

С 344.3

М-331



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

---

Л.А. Маталин

1378

МНОГОКАНАЛЬНЫЕ СПЕКТРОМЕТРЫ  
И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ  
В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКЕ

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
доктора технических наук

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

Дубна 1963

Л.А. Маталин

С 344.3

М-331

1378

8  
9581

МНОГОКАНАЛЬНЫЕ СПЕКТРОМЕТРЫ  
И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ  
В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКЕ

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
доктора технических наук

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

Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА

Дубна 1963

## В в е д е н и е

В настоящее время наиболее распространенными методами исследования структуры атомного ядра и характера процессов, происходящих в ядрах элементов, являются методы ядерной спектроскопии, связанные с измерением амплитудных и временных распределений электрических импульсов, поступающих с детекторов ядерных частиц. В одном из таких методов анализ распределения частиц по энергиям сводится к анализу распределения амплитуд электрических импульсов. При другом методе измерения информацию об энергии частицы получают из измерений распределений электрических импульсов во времени. Это относится прежде всего к измерениям по времени пролета.

В последние годы наибольшее распространение при анализе амплитудных и временных распределений, и особенно при проведении многомерных исследований, получили многоканальные спектрометры. Обычно на выходе таких многоканальных систем получается значительное количество данных, причем время, затрачиваемое на их получение, иногда не превышает нескольких минут.

В связи с тем, что в большинстве случаев эти данные требуют большой последующей обработки, многоканальные анализаторы должны проектироваться так, чтобы накопление информации в анализаторе осуществлялось в наиболее удобной для обработки форме с учетом предполагаемых способов автоматизации процессов обработки как входных, так и выходных данных.

Основная цель диссертации - определить из анализа возможных методов построения многоканальных спектрометров наиболее целесообразные решения для многоканальных анализаторов ядерной физики и методов обработки информации в зависимости от характера проводимого эксперимента и используемого метода математической обработки полученной информации.

Диссертация разделена на две части. В первой части (гл. I, II, III, IV, V) рассматривается широкий круг вопросов, связанных с методикой проведения эксперимента, теорией просчетов, принципами построения многоканальных анализаторов, а также с автоматизацией процессов обработки экспериментальных данных.

Во второй части (приложение 1, 2, 3, 4, 5) описываются оригинальные спектрометрические и специализированные вычислительные устройства, созданные в результате исследований, изложенных в первой части диссертации, а также в качестве иллюстрации приводятся некоторые экспериментальные результаты, полученные с помощью этих установок.

Краткое содержание диссертации по главам излагается ниже.

Анализ распределения импульсов по амплитудам в спектрометрии  
ядерных частиц

В этой главе систематизирован материал, касающийся многоканальных спектрометров, предназначенных для анализа амплитудных распределений. Рассмотрен вопрос о соответствии между энергией и амплитудой для различных типов детекторов и приведена оценка точности, с которой информация может быть получена от детекторов, используемых в спектрометрических установках. Приведен анализ основных методов построения многоканальных амплитудных анализаторов и предложена их классификация. В результате проведенных исследований впервые в нашей стране был разработан 100-канальный амплитудный анализатор с системой памяти на ферритовых сердечниках /1,2/.

В диссертации подробно рассмотрены основные характеристики многоканальных амплитудных анализаторов вместе с общей задачей измерения спектра в зависимости от используемого оборудования, методики проведения эксперимента и обработки его результатов.

Исследован вопрос воспроизведения спектра при малых скоростях (разрешение по амплитудам). Разрешение анализатора определяется в зависимости от энергетического диапазона, числа каналов, стабильности их положения и ширины во времени, от числа отсчетов, приходящихся на каждый канал, а также от величины неопределенности, связанной с введением дискретности.

При высоких скоростях поступления импульсов на вход анализатора могут возникнуть дополнительные искажения амплитуд анализируемых импульсов и потери информации (эти потери обусловлены мертвым временем анализатора, зависящим от типа анализатора, формы анализируемого амплитудного распределения импульсов, скорости их поступления и закона распределения во времени).

