

6467

Экз. чит. зала

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

10 - 6467



ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ
ЛАБОРАТОРИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ
И АВТОМАТИЗАЦИИ

С. Аврамов, Л. Александров, И.А. Емелин,
Г.И. Забиякин, Н.С. Заикин, З. Зайдлер, Й. Звольски,
З.В. Лысенко, В.Н. Поляков, В.В. Федорин,
В.И. Фоминых, М.И. Фоминых, В.М. Цупко-Ситников,
В.П. Шириков

АВТОМАТИЗАЦИЯ ОБРАБОТКИ
СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМЫ ЭВМ
"МИНСК-2" - БЭСМ-6

1972

10 - 6467

С. Аврамов, Л. Александров, И.А. Емелин,
Г.И. Забиякин, Н.С. Заикин, З. Зайдлер, Й. Звольски,
З.В. Лысенко, В.Н. Поляков, В.В. Федорин,
В.И. Фоминых, М.И. Фоминых, В.М. Цупко-Ситников,
В.П. Шириков

АВТОМАТИЗАЦИЯ ОБРАБОТКИ
СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМЫ ЭВМ
"МИНСК-2" - БЭСМ-6

I. ВВЕДЕНИЕ

Массовые спектрометрические измерения (ядерная спектроскопия, нейтронная физика, ядерные реакции, активационный анализ и т.д.) обусловили развитие методов и средств автоматизации процессов регистрации, накопления и обработки экспериментальной информации. Поскольку спектрометрические эксперименты предусматривают, как правило, накопление преобразованных в цифровую форму и рассортированных по одному или нескольким признакам результатов измерений (так называемых одномерных или многомерных спектров), то автоматизация исследований на первой стадии была направлена, в основном, на создание высокоэффективной цифровой аппаратуры для накопления спектров.

В крупных лабораториях, где одновременно могут проводиться несколько сложных экспериментов, регистрирующая аппаратура объединяется обычно в измерительные комплексы (измерительные центры - ИЦ) с рядом общих коммутируемых блоков накопления и вывода информации и возможностью передачи данных на универсальные ЭВМ для обработки.

С появлением в физических лабораториях вычислительных машин последние становятся определяющим элементом в конфигурации измерительного центра. Обычно это малые или средние универсальные ЭВМ, связанные с другими блоками, входящими в ИЦ.

Наряду с автоматизацией процессов сбора и накопления спектрометрической информации универсальные ЭВМ обусловили развитие новых математических методов ее обработки. При обработке полученных в эксперименте спектров, в конечном счете, должна быть извлечена информация о положении и интенсивности спектральных линий (определяющих, например, энергию и интенсивность зарегистрированного излучения), учтены фоновые факторы, идентифицированы параметры спектра с исследуемым явлением.

Сложные спектры с большим количеством неразрешенных линий требуют для такой обработки достаточно сложных и длительных вычислений. В связи с этим малые и даже средние ЭВМ не могут зачастую удовлетворить всех требований полной обработки получаемой информации.

В настоящее время достаточно четко определились два взаимодополняющих направления в автоматизации обработки спектров. Первое связано с включением в процесс обработки спектров на вычислительной машине самого экспериментатора /1/. С помощью средств визуального общения с ЭВМ (дисплей и световой карандаш) физик-экспериментатор "помогает" вычислительной машине в тех случаях, когда существующие программы обработки не могут провести необходимого анализа. Использование дисплея является весьма эффективным при обработке спектров на средних и даже малых ЭВМ.

Второе направление связано со стремлением передать ЭВМ как можно больше функций по обработке спектров. Оно приводит к необходимости создания сложных программ обработки спектров, что неизбежно требует использования больших ЭВМ с их более широкими программными возможностями, с большой памятью и высоким быстродействием.

Применение больших ЭВМ позволяет создавать развитые сложные программы, способные не только автоматически анализировать спектры, но и строить, например, схемы распада ядер, используя ранее накопленную информацию и т.д.

В рамках собственно ИЦ обработка может идти, в основном, по первому пути. Стремление к более полной автоматизации обработки обуславливает создание специальных многомашинных комплексов, обеспечивающих выход измерительных центров на мощные ЭВМ.

Ниже анализируется опыт работы системы накопления, сбора и обработки спектрометрической информации на базе ЭВМ "Минск-2". Рассматривается также ряд вопросов, которые были разработаны при решении задачи автоматизации обработки данных, получаемых в ядерно-спектроскопических исследованиях на синхротронном ускорителе с энергией протонов 680 МэВ, проводимых Отделом ядерной спектроскопии и радиохимии ЛЯП.

