

26845
Т-471

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

А.С.Тишечкин

10 - 3688

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО
ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ В ГАММА-СПЕКТРОМЕТРИИ
(специальность 260, приборы экспериментальной физики)

Автореферат диссертации на соискание учёной
степени кандидата технических наук

Дубна 1968

Работа выполнена в Физико-энергетическом институте Государственного Комитета по использованию атомной энергии СССР.

Научный руководитель: доктор технических наук Л.А.Маталин

Официальные оппоненты: доктор технических наук А.П.Цитович
кандидат технических наук И.В.Штраних

Ведущее предприятие: Лаборатория нейтронной физики Объединенного института ядерных исследований.

Автореферат разослан 1968 г.

Защита диссертации состоится 1968 г. на заседании Ученого Совета Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований г.Дубна, Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в Центральной библиотеке ОИЯИ.

Учёный секретарь Совета
кандидат физ.-мат. наук

О.А.Займидорога

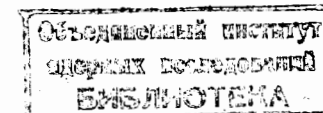
5744 6

А.С.Тишечкин

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО
ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ В ГАММА-СПЕКТРОМЕТРИИ

(специальность 260, приборы экспериментальной физики)

Автореферат диссертации на соискание учёной
степени кандидата технических наук



Обработка экспериментальных данных является одним из важнейших этапов в современных научных исследованиях. Необходимость обработки результатов измерений обусловлена многими причинами. Одной из основных причин является углубление физических исследований в такие области, где на результат измерений оказывают значительное влияние условия эксперимента и сам регистрирующий прибор. Необходимость учёта различных факторов, отражающихся на результатах эксперимента, стимулировала развитие математических методов обработки наблюдений. Так, в частности, задачи, возникающие при обработке данных гамма-спектрометрии, потребовали привлечь для их решения теорию интегральных уравнений, линейную алгебру, математическое программирование и т.п. /1,2/ .

В свою очередь, эволюция средств и методов эксперимента привела к чрезвычайному увеличению количества информации, которая является результатом измерений.

Эти два момента - необходимость учёта многих возмущающих факторов, сопутствующих современным физическим измерениям, и огромное количество информации, подлежащее обработке, - привели к тому, что к проблеме обработки данных стали все шире привлекать средства вычислительной техники: как универсальные цифровые вычислительные машины (ЦВМ), так и специализированные системы и устройства.

Внедрение современных ЦВМ в физический эксперимент связано, как правило, с большими техническими трудностями. Машины приходится дооборудовать рядом

специализированных цифровых устройств и промежуточных блоков, которые позволяют автоматически вводить в ЦВМ экспериментальную информацию, иногда с предварительным накоплением и некоторой обработкой, а также предоставляют экспериментатору ряд удобств при работе с ЦВМ (вывод информации на ЭЛТ, световой карандаш и т.п.). Наиболее полно используются возможности ЦВМ в режиме *on-line*, когда она работает в реальном масштабе времени, управляя ходом эксперимента и обрабатывая его результаты. Применение вычислительных машин только для обработки экспериментальных данных очень часто приводит к неэффективному использованию ЦВМ. Это объясняется тем, что решение многих задач собственно обработки производится по весьма простым алгоритмам и, тем самым, не реализуются все возможности машины, а эпизодический характер поступления данных на обработку приводит к плохому использованию ее времени.

Поэтому часто для обработки данных строят специализированные вычислительные устройства (СВУ). Это можно наблюдать во многих отраслях науки и техники: медицине, химии, связи и т.д. Особенно большое распространение СВУ получили в военном деле и космических исследованиях. В ядерной физике специализированные системы интенсивно развиваются в области физики высоких энергий для автоматического анализа данных, получаемых с помощью фотографических пластинок, пузырьковых и искровых камер^{/3/}. Несомненно, что СВУ могут быть полезны и в других отраслях ядерной физики, в частности, с их помощью может быть решена значительная часть проблемы обработки результатов измерения в нейтронной и гамма-спектрометрии^{/4,5,6, /}.

Реферируемая работа посвящена, в основном, вопросам разработки и применения специализированного вычислительного устройства, предназначенного для обработки непрерывных гамма-спектров, получаемых при помощи однокристалльных сцинтилляционных спектрометров, которое является развитием устройства, описанного в работах^{/5,6/}.