В диссертации проведен анализ различных способов введения поправки на мертвое время анализатора, а также методов учета и компенсации просчетов. Показано, что если относительно небольшие (5-10%) просчеты существенны с точки зрения изменения масштаба, то большие существенны с точки зрения потери интенсивности, т.е. увеличения времени измерения. В связи с этим рассматриваются различные промежуточные запоминающие устройства, обладающие малым мертвым временем, которые ставятся перед элементом анализатора, дающим основной вклад в мертвое время.

На основании проведенного в диссертации анализа потерь счета для анализаторов с промежуточной памятью разравнивающего типа, включенной на входе анализатора, получено выражение для относительных потерь счета  $P_k$ :

$$P_k = 1 - \frac{1}{\lambda + e^{-\lambda}}, \quad k=2; \quad (1)$$

$$P_k = 1 - \frac{1 - \lambda \cdot e^{-\lambda}}{\lambda - \lambda^2 e^{-\lambda} + e^{-2\lambda}}, \quad k=3;$$

$$P_k = 1 - \frac{1 - 2\lambda e^{-\lambda} + \frac{1}{2}\lambda^2 e^{-2\lambda}}{\lambda - 2\lambda^2 e^{-\lambda} + \frac{1}{2}\lambda^3 e^{-2\lambda} + e^{-3\lambda}}, \quad k=4;$$

где  $\lambda = N_0 \tau$ ,  $\tau$  - мертвое время последующего устройства,  $N_0$  - средняя скорость поступления входных импульсов,  $k$  - емкость промежуточной памяти.

Показано, что в этом случае наибольший выигрыш система промежуточной памяти дает при малых значениях  $\lambda$ , при значениях же  $\lambda = 1$  и более применение промежуточной памяти разравнивающего типа нерационально.

В случае применения в анализаторе промежуточной памяти накопительного типа получено следующее выражение для относительных потерь счета  $\eta$ :

$$\eta = \frac{1}{N_0 T_0} \sum_{m=1}^{\infty} m \cdot P_{k+m}(N_0 T_0), \quad (2)$$

где  $T_0$  - длительность импульса "вспышки" источника,  $N_0$  - средняя скорость поступления сигналов в импульсе.

Приведенные выражения (1) и (2) остаются справедливыми и для определения относительных потерь счета во временных анализаторах с промежуточной памятью.

В связи с тем, что использование высоких скоростей счета на входе анализатора может привести не только к потерям счета, но и к искажениям формы спектра, приведены оценки этих искажений и на примере разработанной автором схемы входного каскада анализатора показаны способы их уменьшения /2/.

Сформулированы основные требования, предъявляемые к устройствам регистрации (память интегрирующего и неинтегрирующего типа) и системам вывода данных многоканальных анализаторов. В качестве иллюстрации практического использования результатов анализа в приложении I приведено описание схемы 256-канального анализатора, разработанного под руководством автора.

В работе подробно рассмотрены методы построения аналого-цифровых преобразователей и предложена их классификация по способу введения дискретности. На основании анализа схем преобразователей, использующих метод двоичного "взвешивания" предлагается преобразователь, в котором используется один двухпороговый дискриминатор, определяющий ширины всех каналов. Эта схема позволяет получить мертвое время преобразования  $\approx 1$  мсек.



Значительное внимание в работе уделено анализу ошибок и нестабильностей, возникающих в схемах аналого-цифровых преобразователей, а также предлагается ряд оригинальных схемных решений аналого-цифровых преобразователей на вакуумных лампах и транзисторах /2,3,4/.

## Г л а в а II

### Временные анализаторы для спектрометрии нейтронов малых энергий

Вторая глава диссертации посвящена многоканальным спектрометрам, предназначенным для измерения энергетических распределений нейтронов тепловой и резонансной области по методу времени пролета (с энергиями от самых низких до десятков кэв).