2. Система накопления, сбора и обработки спектрометрической информации на базе ЭВМ "Минск-2"

Измерительный комплекс на базе ЭВМ "Минск-2" объединяет в единую систему разнообразную спектрометрическую аппаратуру, применяемую при исследованиях по ядерной спектроскопии. Укрупненная блок-схема этого комплекса, поясняющая выполняемые им функции, приведена на рис.1. В него входят спектрометрические тракты с полупроводниковыми детекторами для одномерных измерений гамма- и бета - спектров, магнитные спектрометры с регистрацией информации на анализаторы или выводом на перфоленту, магнитные спектрографы с регистрацией излучения на ядерные фотоэмульсии, а также установки для многомерного корреляционного анализа излучения, сопровождающего процессы распада /2/.

При всем разнообразии экспериментального оборудования общим для него является вид информации на выходе: это спектры распределений интенсивности событий в функции энергии, времени, угла и т.д.

ЭВМ "Минск-2", дополненная специальными блоками и режимами /3-5/, принимает информацию от многоканальных анализаторов, включенных в спектрометрические тракты, для последующей обработки или накопления на магнитной ленте.

На ЭВМ создан специальный режим многомерного анализа /6/, позволяющий использовать ее непосредственно для корреляционных многомерных измерений /7-9/. Через устройство связи /10/ ЭВМ работает с автоматическим микрофотометром /11/, позволяющим обрабатывать спектрограммы. К "Минск-2" подключен осциллографический дисплей со световым карандашом (ОСК) /12/, который позволяет осуществлять контроль за ходом измерений, устанавливать цифровые окна, вести предварительную обработку спектров.

Общий поток информации в измерительном центре достигает многих десятков, а иногда и сотен спектров (по 4096 каналов) в неделю.

Большая часть этих спектров содержит десятки и сотни пиков, многие из которых неразрешены и нуждаются в сложной математической обработке для извлечения информации об энергии и интенсивности регистрируемого излучения.

Функции ЭВМ ИЦ весьма разнообразны, их можно разбить на несколько основных задач:

1). Анализ - прямое участие, например, в многомерных измерениях и в работе с автоматическим микрофотометром;

2). Сбор и запись на магнитные ленты всей информации от экспериментальных установок для последующей обработки. Это делается через прямую связь промежуточных накопителей анализаторов (АИ) с ЭВМ, а если ЭВМ занята - через специальный четырехдорожный магнитофон с узкой лентой (МГ) /13/, через который может вводиться информация с установок ИЦ ЛЯП /14/, или через фотовводные устройства от некоторых магнитных спектрометров с выходом на перфоленту.

3). Первичная обработка информации, цель которой - независимо от специфики конкретной установки и связанных с ней особенностей первичной записи информации, привести ее к стандартному спектрометрическому виду, то есть получить спектр распределения интенсивностей событий в функции какого-то параметра (энергия, время, угол). Сюда входит сортировка результатов многомерного анализа, первичная обработка результатов фотометрирования и т.д.

4). Собственно обработка спектров. До последнего времени эта обработка велась в два этапа: а) предварительная обработка с помощью ОСК (для простых спектров этот этап может быть окончательным), а также разметка спектров, предусматривающая задание начальных приближений о положении линий в спектре; б) окончательная обработка на "Минск-2" сложных участков с неразрешенными линиями (например, по программе "Каток" /15/). Для полной обработки 100 спектров по такой процедуре требуется 500-600 часов, из которых около 50+ 100 часов занимает разметка.

5). Прочие задачи: небольшие расчеты по разработанным специальным программам; анализ с помощью ОСК сложных случаев, неподдающихся машинной обработке; исправления на ОСК приборных ошибок

в спектрах (сбои или выбросы), подготовка информации на перфолентах для обработки и расчетов на больших ЭВМ.

На ЭВМ "Минск-2" обычно не хватает времени для выполнения функций по прямому накоплению, сбору и первичной обработке информации, в связи с чем использование этой машины для окончательной обработки, требующей большого времени, зачастую вызывает неразрешимые противоречия. Следует подчеркнуть прогрессивность использования ОСК при переходе от ручной обработки к машинной и его незаменимость для решения ряда задач с участием человека. Однако есть ряд принципиальных трудностей в использовании малых и средних ЭВМ для обработки спектрометрической информации. Ограниченность быстродействия и памяти затрудняет создание для них достаточно эффективных программ полностью автоматической машинной обработки спектров. Использование ОСК для разметки помимо больших затрат времени в ряде случаев чревато субъективизмом подхода оператора к оценкам при задании начальных приближений, например, информативности данного участка.

Решением возникающих трудностей является создание канала прямой связи измерительного комплекса с мощной ЭВМ и создание полностью автоматизированных программ обработки спектров. Это позволяет перенести на мощную ЭВМ основную нагрузку по решению задачи окончательной обработки.

В соответствии с принятым в ОИЯИ планом создания системы вычислительных машин, предусматривающей связь периферийных ИЦ лабораторий с базовой ЭВМ БЭСМ-6 измерительно-вычислительного комплекса ОИЯИ /16/, были проведены работы по объединению машин "Минск-2" и БЭСМ-6 в комплекс обработки спектрометрической информации.