В первой главе работы рассматривается минимальный круг задач, связанных с обработкой спектров. Основное внимание уделено матричным методам обработки, которые являются наиболее общими и широко применяются не только при обработке непрерывных гамма-спектров, но и при обработке спектров быстрых нейтронов и при учете некоторых явлений в спектрометрии заряженных частиц.

Как известно, связь измеренного распределения амплитуд импульсов $P(E')$ с истинным энергетическим спектром $N(E)$ фотонов, падающих на кристалл детектора, выражается уравнением Фредгольма 1 рода.

$$P(E') = \int_0^{E_{\max}} K(E, E') N(E) dE, \quad (1)$$

где $K(E, E')$ — характеристическая функция спектрометра, выражающая вероятность того факта, что фотон с энергией E , попавший в объем детектора, будет зарегистрирован прибором как фотон с энергией E' .

Уравнение (1) решается обычно численным методом, для чего оно представляется в дискретной форме в виде

$$P(E_j) = \sum_{i=1}^n K_{ji} N_i. \quad (2)$$

Изменяя j от 1 до n , мы получим систему линейных алгебраических уравнений, которую можно представить в виде матричного уравнения

$$P = K \cdot N. \quad (3)$$

Теперь формальное решение относительно N можно получить, умножая (3) спереди на инвертированную матрицу K^{-1} :

$$N = K^{-1} P.$$

Далее кратко рассматриваются вопросы, связанные с обусловленностью системы алгебраических уравнений, и метод регуляризации, предложенный для решения плохо обусловленных систем.

Рассмотрена связь ошибок в измеренном распределении амплитуд импульсов и в матрице коэффициентов чувствительности (K) с ошибками в истинном энергетическом спектре фотонов N , полученном после матричной обработки. На основе этого рассмотрения приводится оценка числа каналов, пригодных для матричной обработки. Эта оценка определяется характеристиками спектрометра и интегральной статистикой измеренного распределения. Приводится в качестве примера один из методов экспериментального конструирования матриц коэффициентов чувствительности, основанный на измерении эталонных источников гамма-лучей и интерполяции характеристических функций спектрометра для этих источников на все интервалы энергий исследуемого диапазона.

Кроме метода обработки спектра с инвертированной матрицей, рассматриваются два метода обработки с использованием прямой матрицы. Один из них — это метод последовательного исключения неизвестных, применяемый при решении

систем линейных алгебраических уравнений (метод Гаусса). В данном случае пригодность этого метода основывается на том, что матрицы коэффициентов чувствительности K очень часто имеют треугольный вид. Этот способ решения обладает существенным недостатком - накоплением ошибки в процессе решения. Другой - метод итераций. Он обладает хорошим свойством самокорректировки. Кроме того, он предъявляет более мягкие требования к матрице, в частности, она может иметь и нетреугольный вид. При хорошо обусловленной матрице требуется всего 3-4 цикла итераций, чтобы получить приближение, укладывающееся в статистические ошибки измерения.

Для обработки спектров, получаемых с детекторами высокого разрешения, когда матрицы коэффициентов чувствительности могут быть очень большого порядка (50-400), и их трудно инвертировать, рассматривается метод итераций, сводящийся к замене треугольной матрицы на близкую к ней диагональную матрицу.

Далее в этой главе рассматривается введение поправок на фотоэффективность кристалла, фон, мертвое время анализатора, конечное значение энергетического разрешения спектрометра, случайное суммирование событий и метод учёта нелинейности спектрометра, предложенный автором^{/7/}. Уделено также большое внимание некоторым процедурам, к которым приходится прибегать при обработке; таковыми являются сглаживание экспериментальных данных, дифференцирование спектров и перегруппировка данных.

Сглаживание экспериментальных данных применяется тогда, когда желательно в какой-то мере устранить статистические флуктуации в числах отсчётов, полученных на выходе анализатора. Широко распространенный метод наименьших квадратов, когда вся совокупность данных рассматривается в целом, мало пригоден при ручной обработке результатов измерений или при использовании для этих целей небольших вычислительных устройств из-за громоздкости вычислений. Здесь рассматривается метод, основанный на локальном применении метода наименьших квадратов, когда пять смежных каналов подгоняются к параболе второй степени^{/8/}. Указывается также на возможность использования для этих целей сглаживающего свойства ядра уравнения Фредгольма первого рода, когда оно имеет вид, например, гауссиана^{/2/}.

Дифференцирование спектров применяется при некоторых методиках обработки высокоэнергетических гамма-спектров, полученных при помощи органического кристалла, а также при обработке спектров нейтронов.