Рассмотрены основные характеристики спектрометра в целом и отдельных его узлов: импульсного источника нейтронов, детектора и временного анализатора. Особое внимание уделено анализу временных погрешностей, возникающих при измерениях в рассматриваемой области энергий нейтронов (неопределенность, связанная с конечной длительностью нейтронной "вспышки" источника, неопределенность момента детектирования нейтронов и неопределенность в электронном оборудовании). В результате проведенного анализа определены требования, которым должен отвечать многоканальный временной анализатор, работающий в системе нейтронного селектора по времени пролета.

Подробно рассмотрены основные характеристик многоканальных временных анализаторов. В зависимости от необходимой максимальной скорости регистрации рассматриваются различные методы построения системы распределения информации по каналам и системы регистрации анализатора, а также определяются величины просчетов для этих систем.

Показано, что для системы с регистрацией одного события из нейтронной пачки относительные потери счета  $\eta_1$  будут равны

$$\eta_1(t) = 1 - e^{-\frac{1}{\nu \cdot \Delta_k} \int_0^t n_0(a) \cdot da} \quad (3)$$

В случае малых потерь ( $\int_0^t n_0(a) \cdot da \ll \nu \cdot \Delta_k$ )

$$\eta_1(t) = \frac{1}{\nu \Delta_k} \int_0^t n_0(a) \cdot da, \quad (4)$$

где  $\nu$  - частота повторения нейтронных пачек,  $n_0(t)$  - средняя скорость поступления импульсов в канал, расположенный в интервале времени от  $t$  до  $t + \Delta_k$ ,  $\Delta_k$  - ширина канала. Для системы с остановкой на время работы регистрирующего устройства показано, что

$$n_0(t) = \frac{n(t)}{1 - \frac{1}{\nu \cdot \Delta_k} \int_{t-r}^t n(a) \cdot da} \quad (5)$$

где  $n(t)$  - средняя скорость счета в канале, определяемая, как и в работе /5/,  $r$  - время, на которое останавливается адресный счетчик при регистрации. Относительные потери счета для системы с промежуточной памятью разравнивающего и накопительного типа определяются согласно выражениям (1) и (2).

В диссертации подробно рассмотрены методы построения многоканальных временных анализаторов. В качестве примера анализатора, допускающего регистрацию нескольких сигналов из нейтронной пачки, в приложении 2 приводится краткое описание 256-канального временного анализатора, разработанного под руководством автора /2/. В связи с тем, что при проведении экспериментов с интенсивными источниками нейтронов необходимы анализаторы, обладающие высоким быстродействием (малым мертвым временем), методы построения таких анализаторов разобраны достаточно подробно.

В зависимости от соотношения между временным интервалом регистрации данных и периодом повторения нейтронных "вспышек" рассматривается два типа анализаторов (с промежуточной памятью разравнивающего и накопительного типа).

В существующих схемах временных анализаторов в качестве промежуточной памяти накопительного типа наибольшее распространение получила электростатическая память на электронно-лучевой трубке /6,7/.

Однако временной преобразователь /6/ может быть применен в анализаторах с небольшим числом каналов (несколько десятков), а преобразователь /7/ требует использования быстродействующих адресных и фазирующих устройств.

В диссертации предлагается временной преобразователь, способный работать в многоканальных временных системах (до тысячи каналов), что обеспечивается использованием спиральных разверток луча электронно-лучевой трубки при записи и считывании информации /7,8/. Этот преобразователь был построен для совместной работы с 1024-канальным временным анализатором /9/. Осуществляя 10-кратную "растяжку" времени, преобразователь обеспечивает минимальную ширину каналов временной системы 0,1 мксек при использовании во временном анализаторе ширины каналов 1 мксек. Запись данных на трубке происходит с мертвым временем = 0,2 мксек. В приложении 2 приведено описание этой системы.