Создание такой системы включает три основные задачи:

1. Разработку надежной и быстродействующей линии связи между ЭВМ.
2. Создание соответствующей системы математического обеспечения для работы машин.
3. Создание максимально автоматизированных программ анализа и обработки спектров.

Постановка и решение этой задачи потребовали совместной работы большого коллектива специалистов, включающего инженеров, математиков и физиков.

3. Система ЭВМ "Минск-2" - БЭСМ-6.

Обмен информацией между ЭВМ измерительных центров и большими машинами центрального вычислительного комплекса производится по кабельным линиям связи. Центральной ЭВМ комплекса является БЭСМ-6, оснащенная разработанным в ОИЯИ каналом ввода-вывода информации ^{/17/}, к которому может быть подключено до 8 быстродействующих линий связи ^{/18/}. Канал обеспечивает передачу в обоих направлениях 8-разрядных слогов со скоростью до 500 тысяч слогов в секунду. Длина передаваемого массива - 48,1584 или 6192 слога. Сигналы канала поступают в стойку КУС, где находятся кабельные усилители, и производится некоторое логическое преобразование сигналов канала.

В линиях связи использованы симметричные магистральные кабели типа МКСБ 7x4xI,2+6xO,9, техническая скорость линий связи - 500 кбит/сек по каждой паре кабеля на расстоянии до 7 км. Набор логических сигналов выбран симметричным в обоих направлениях, так, чтобы любые ЭВМ можно было бы соединить между собой в произвольных комбинациях, что необходимо для изменения конфигурации системы и проведения наладочных работ.

Линия связи со стороны ОЯС ЛЯП оканчивается кабельными усилителями, преобразующими сигналы линии связи в сигналы элементов "Минск-2" и наоборот. Далее сигналы поступают в устройство связи, максимально использующее имеющиеся в машине схемы.

Для организации связи в системе используется обмен служебными управляющими слогами между абонентами. Слог управления содержит информацию о номере абонента, о режиме обращения ЭВМ к системе, о выполняемой операции и ее особенностях ^{/19/}. Организация обмена не зависит от типа используемых в системе ЭВМ.

Основным режимом работы центральной ЭВМ БЭСМ-6 с машинами периферийных измерительных центров (в частности, "Минск-2") является режим дистанционной пакетной обработки.

Информация, передаваемая с "Минск -2" по кабельным линиям связи, должна представлять собой сформированный пакет (файл) задачи согласно требованиям мониторной системы "Дубна" ЭВМ БЭСМ-6 к вводимым через обычное читающее устройство задачам /20/. Программы обработки заранее формируются в виде программ личной библиотеки и хранятся на одной из лент БЭСМ-6, поэтому в передаваемом с "Минск-2" файле достаточно указать лишь их вызов и числовую информацию о спектрах.

Для приема и накопления информации, поступающей по линиям связи с ЭВМ, в операционной системе БЭСМ-6 на базе диспетчера ДД-7I создана задача обслуживания линий связи (как часть диспетчера). Эта задача устанавливает связь между двумя ЭВМ (по запросу от периферийной ЭВМ), осуществляет прием данных и запись принимаемого файла задачи на магнитную ленту для последующей обработки.

В операционной системе ДД-7I одновременно могут обрабатываться 3 задачи: две задачи пользователя, запускаемые через читающее устройство БЭСМ-6, и одна служебная задача, не требующая для своей работы печатающего устройства (АЦПУ). Задача связи оформлена в качестве служебной, поэтому установление связи, прием и накопление полученной информации осуществляется одновременно со счетом двух задач пользователя БЭСМ-6.

Передаваемый с "Минск-2" файл задачи готовится в следующем виде:

```
*NAME M2
*ASSIGN LIBRARY1
*ASSIGN L TAPE
*PERSONAL LIBRARY
*NO LOAD LIST
*MAIN AG1
*CALL PICMEMORY
*EXECUTE
```

числовой материал (спектр)

* END FILE

Программы обработки спектрометрической информации на БЭСМ-6 не могут использовать числовую информацию в таком виде, в котором она обычно хранится на магнитных лентах "Минск-2". Поэтому перед передачей массивов данных она с помощью программы перекодирования преобразуется в образы перфокарт для БЭСМ-6.

Спектры, хранящиеся на магнитных лентах "Минск-2", считываются в МОЗУ, переводятся из двоичной в десятичную систему, перекодировываются в образы текстовых перфокарт (в коде УПП БЭСМ-6) и записываются на отдельную магнитную ленту, где хранятся до передачи на БЭСМ-6. Инструкции (число спектров, длина спектра, местонахождение на магнитной ленте) составляются заранее и вводятся в память "Минск-2" перед работой с программой перекодировки. Обычно для обработки на БЭСМ-6 передаются спектры длиной 4096 каналов. На подготовку такого спектра необходимо затратить на "Минск-2" около 2,5 минут. Помимо подготовки данных программа перекодирования формирует текст для БЭСМ-6 (файл).