Перегруппировка данных часто бывает необходима для приведения в соответствие спектров по шкале энергий. В работе рассматривается разработанный автором^{/7/} способ перегруппировки данных, получаемых при помощи многоканальных спектрометров. Способ основывается на делении каждого "старого" канала на некоторое число "подканалов" и суммировании последних в необходимых количествах в "новые" каналы.

В заключение главы рассмотрен порядок, в котором необходимо обрабатывать спектры: каждой процедуре поставлен в соответствие оператор и обработка в целом выглядит как последовательность математических операций, совершаемых над измеренным распределением амплитуд импульсов с целью получения истинного энергетического спектра фотонов.

Вторая глава посвящена принципам конструкции и описанию технических данных специализированного вычислительного устройства. Вначале показывается значение автономности для таких устройств. Автономность основывается на наличии развитых устройств ввода и вывода информации и собственного ЗУ. Рассмотрен класс задач, которые предлагается решать устройству, и алгоритмы их решения. На основе этого рассмотрения были сформулированы технические условия, которым должно удовлетворять вычислительное устройство в целом и его отдельные блоки: Арифметическое устройство (АУ), Устройство управления (УУ), Память и т.д. Показано, в частности, что при использовании перфоленты в качестве носителя оперативной информации, например, для запоминания элементов матрицы коэффициентов чувствительности, имеется возможность сократить объем памяти в десятки раз по сравнению с тем случаем, когда они запоминались бы в МЗУ СВУ. Так, например, при существующих размерах памяти можно обрабатывать спектры до 128 порядка включительно. Для запоминания такой матрицы, а также спектра и результатов вычислений, потребовалась бы память более, чем на 8000 слов, что чрезвычайно увеличило бы габариты и сложность устройства. Реализованное решение этой проблемы позволило избежать указанных трудностей без ухудшения остальных параметров СВУ, в частности, быстродействия. Таким образом, в данном СВУ имеется возможность совмещения арифметических операций и операций ввода информации, при этом обработка заканчивается вместе с окончанием ввода.

Устройство управления сконструировано таким образом, что позволяет производить программирование вычислений. Оно допускает как ручное управление

устройством, так и переход на автоматический режим. Можно отметить также некоторую особенность в построении логических связей между отдельными блоками устройства. В СВУ имеется библиотека подпрограмм, основой которых являются двухтактные регистры сдвига, выполненные на ферритовых кольцах. При работе устройства неизбежно происходит "передача управления" от одного блока к другому. Для упрощения проведения этой операции и повышения ее надежности была принята следующая схема построения логических узлов: 1) регистры, входящие в различные программы, построены незамкнутыми - этот момент устранил необходимость в дозировке тактовых импульсов и клапанировании их: "единица" в регистр заносится только тогда, когда ему передано управление, она лишь однажды проходит регистр и выпадает из него, передав управление другому блоку; 2) все регистры работают от различных тактовых серий, сдвинутых друг относительно друга во времени. Для этой цели был построен специальный многофазовый генератор, вырабатывающий две серии по 50 кГц и 10 серий по 10 кГц. Это дало возможность передавать "единицу" от одного регистра другому в период между тактовыми импульсами второго. Такая структура логики оказалась весьма простой и чрезвычайно надежной.

Исходя из условий формированного режима работы СВУ, в котором ввод информации и ее обработка производятся одновременно, необходимо было обеспечить такое быстродействие всех блоков устройства, чтобы оно не отражалось на скорости ввода. Оказалось, что эти требования можно удовлетворить весьма низкими частотами тактовых серий - порядка 10-50 кГц. Даже при этих частотах скорость ввода может быть доведена до 1000 знаков в секунду, что на порядок выше скорости, даваемой ФСУ-1. Кроме того, наличие нескольких серий частот, сдвинутых друг относительно друга, позволяет получать их комбинации, т.е. серии с частотами 20, 30 кГц и т.д., и направлять их на те блоки, быстродействие которых желательно повысить.

Были оценены погрешности вычислений, которые вносит СВУ при обработке. В данном случае погрешности происходят по двум причинам: 1) из-за конечного числа двоичных разрядов, отведенных для представления дробной части числа, и 2) из-за отбрасывания дробной части при выводе результата вычислений из сумматора в память. Произведенная оценка показала, что 15 двоичных разрядов вполне достаточно для того, чтобы ошибка представления наименьших элементов матрицы была более, чем на десятичный порядок меньше статистической ошиб-

ки этого элемента, а отбрасывание дробной части результата по самой сути не может превышать единицы и, тем самым, всегда значительно меньше погрешности измерений. Таким образом, СВУ не вносит заметной погрешности в результаты вычислений.