В качестве другого решения для промежуточной памяти накопительного типа в диссертации предлагаются память типа сдвигающего регистра, матричного типа и память с записью адреса /2/, в которых элементами памяти служат ферритовые сердечники. При повышенной частоте следования нейтронных "вспышек", и особенно в том случае, если необходимо охватить при измерении значительный энергетический диапазон, наиболее целесообразно применять системы памяти разравнивающего

типа. Как одно из возможных решений в работе предлагается промежуточная память на ферритовых сердечниках. Такое устройство впервые было применено в 1024-канальном временном анализаторе<sup>/9/</sup>. Применение такой промежуточной памяти позволило снизить мертвое время анализатора до 1 мксек. Анализатор имеет 1024 канала шириной от 1 до 32 мксек. Эти каналы разделены на 4 группы по 256, ширина каналов в каждой группе устанавливается независимо. В анализаторе имеется возможность установить различную задержку между соседними группами. Задержка устанавливается дискретно на величину, кратную 256 каналам. Предусмотрена возможность работы от двух различных детекторов. Краткое описание этого анализатора приведено в приложении 2.

Дальнейшим развитием промежуточной памяти разравнивающего типа является предлагаемая в диссертации память на германиевых туннельных диодах<sup>/10,11/</sup>. Эта система построена также для работы с 1024-канальным анализатором<sup>/9/</sup> и позволяет получить мертвое время и ширину канала анализатора 0,1 мксек. Весь преобразователь выполнен на транзисторах и туннельных диодах. Краткое описание схемы приведено в приложении 2.

### Глава III

#### Временные анализаторы для спектрометрии нейтронов больших энергий

В этой главе рассмотрены спектрометры, предназначенные для измерения энергетических распределений быстрых нейтронов по методу времени пролета (с энергиями от сотен кэв до десятков Мэв),

При анализе характеристик спектрометра отмечается, что наряду с временными неопределенностями, рассмотренными в главе II, значительный вклад в полное разрешающее время вносят временная неопределенность, связанная с моментом образования нейтронной "вспышки", и дополнительные временные неопределенности, обусловленные процессами в детекторе. В диссертации на примере сцинтилляционного счетчика рассмотрены временные неопределенности, связанные с процессами в сцинтилляторе и фотоумножителе, а также неопределенности, обусловленные формирующими электронными устройствами, которые вносят существенный вклад в общую неопределенность в этой области энергий. На основе приведенного анализа описываются различные методы, исключющие или уменьшающие эти погрешности. Приведен обзор существующих методов построения многоканальных временных анализаторов с шириной каналов  $10^{-8}$ - $10^{-9}$  сек и менее и дана их классификация.

В связи с тем, что при измерениях с быстрыми нейтронами широко используются различные преобразователи коротких интервалов, большое внимание в диссертации уделено методом построения преобразователей "время в амплитуду". В результате проведенного анализа в диссертации предлагается схема преобразователя "время в амплитуду", которая обеспечивает высокий выходной уровень (выходные сигналы с преобразователя без дополнительного усиления анализируются амплитудным анализатором) и позволяет работать с высокими входными нагрузками<sup>/12/</sup>. Этот преобразователь позволяет работать с опорными импульсами как периодическими (идущими с высокой частотой повторения), так и статистическими. При работе с 128-канальным амплитудным анализатором<sup>/2/</sup> и при максимальном измеряемом временном интервале  $\approx 250$  нсек, была обеспечена ширина каналов  $\approx 2$  нсек.

Описание спектрометра быстрых нейтронов, использующего этот преобразователь, приведено в приложении 3.

### Глава IV

#### Многомерные анализаторы

Многоканальные анализаторы, рассмотренные в предыдущих главах, позволяют исследовать распределения, зависящие от одной переменной - амплитуды или времени. Однако существует значительное количество задач, в которых приходится исследовать распределения, зависящие от нескольких переменных. Такие задачи требуют создания специальных приборов - многомерных анализаторов.