Подготовленные данные по программе связи передаются на БЭСМ-6 массивами по 41 перфокарте (по 6192 слога) и записываются на магнитную ленту БЭСМ-6, называемую лентой ввода (рис.2).

Программа связи на "Минск-2" обеспечивает установление связи между ЭВМ, считывание с магнитной ленты и передачу массива на БЭСМ-6. Для передачи одного спектра требуется 20+30 секунд работы "Минск-2".

Принятый на ленту ввода БЭСМ-6 файл запускается в обработку вводом через читающее устройство машины БЭСМ-6 следующих карт:

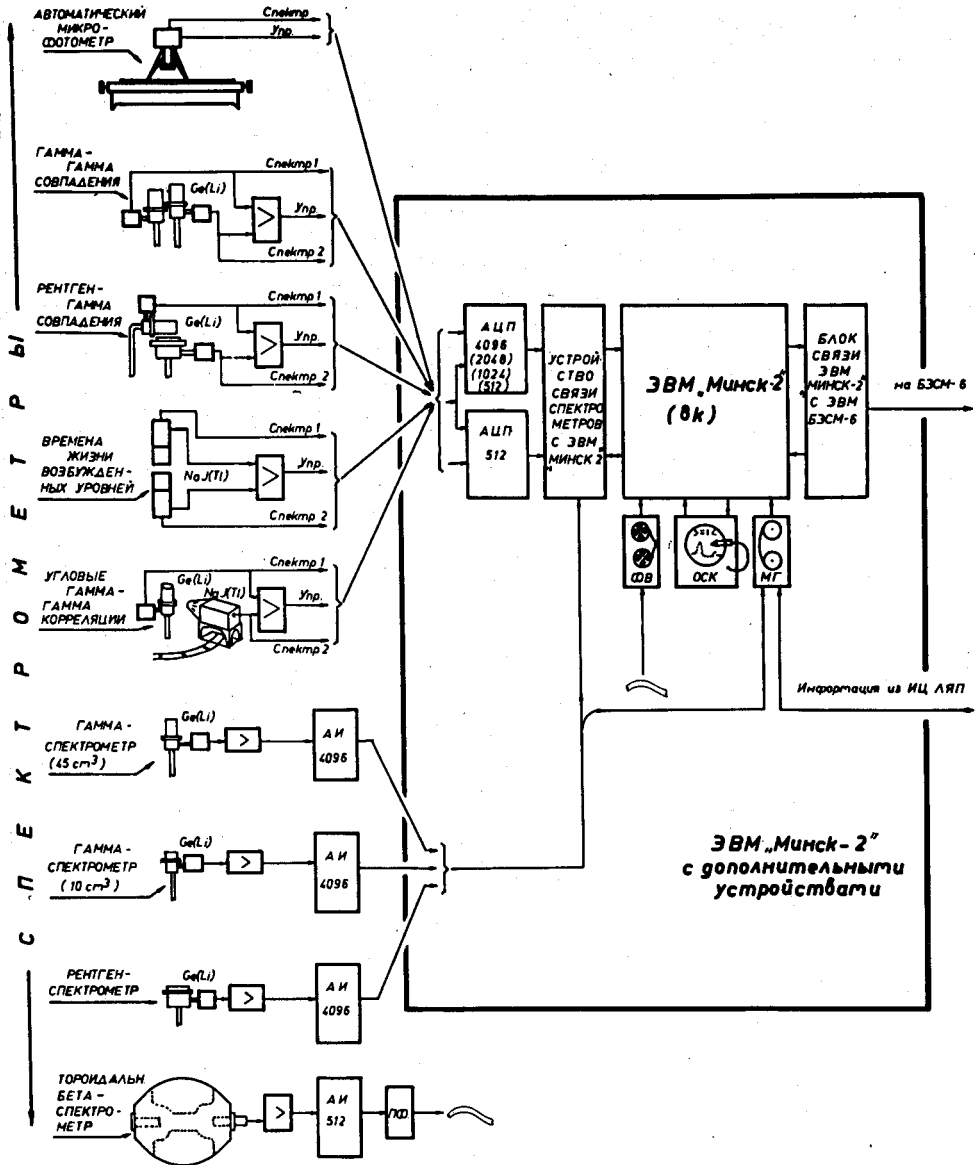


Рис. 1. Блок-схема измерительно-вычислительного комплекта
отдела ядерной спектроскопии и радиохимии ЛЯП ОЯИ.

