибратор блокировки $ОВ_{бл}$, блокирующий на время $T_{бл}$ импульсы генератора /рис. 3/; 2/ одновибратор задержки $ОВ_{з}$ - 1, который формирует импульс сброса СЧ-1, задержанный относительно момента срабатывания С.С.-1 на время $T_{зад}$; 3/ одновибратор сдвига /ключи 10 и 11 - рис. 4/; 4/ одновибратор записи +1 в СВ-2 /ключи 7,8,9, рис. 4/. В результате сбрасывается счетчик СЧ-1, записывается новый код в сдвигающий регистр /01, 03, 04=0; 02=1/ и заносится единица в СЧ-2. По окончании блокировки обрабатывается участок поперечного перемещения до срабатывания С.С.-2 /т.е. новое состояние СР определяет наличие сигнала "разр. С.С.-2"/, импульс с которой через ключ 12 и схему "ИЛИ-13" запускает вышеперечисленные одновибраторы, кроме $ОВ$ на ключах 7,8,9. С окончанием блокировки импульсы от генератора поступают через ключ 2 на вход БУП-X, но состояние сдвигающего регистра /01=02=04=0; 03=1/ уже определяет реверсную работу X-привода.

Завершение обратного прохода определяется срабатыванием С.С.-1, после чего повторяются переключения, как и в конце отработки прямого прохода. Только теперь при записи еще одной единицы в СЧ-2 происходит совпадение кода в счетчике с числом, установленным на КР-5, и срабатывание С.С.-5. Импульс с выхода этой схемы останавливает генератор и устанавливает

сдвигающий регистр в исходное состояние /рис. 3-5/. Работа в этом режиме закончена.

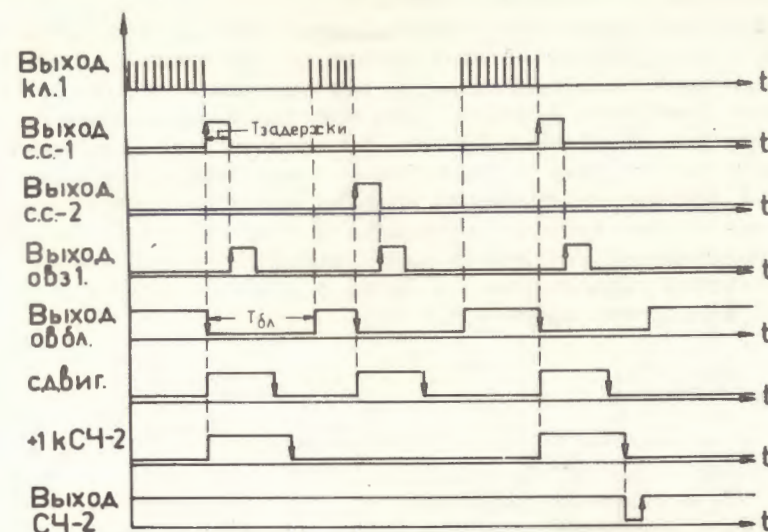


Рис. 5. Временные диаграммы работы устройства управления для автоматического режима.

БЛОКИ УПРАВЛЕНИЯ ПРИВОДАМИ

Для X-привода используется шестифазный шаговый двигатель ШД-5Д-1. Коммутация его обмоток осуществляется по 12-тактной системе: 12-123-23-234-34-345-45-456-56-561-61-612, что обеспечивает поворот двигателя с приходом каждого шагового импульса на $1,5^\circ$. Для Y-привода использован 4-фазный двигатель ШДА-2А с восьмитактной коммутацией: 12-123-23-234-34-341-41-412, что дает угол поворота, равный $11,25^\circ$.

Структурно блоки управления X- и Y-приводами построены аналогично друг другу и содержат кольцевые счетчики с пересчетом на 12 для БУП-X и на 8 для БУП-Y, дешифраторы и усилители фаз^{/12/}. При высоком потенциале на управляющем входе счетчики работают в режиме сложения - осуществляется прямая коммутация фаз двигателей. При низком - счетчики работают в режиме вычитания и коммутация фаз - реверсная.

Главное достоинство шаговых двигателей состоит в том, что они могут успешно работать в разомкнутых системах^{/12/}

без накопления или потери шагов. Так как у нас момент инерции винта продольного перемещения во много раз превосходит номинальный для двигателя ШД-5Д-1, то для надежной работы привода пуск двигателя осуществляется при частоте генератора 300 Гц с плавным ее нарастанием до предельной - 1200 Гц. Останов двигателя производится без понижения частоты генератора. Измерения показали, что каретка после перемещения на заданное расстояние /вплоть до максимального/ возвращается в исходную точку с точностью ± 2 мкм. Измерения выполнялись с помощью индикаторной головки часового типа с ценой деления 1 мкм, которая крепилась на станине АМФ, а также по смещению центра тяжести узкой реперной линии, которая многократно сканировалась с шагом = $1000/240$ мкм по одной и той же дорожке вдоль оси X.