В этой главе рассмотрены основные методы построения многомерных анализаторов и предложена их классификация. В результате анализа различных систем многомерных анализаторов определены основные требования, которые предъявляются к подобным устройствам, и сделаны рекомендации по выбору тех или иных решений для многомерных анализаторов в зависимости от характера проводимого физического эксперимента и имеющегося оборудования. Отмечается, что при больших скоростях счета в многомерных анализаторах наиболее целесообразно использовать системы памяти интегрирующего типа (память на ферритовых сердечниках, потенциалоскопах, магнитных барабанах и т.д.). Если средняя скорость счета значительно ниже, чем скорость, с которой информация запоминается в памяти анализатора (с временем обращения порядка десятков микросекунд), а объем поступающей информации большой, то наиболее удобно применять запоминающие устройства неинтегрирующего типа (магнитная лента, перфолента, перфокарты). Показано, что при проведении сложных многомерных измерений объем полученной информации может быть настолько большим, что анализ и последующая обработка ее практически

становятся трудно выполнимыми. Поэтому в ряде случаев целесообразно проводить обработку информации непосредственно универсальной вычислительной машиной.

Однако применение большой вычислительной машины не всегда может быть оправдано с точки зрения рационального использования машинного времени. Вместе с тем, далеко не всегда требуется выводить всю информацию из анализатора в той форме, в которой она записана в запоминающем устройстве. Поэтому целесообразно, чтобы запоминающее устройство многомерного анализатора позволяло производить простейшие арифметические операции, такие, как сложение и вычитание чисел, увеличение чисел на 1, 2, 3 и др. Подобная предварительная обработка информации резко сокращает ее объем и упрощает последующую обработку данных на универсальной вычислительной машине.

Практическое решение этой задачи впервые было реализовано в 16000-канальном многомерном анализаторе, разработанном по предложению и под руководством автора [13]. Этот анализатор позволяет исследовать распределения, зависящие от двух и трех переменных, проводить не только сортировку импульсов по каналам во время проведения эксперимента, но также некоторую предварительную обработку зарегистрированной информации. Для этого в анализаторе предусмотрена возможность сложения и вычитания чисел, расположенных в соседних каналах, суммирование чисел в перекрывающихся группах каналов (бегущая сумма) и др. Процесс накопления данных может контролироваться путем представления их на экране электронно-лучевой трубки. Память анализатора выполнена на ферритовых сердечниках.

В зависимости от характера эксперимента анализатор может работать в нескольких режимах. Эти режимы определяются различными типами входных устройств. В качестве основных входных устройств используются два преобразователя амплитуды импульса в код и шифратор номера детектора (на 16 входов). В качестве дополнительных входных устройств предусмотрено использование преобразователя времени в амплитуду для работы в наносекундной области, схем для измерения отношения и суммы амплитуд двух импульсов, входного устройства для измерений по времени пролета с шириной каналов  $10^{-4}$  -  $10^{-8}$  сек и др. Информация со всех входных устройств поступает на адресную систему памяти в виде параллельного двоичного кода, максимальное число разрядов которого равно 14. В зависимости от конкретной задачи и типов применяемых при этом входных устройств производится перераспределение этих 14 разрядов по двум или трем независимым переменным, что позволяет подобрать оптимальные условия с точки зрения точности распределения информации по каналам.

Описание схемы 16000-канального анализатора приведено в приложении IV.

В этой главе рассматривается задача автоматизации обработки экспериментальных данных, получаемых при работе с многоканальными спектрометрическими установками, включая обработку входных данных (отбор полезной информации) и обработку выходной информации, поступающей со спектрометрического устройства.