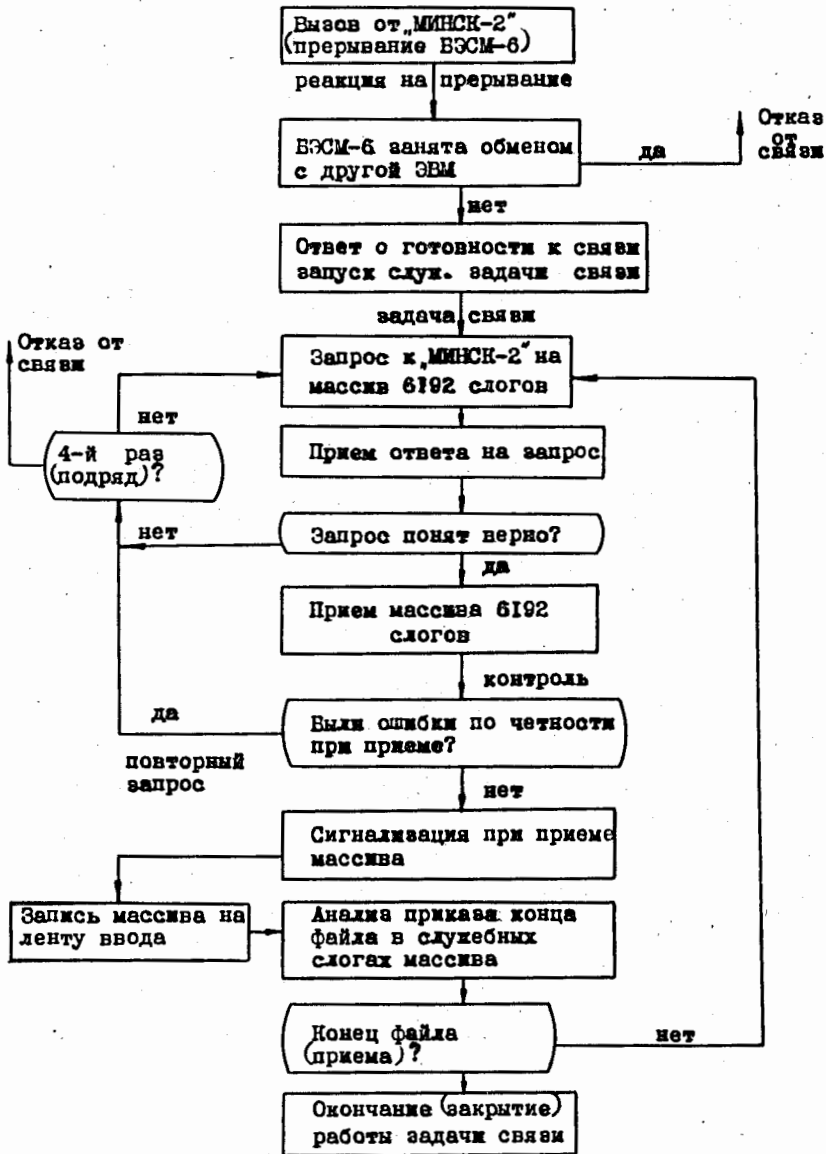


Рис.2. Работа операционной системы ВЭСМ-6 при приеме файла от ЭВМ „Минск-2“.

* NAME OPERATOR
* ASSIGN LTAPE
* ASSIGN ATAPE 30
* CALL AVToload
* END FILE

- спец. код конца -

* INPUT TAPE

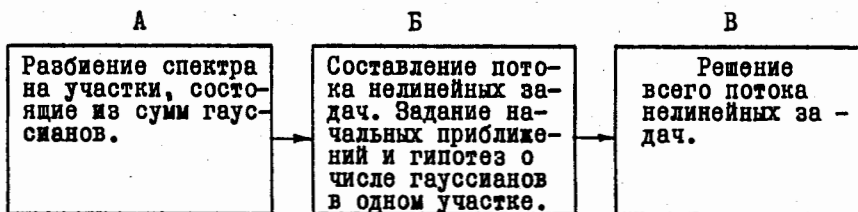
* NAME M2

- спец. код конца -

4. Программа автоматической обработки спектров на БЭСМ-6

При интерпретации измерений ядерно-физического эксперимента (например, измерений гамма-спектров) ставится математическая задача анализа получаемых спектров с предположением, что их информативные участки представляются суммой гауссианов /17,21,22/. В общем случае несущими информацией величинами (неизвестными) являются позиции, амплитуды и полуширины предполагаемых гауссианов, а также и число таких гауссианов. Обработка всего измеренного спектра сводится к решению целого потока нелинейных задач одного типа, но имеющих разную размерность. В этом потоке могут встречаться как простые нелинейные задачи, так и очень сложные, например, такие, при которых имеет место наложение гауссианов, то есть гауссианы с одинаковыми или близкими позициями или гауссианы с относительно малыми амплитудами.

Общая математическая задача анализа на ЭВМ измеренных спектров ядерно-физического эксперимента может быть представлена по следующей упрощенной блок-схеме:



В блоке А предполагается выбрасывание неинформативных участков. Обычно эти участки связаны с большим информативно-паразитным фоном или с неинформативными гауссианами (т.е. измеренными с меньшей точностью, чем уровень точности, определенный для данного эксперимента). Работа блока А существенно связана с работой остальных блоков. При разбиении спектра на участки предполагается, что они состоят из сумм гауссианов, например, нельзя начинать или кончать участок в точках спектра, являющихся очевидными положениями гауссианов.