Габариты отдельных блоков СВУ следующие: сумматор и регистр I, из которого число переносится в сумматор, имеют по 31 двоичному разряду; регистр II имеет 16 двоичных разрядов; память может хранить 256 слов по 16 разрядов каждое.

Для удобства обозрения данных, хранящихся в памяти, СВУ оборудовано ЭЛТ. Общее число транзисторов, задействованных в СВУ, примерно, 1500 шт. Питание осуществляется от сети переменного тока напряжением 220 в. Потребляемая мощность порядка 100 вт.

В третьей главе реферируемой работы описываются структура и функции основных узлов системы обработки данных.

Характер задач, которые предлагается решать специализированному вычислительному устройству, налагает свой отпечаток на структуру не только всего устройства в целом, но и на конструкцию его отдельных узлов. Так, арифметическое устройство системы для обработки данных нейтронного селектора^{4/} производит арифметические операции в последовательной форме, и результат вычислений запоминается на сдвигающем регистре. Такой способ выполнения арифметических операций вполне пригоден при суммировании данных нескольких измерений и при вычислении функции пропускания образца, но он оказался совершенно непригоден при матричной обработке спектров, когда нужно запоминать и суммировать результаты многих промежуточных вычислений. Поэтому в вычислительном устройстве, предназначенном для вычисления энергетических распределений фотонов^{5,6/}, арифметический блок включал в себя сумматор накапливающего типа, в котором могли запоминаться результаты промежуточных операций. Этот принцип построения сумматора оказался наиболее подходящим при проведении матричной обработки данных и он был использован в данном устройстве. В этом СВУ арифметическое устройство состоит из двух регистров, выполненных на феррит-транзисторных ячейках, и сумматора накапливающего типа, выполненного на статических триггерах. Особенностью конструкции данного АУ является наличие в нем π -тактного генератора. С помощью этого генератора осуществляется опрос регистра I в тот момент, когда необходимо перенести число в

сумматор. Опрос ячеек регистра производится последовательно с интервалом 2,5 мксек; тем самым генератор заменил совокупность элементов задержки, которые обычно ставятся между триггерами сумматора. Это дало возможность значительно сократить габариты арифметического блока. В режиме деления в качестве третьего регистра входит так называемая магистраль слов, представляющая собой систему, состоящую из 16 триггеров, входных и выходных каналов. Основное назначение магистрали слов – переадресация информации, циркулирующей в СВУ: информация из любого блока устройства в любой другой блок может быть передана только при помощи магистрали слов. Это позволило избежать многих прямых связей между отдельными блоками, упростило логику и унифицировало работу отдельных узлов. При помощи выходных клапанов число с магистрали слов может быть взято в прямом или обратном коде. Операции над числами производятся с фиксированной запятой. Время, затрачиваемое на арифметические операции (сюда входит время на обращение к памяти и отсылку результата), следующее: сложение – 1 мсек, умножение – 2,5 мсек.

Данное СВУ обладает довольно развитым Устройством управления (УУ). Основой УУ является программа цикла (ПЦ). Было принято, что СВУ за один "элементарный цикл" – однократное прохождение программы цикла, в которой набрана определенная программа – может произвести ряд адресных операций: вызов пары чисел из памяти или выходного устройства; переслать их в соответствующие регистры АУ и вызвать одну какую-либо арифметическую операцию; результат может быть оставлен в сумматоре или отправлен в память. Программа цикла имеет три "элементарных цикла", которые могут различаться по наборным программам, следовать в любом порядке и повторяться любое число раз. Циклы могут вызываться вручную, автоматически и по признакам, записанным на перфоленте. Всего с помощью ПЦ может быть образовано 150 команд. При записи программы следования циклов на ленте СВУ работает в стартстопном режиме. Набор программы в цикле осуществляется на наборном поле, имеющемся на лицевой панели СВУ, при помощи штеккеров. Обычно приходится использовать лишь небольшое число возможных команд. Так, например, при обработке спектра с инвертированной матрицей используются два цикла и в каждом формируется всего 10 команд. Данное УУ позволило программировать и обрабатывать значительно более широкий круг задач, чем тот, который рассматривался при выборе конструкции СВУ.