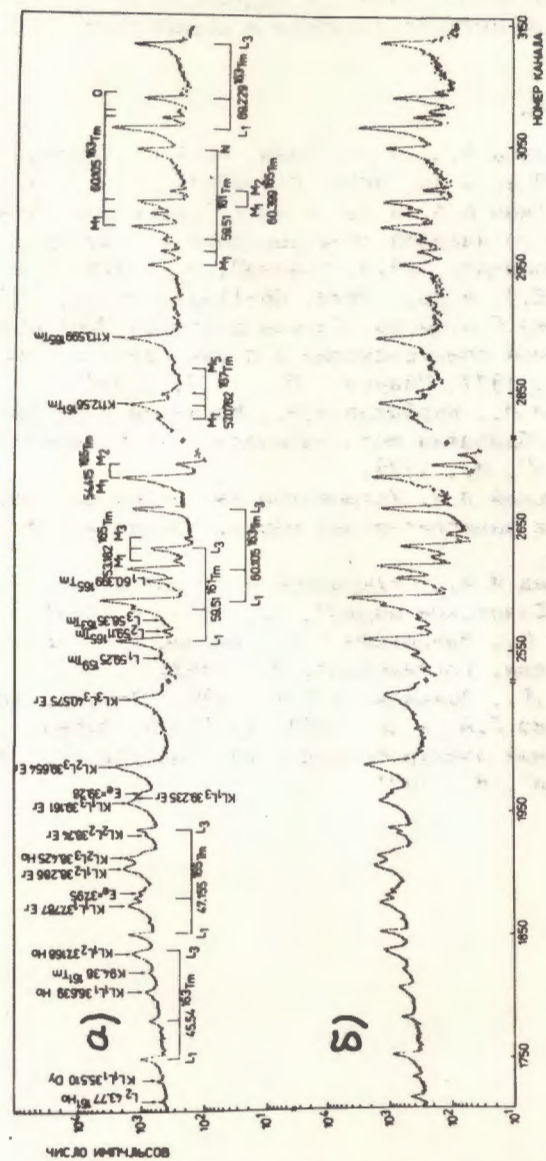
ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описываемый прибор был изготовлен в 1976 году ^{/5/} и в дальнейшем подвергнут некоторым усовершенствованиям, которые касались в основном расширения возможностей режимов сканирования и повышения точности измерений. Нами описан окончательный вариант прибора.

Высокая точность работы привода позволила осуществить программный прием информации в память ЭВМ в режиме сложения информации от разных проходов. Как и раньше ^{/2/}, с целью улучшения отношения сигнал/шум фотометрирование спектра проводилось с максимально возможной площадью щели по нескольким дорожкам. Суммирование спектров в памяти ЭВМ выполнялось программой, на внешний накопитель записывался для дальнейшей обработки уже усредненный спектр. Точность совмещения спектров гарантируется способностью каретки возвращаться в исходное положение, при котором начиналась запись спектра в ЭВМ. Организация такого режима наряду со сканированием двухстрочным растром более чем в два раза сокращает время накопления и записи спектра на внешний накопитель. При средней скорости привода 3 мм/с и пятикратном усреднении для базы 400 мм оно составляет 8-10 минут.

Возможности более мелкого шага фотометрирования спектрограммы иллюстрирует рис. 6. Как видно, спектр, полученный с шагом в 25 мкм, по сравнению со спектром, полученным с шагом в 50 мкм, имеет более четкие форму и положение линии.

Эксплуатация прибора с конца 1976 года показала его высокую надежность и эффективность.



Авторы благодарны В.И.Фоминых и С.И.Орманджиеву за помощь в отладке системы и за полезные обсуждения. Мы также признательны профессорам А.А.Абдуразакову и К.Я.Громову за постоянный интерес к работе и содействие.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абдуразаков А.А. и др. ОИЯИ, Р6-4363, Дубна, 1969.
2. Вылова Л.А. и др. ОИЯИ, Р10-6751, Дубна, 1972.
3. Абдуразаков А.А. и др. В кн.: Тезисы докладов XXVIII Сессии по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра. Алма-Ата, 1978. "Наука", Л., 1978, с.378.
4. Громов К.Я. и др. ОИЯИ, Д6-11574, Дубна, 1978, с.136.
5. Кононенко Г.А. и др. Тезисы докладов XXVII Сессии по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра. Ташкент, 1977. "Наука", Л., 1977, с.498.
6. Гришин М.П., Курбатов Ш.М., Маркелов В.П. Автоматический ввод и обработка фотографических изображений на ЭВМ. "Энергия", М., 1976.
7. Ярославский Л.П. Устройства ввода-вывода изображений для цифровых вычислительных машин. "Энергия", М., 1968, с.32,33.
8. Анисимова И.И., Глуховской В.М. Фотоэлектронные умножители. "Советское радио", М., 1974, с.58-61.
9. Чечик Н.О., Файнштейн С.М., Лифшиц Т.М. Электронные умножители. Гостехиздат, М., 1957.
10. Зинов В.Г., Орманджиев С.И. ОИЯИ, 13-9079, Дубна, 1975.
11. Кононенко Г.А. и др. ОИЯИ, 13-11576, Дубна, 1978.
12. Дискретный электропривод с ШД. Под ред. М.Г.Чиликина. "Энергия", М., 1971.

Рукопись поступила в издательский отдел
13 сентября 1979 года.