Разбиение спектра на участки сочетается и с самим методом решения нелинейных задач, имеющих место в блоке В.

В блоке Б окончательно формируется поток нелинейных задач. Здесь может иметь место и использование специального порядка нелинейных задач. Каждая нелинейная задача потока снабжается своими гипотезами о начальных приближениях и о числе гауссианов. В блоке В последовательно решаются все задачи данного потока. Основным в работе блока В является привлечение такого вычислительного метода решения нелинейных систем уравнений, который бы эффективно справлялся со всеми его представителями.

Существующий опыт обработки спектрометрической информации позволяет сформулировать требования относительно метода решения нелинейных уравнений, используемого в блоке В:

- 1) - относительная независимость от начальных приближений;
- 2) - общая устойчивость метода и, в частности, в случаях решений, являющихся непростым нулем;
- 3) - высокая скорость сходимости метода, по возможности, квадратичная.

Дополнительно предполагается, что требования, предъявляемые к методам в блоке В, можно моделировать в процессе вычислений на ЭВМ и можно в этом случае говорить о конструктивном обладании вышеперечисленными свойствами. Если метод решения конструктивно обладает всеми этими свойствами, то можно считать его универсальным. В дальнейшем основным используемым предположением, подкрепленным вычислительной практикой, является следующее: решение потока нелинейных задач в блоке В можно осуществить только на основе универсального метода.

Одним из возможных универсальных методов является регуляризованный итерационный метод Ньютона-Канторовича, основанный в работах /23-26/. Как отмечено в последней из этих работ, на основе регуляризованного итерационного процесса можно находить и число искомым закономерностей (в задачах анализа спектров ядерно-физической информации - гауссианов).

Этот способ нахождения числа гауссианов был с успехом применен в программе "Каток" /15,22/ и потом обобщен в концепцию анализа скрытых закономерностей /27/.

Для обеспечения обработки значительной части спектрометрической информации, получаемой в ОЯС и РХ ЛЯП и передаваемой по линии связи, разработана программа автоматической обработки АГ-I, в основу которой положена концепция о решении полной задачи анализа скрытых закономерностей, развитая в этой же работе /27/. Программа АГ -I занимает более 50 тысяч ячеек в памяти БЭСМ-6.

В программе АГ-I в отличие от программы "Каток" блоки А и В полностью автоматизированы (напомним, что блоки А и В в программе "Каток" выполняются оператором с помощью осциллографического дисплея).

За полтора года использования программы "Каток" в ОЯС и РХ ЛЯП было обработано несколько тысяч нелинейных задач и не было ни одного случая расходимости примененного метода регуляризованного процесса. Таким образом, примененный дисплейный метод для выполнения блоков А и Б можно считать самым надежным способом решения данного вопроса. Однако, по упоминающимся уже причинам, и, прежде всего, в связи с трудоемкостью дисплейного метода, выявилась необходимость дополнить программу "Каток" полностью автоматизированными блоками А и В. При этом следует отметить, что сама автоматизация этих блоков представляет определенную самостоятельную научную задачу.

Другой особенностью алгоритма программы АГ -I является гибкость применения концепции анализа скрытых закономерностей в разных частях итерационного процесса при решении каждой задачи потока нелинейных задач. Такая гибкость достигается за счет наличия ряда параметров и "настроек", которые находятся на основе предварительного "обучения" программы на специально подобранном множестве спектров, и при дальнейшей эксплуатации программы остаются постоянными. Это, в частности, позволяет получить лучшие статистические оценки искомых величин. Статистический анализ в программе АГ -I основан на методе наименьших квадратов.

Следует отметить, что в настоящее время общий нелинейный статистический анализ еще недостаточно развит и, в частности, не найдены его решения для случая вырождения задачи. Это вынуждает искать и использовать в конкретных задачах частные приемы оценок искоемых параметров, имеющие порой только эмпирическое обоснование.

На рис.3 приведен пример полного анализа гамма-спектра ^{197}Tl , выполненного программой AG-I. Участки, обработанные программой, показаны сплошными линиями. Стрелками отмечены позиции всех найденных пиков гауссианов, а цифрами - энергии некоторых из найденных гамма-переходов. Кружками обведены участки, не анализировавшиеся в блоке В по причине неинформативности, объявленной в блоках А и Б.

Как следует из рис.3, в потоке нелинейных задач часто встречались случаи повышенной трудности (участки с энергией 134,152, 156,578 Кэв и многие другие), которые могут быть решены только на основе универсальности применяемого процесса. Приведенный результат работы программы AG-I определенно показывает, что на реальном спектре она обработала все информативные участки. После окончания анализа программа AG-I выдает таблицу, содержащую позиции и площади пиков с соответствующими ошибками. На обработку, например, гамма-спектра изотопа ^{197}Tl программа AG-I затратила 3,7 минуты рабочего времени БЭСМ-6. При этом в спектре было обнаружено 55 пиков. Следует отметить, что при необходимости некоторую информацию можно выдавать из программы AG-I во время ее работы в канал на "Минск-2", используя имеющийся в диспетчере ДД-7I экстракод обмена.