Все арифметические операции, некоторые виды обработки данных, а также вывод информации на ЭЛТ, на перфоратор и цифрочечную печать производятся по специальным подпрограммам. Часть из них вызывается при помощи ПЦ, а некоторые, такие как вывод на ЭЛТ и вывод на цифрочечную печать, являются автономными.

Подпрограммы построены на базе сдвигающих регистров, которые вырабатывают последовательность импульсов, образующих совокупность команд; необходимую для проведения выбранной операции. Структура арифметических подпрограмм весьма проста. Наиболее сложной является подпрограмма перегруппировки данных или, как она названа в СВУ, подпрограмма "дробной группировки". Она включает в себя два небольших регистра сдвига и две двоичных пересчетки, одну на 12 разрядов и вторую – на 16. Перегруппировка данных вовлекает в себя также два цикла ПЦ. Для выполнения адресных операций в ПЦ имеется набор команд. Поскольку память устройства при работе может быть поделена на 2 или 4 равные части, то имеется специальный блок, который выбирает необходимый участок памяти в автоматическом режиме работы устройства. Этот блок управляется ПЦ. Адресные операции заключаются, в основном, в последовательном переборе данных и это чрезвычайно упрощает их выполнение, но в некоторых видах обработки адрес результата и адрес обрабатываемого числа не совпадают. Для того чтобы выполнить адресные операции в этом случае, потребовалось ввести две небольшие системы ферритовых колец с ППГ, в которых запоминается состояние адресного счетчика и откуда оно может быть снова перенесено в счетчик. Эти системы также управляются при помощи ПЦ.

Ввод информации в СВУ может производиться или при помощи СТА-2М, или при помощи ФСУ-1. СТА-2М позволяет осуществлять ввод со скоростью 7 знаков в секунду, а ФСУ-1 – со скоростью 100 или 200 знаков в секунду. Все необходимые операции, связанные с вводом информации в СВУ, выполняются специальным блоком, который осуществляет преобразование кода из телеграфного в двоичный.

Вывод информации производится специальным устройством вывода при помощи того же самого телеграфного аппарата. При этом данные печатаются в виде десятичных чисел и одновременно перфорируются на перфоленте в телеграфном коде, что очень удобно в случае необходимости дальнейшей обработки.

Далее в этой главе описываются устройства вывода данных из анализаторов АИ-100 и АИ-256 на перфоленту с использованием в качестве исполнительного механизма телеграфного аппарата СТА-2М. При этом телеграфный аппарат

не подвергался каким-либо переделкам и сохранил все свои функции.

Последняя, четвертая глава посвящена экспериментальной проверке работы системы. Проверка показала, что матричные виды обработки спектров производятся вполне хорошо. При этом время обработки по сравнению с обработкой вручную сокращается в десятки раз, и эта разница возрастает с увеличением порядка матрицы. Были проверены все три вида матричной обработки спектров с использованием прямой и обратной матрицы. Все они показали вполне удовлетворительное согласие результатов. Были проверены также такие операции как вычитание спектра из спектра, нормировка спектров, учёт фотоэффективности кристаллов, перегруппировка, дифференцирование и сглаживание данных. Эти операции производятся весьма быстро; так, например, при использовании ФСУ-1 на входе дифференцирование 100-канального спектра происходит всего за 36 секунд. Возможности программирования, которые заложены в устройстве управления СВУ, позволили обрабатывать не только непрерывные гамма-спектры. Было практически показано, что данное СВУ может вполне успешно решать такие задачи, как перевод нейтронных спектров из временной шкалы в энергетическую; обрабатывать спектры, полученные с органическим кристаллом; с его помощью можно разлагать сложные дискретные гамма-спектры на составляющие методом вычитания нормализованных эталонных спектров; вычислять интеграл дозы и т.д.

Устройства вывода данных из анализаторов также показали вполне удовлетворительную работоспособность и достаточную надежность.

В заключение подведены основные итоги работы, которые можно свести к следующим пунктам:

1) Рассмотрен и систематизирован материал, касающийся обработки непрерывных гамма-спектров. Обсуждены не только матричные методы обработки, являющиеся наиболее общими методами учёта различных эффектов и применяющиеся в самых различных областях спектрометрии ионизирующих излучений, но уделено также большое внимание различным предварительным операциям вида перегруппировки, дифференцирования, сглаживания, нормировки и т.д., которые приходится совершать над экспериментальными данными прежде, чем они станут пригодными для дальнейшей обработки.

2) Разработан метод перегруппировки данных, который позволяет приводить в соответствие по шкале энергий (или эквивалентной ей шкале) результаты раз-

личных измерений, уравнивать числа каналов, в которых зафиксированы данные, с порядком матрицы, с помощью которой будут обрабатываться эти данные. Модификация этого метода может быть использована для учёта нелинейности анализаторов и других инструментальных эффектов.

3) На основании анализа круга задач, которые предлагается решать устройству, были выбраны и обоснованы параметры его отдельных блоков: АУ, УУ, памяти и т.д.

4) Разработано и изготовлено специализированное вычислительное устройство, обладающее следующими параметрами: а) Ввод информации осуществляется с бумажной перфоленты с помощью телеграфного аппарата СТА-2М или фотосчитывающего устройства ФСУ-1; б) Память устройства может хранить 256 слов по 16 двоичных разрядов каждое. Память может быть поделена на две или четыре равные части. в) Арифметическое устройство может выполнять все арифметические действия (сложение - за 1 мсек, умножение - за 2,5 мсек). г) Управляющее устройство допускает программирование работы СВУ, с его помощью может быть сформировано до 150 команд. д) Вывод результатов обработки осуществляется с помощью телеграфного аппарата и может быть произведен как в виде перфораций, так и цифропечатью. е) Матрицы, используемые для обработки спектров при помощи данного СВУ, могут иметь порядок до 128 включительно.

5) Предложен и воплощен в СВУ метод α -тактного опроса регистров. Этот метод удобно использовать в арифметических устройствах: он позволяет существенно упростить схему устройства без какого-либо усложнения его логики.

6) Предложен и осуществлен принцип построения логической схемы устройства и связи между его отдельными блоками, при котором используется многофазный генератор в качестве источника тактовых импульсов, а логика отдельных узлов собирается на основе незамкнутых сдвигающих регистров. Это позволило существенно упростить конструкцию СВУ.

7) Осуществлен режим использования перфоленты, при котором данные для вычислений и некоторые команды поступают непосредственно в арифметический блок и систему управления устройством. Это позволило сократить объем МЗУ устройства в десятки раз без снижения таких параметров, как быстродействие и число каналов в спектре при матричной обработке.

8) Произведена экспериментальная проверка устройства. Были проведены различные виды обработки спектров. Практически показано, что данное СВУ может

обрабатывать достаточно широкий класс спектров, полученных как в гамма-спектрометрии, так и в спектрометрии быстрых нейтронов.

9) Под руководством и при участии автора была разработана серия устройств вывода данных на перфоленту из различных анализаторов, как при помощи телеграфного аппарата, так и при помощи перфораторов.

Практическое использование устройств подтвердило правильность принятых конструктивных решений, касающихся принципа построения арифметического устройства, структуры логики, использования перфоленты, программирования и т.д.

Автор пользуется представившейся возможностью, чтобы выразить большую признательность научному руководителю работы доктору технических наук Л.А.Маталину, кандидату технических наук С.И.Чубарову и всем другим товарищам за советы и помощь в работе.

Основное содержание диссертации изложено в работах /1,4,5,7/.

Л и т е р а т у р а

1. Е.Л.Столярова. "Прикладная спектрометрия ионизирующих излучений". Атомиздат, 1964 г.
2. W.R.Burrus, Dissertation, ORNL- 3743 (1965).
3. J.W.Butler and M.K.Butler, Nucleonics, v,25, N2, (1967).
4. А.Б.Екатов, В.Н.Кабенин, П.К.Карпов, Л.А.Маталин, А.С.Тишечкин, С.И.Чубаров. В кн. "Труды V научно-технической конференции по ядерной электронике". т. IV, стр. 36, Госатомиздат; 1963.
5. Л.А.Маталин, А.С.Тишечкин, С.И.Чубаров. В кн. "Труды V научно-технической конференции по ядерной электронике", т. IV, стр. 45, Госатомиздат, 1963.
6. Л.А.Маталин, А.С.Тишечкин, С.И.Чубаров. Доклад на Белградской конференции по ядерной электронике. "Nuclear Electronics" II, Vienna, p.121 (1962).
7. А.С.Тишечкин, С.И.Чубаров, ПТЭ, № 1, (1967), 88
8. К.Ланцов. "Практические методы прикладного анализа", Физматгиз, 1961.

Рукопись поступила в издательский отдел
30 января 1968 года.