Работы по созданию автоматизированных программ обработки спектров только начаты. Программа AG-I является одним из первых вариантов такой программы, прошедшим на реальных спектрах значительной сложности проверку.

Продолжение работ в этом направлении должно идти как по пути развития математических методов и алгоритмов, повышающих надежность и быстродействие этих программ, так и по пути расширения их возможностей, например, обработка бета-спектров с асимметричными линиями и т.д.

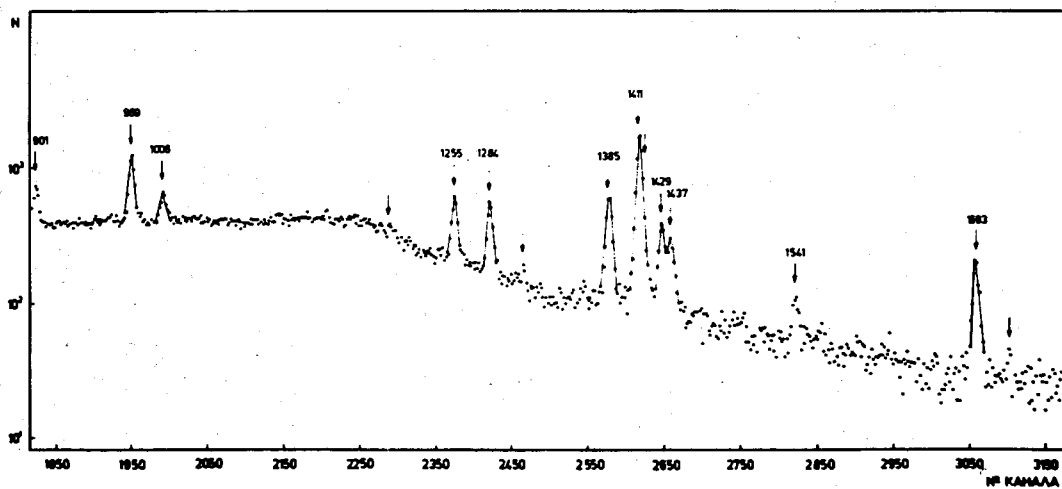
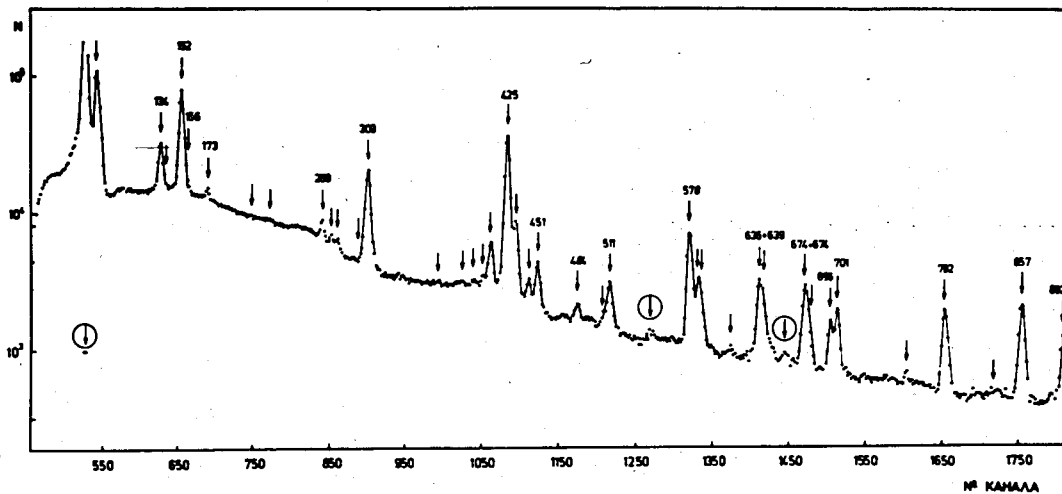


Рис. 3. Гамма-спектр изотопа ^{197}Tl , обработанный по программе автоматического поиска фотопиков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г.И.Забиякин, Й.Звольски, В.И.Приходько, И.Томик, В.Р.Трубников, В.И.Фоминных, В.М.Цупко-Ситников. Изв. АН СССР, сер. физ., 1967 г., т.31, №10, Ст.1601.
2. Г.И.Забиякин, В.М.Цупко-Ситников. Препринт ОИЯИ, 1969 г., IO-4977, Дубна.
3. В.А.Владимирский, Ф.Дуда, Г.И.Забиякин, Э.В.Лысенко и др. Препринт ОИЯИ, 1967 г., IO-3272, Дубна.
4. А.И.Барановский, В.А.Владимиров, Ф.Дуда, Б.Е.Журавлев, Г.И.Забиякин, Э.В.Лысенко и др. Препринт ОИЯИ, 1967 г., № IO-3406, Дубна.
5. В.А.Владимиров, Ф.Дуда, Э.В.Лысенко. Препринт ОИЯИ, 1967 г., № II-3331, Дубна.
6. Ф.Дуда, О.И.Елизаров, Г.П.Жуков, Й.Звольски, Э.В.Лысенко, В.И.Приходько, В.Г.Тешин, В.И.Фоминных, В.М.Цупко-Ситников. Препринт ОИЯИ, 1968 г., № IO-4236, Дубна.
7. В.С.Александров, Ф.Дуда, О.И.Елизаров, Г.П.Жуков, Г.И.Забиякин, Э.Зайдлер, Й.Звольски, Е.Т.Кондрат, Э.В.Лысенко, В.И.Приходько, В.Г.Тешин, В.И.Фоминных, В.М.Цупко-Ситников, Изв. АН СССР, сер. физ., т.34, №1, ст. 69-77, 1970 г.
8. В.А.Морозов, В.И.Разов, В.И.Фоминных, В.М.Цупко-Ситников. ПТЭ, 1971 г., 5, Ст.83.
9. Я.Ваврышук, В.Жук, Э.Крупа, В.И.Разов, Я.Сажинский, М.Субботович, В.И.Фоминных. Препринт ОИЯИ, 1970 г., № I3-5500, Дубна.
10. В.А.Владимиров, Ф.Дуда, Э.Зайдлер, В.И.Приходько, В.И.Талов, В.И.Фоминных, М.И.Фоминных, В.М.Цупко-Ситников. Препринт ОИЯИ, 1969 г., № IO-4630, Дубна.

11. Л.А.Вавилова, Г.Исхонов, Ф.В.Левчановский, М.Потемпа, В.И. Приходько, А.В.Ревенко, З.Стахура, В.М.Цупко-Ситников. В книге "Совещание по яд. спектроскопии и теории ядра, Дубна, 1971 г.", тезисы докладов, 1971 г., с.180, ДБ-5783, Дубна.
12. Ф.Дуда, З.Зайдлер, Й.Томик, В.П.Трубников, Ю.В.Тутышкин, М.И.Фоминих, В.М.Цупко-Ситников. Препринт ОИЯИ, 1970 г., № IO-4977, Дубна.
13. Ю.П.Прокофьев, А.Н.Синаев, Н.А.Чистов. Препринт ОИЯИ, 1968 г., № IO-3795, Дубна.
14. С.В.Медведь, В.В.Моисеева, А.Н.Синаев, Г.Ю.Цахер, Н.А.Чистов. Препринт ОИЯИ, 1968 г., № IO-3836, Дубна.
15. В.Гаджиков. Препринт ОИЯИ, 1979 г., № P10-5035, Дубна, ПТЭ, № 5, стр.82, 1970 г.
16. Г.И.Забиякин, В.С.Бородин, А.Ф.Виноградов, В.А.Владимиров и др. Препринт ОИЯИ, 1970 г., № БI-IO-4984, Дубна.
17. А.В.Гусев, И.А.Емелин, А.А.Карлов, В.В.Федорин, Н.И.Чулков, С.А.Щелев. Препринт ОИЯИ, 1968 г., № II-4200, Дубна.
18. В.Н.Поляков. Труды II Школы "ЭВМ в экспериментальной физике", стр. 235-245, ОИЯИ, 1970 г., № IO-5255, Дубна.
19. Н.С.Заикин, О.Н.Ломидзе, В.Н.Поляков, В.П.Шириков. Препринт ОИЯИ, 1971 г., № БI-II-5964, Дубна.
20. В.Ю.Веретенков, Н.С.Заикин, И.Н.Силин, Г.Л.Семашко. Препринт ОИЯИ, 1970 г., № БI-II-4974, Дубна.
21. А.Фергюсон. Методы угловых корреляций в гамма спектроскопии. Атомиздат, 1969 г., Москва.
22. В.Гаджиков. Труды II школы ОИЯИ "ЭВМ в экспериментальной физике" стр.155, ОИЯИ, 1970 г., № IO-5255, Дубна.
23. Л.Александров. Препринт ОИЯИ, 1970 г., № P5-5137, Дубна.
24. Л.Александров. Препринт ОИЯИ, 1970 г., № P5-5515, Дубна.

25. А.Н.Тихонов. ДАН, 1965 г., № 3, стр.163.
26. Л.Александров. ЖВМ и МФ, 1970 г., т.10, № 5, с.1285.
Препринт ОИЯИ, 1970 г., № Р5-5215, Дубна.
27. Л.Александров, В.Гаджоков.
Препринт ОИЯИ, 1970 г., № Р5-5294, Дубна.
L.Aleksandrov, V.Gadjokov. J. of Radioanal. Chem., 9,
No. 2 (1971), 279-293.

Рукопись поступила в издательский отдел
23 мая 1972 г.