Показано, что при обработке входных данных для сокращения объема последующей обработки в схему анализатора могут быть введены устройства, дающие на выходе определенную функцию от непосредственно измеряемых величин, и, кроме того, могут производиться некоторые аналоговые преобразования выделенных сигналов с целью обеспечения точности и удобства измерения. Отмечается, что если первичная обработка информации производится в самом анализаторе, то в ряде случаев такой способ обработки данных может привести к неоправданному увеличению объема регистрирующего устройства, поскольку при этом регистрируется вся информация, поступающая с детектора. К таким случаям относятся, в частности эксперименты, в которых представляют интерес не распределения сигналов с детектора  $x_1, \dots, x_n$ , а распределение некоторой функции этих величин  $f(x_1, \dots, x_n)$ . В этих случаях нет необходимости регистрировать распределения  $x_1, \dots, x_n$ , а интересующая нас функция  $f(x_1, \dots, x_n)$  может быть вычислена сразу же после преобразования входных величин  $x_1, \dots, x_n$  в цифровую форму. Поскольку при этом регистрируется только распределение  $f(x_1, \dots, x_n)$ , объем регистрирующего устройства может быть значительно сокращен. Возможно однако вычислять функцию  $f(x_1, \dots, x_n)$  непосредственно во время эксперимента до преобразования входных величин  $x_1, \dots, x_n$  в цифровую форму, пользуясь аналоговыми методами, которые могут оказаться существенно проще, чем цифровые методы, предназначенные для вычисления таких же зависимостей. В диссертации показана возможность применения аналоговых методов для выполнения функциональных преобразований в приборах ядерной физики и предлагается метод выполнения основных арифметических операций в аналоговой форме (сложение, вычитание, умножение, деление, возведение в степень, извлечение корня, логарифмирование) в таком применении.

Показано, что точность работы аналогового вычислительного устройства, основанного на этом методе, зависит от того, какую функцию необходимо вычислить, а точность же схем, выполняющих отдельные аналоговые операции, может быть получена порядка 1%. На последнем этапе обработки сокращение времени обработки состоит в улучшении методики и автоматизации процессов собственно обработки (обработка накопленных данных). В этом случае существенное значение имеет

форма вывода данных из анализатора, алгоритм решения задачи и выбор типа вычислительного устройства для автоматизации процесса обработки.

В диссертации рассмотрены различные методы такой обработки, и показана целесообразность применения специализированных вычислительных устройств для проведения предварительной обработки информации при решении типовых задач, когда требуется сравнительно простая обработка большого количества данных, поступающих эпизодически. Одной из таких задач является задача обработки данных при измерении полных нейтронных сечений по методу времени пролета. Эту задачу условно можно разбить на два этапа. Этап предварительной обработки — получение по данным, накопленным в анализаторе, значений пропускания и в ряде случаев сечений и ошибок измерения и этап окончательной обработки — получение параметров резонансов. Первый этап характеризуется большим объемом обрабатываемой информации и простыми математическими операциями независимо от конкретного вида задачи. Для второго этапа характерен сравнительно небольшой объем обрабатываемых данных, сложные математические операции и большое разнообразие методов обработки. В работе показано, что на первом этапе обработки наиболее целесообразно применять специализированные вычислительные устройства, а на этапе окончательной обработки — универсальные вычислительные машины.

Автором совместно с С.И. Чубаровым впервые было создано специализированное вычислительное устройство, предназначенное для предварительной обработки данных, получаемых на нейтронном спектрометре при измерении полных сечений<sup>/14,15/</sup>. Это устройство используется совместно с 1024-канальным временным анализатором<sup>/8/</sup>. Предлагаемое устройство позволяет производить следующие операции.

1. Поканальное суммирование данных, получаемых при последовательных измерениях с образцом и без образца в пучке.

2. Получение значений фона, приходящегося на каждый канал, и вычитание этих значений из данных, полученных при измерении.

3. Получение значений пропускания в каждом канале.

4. Определение ошибки измерения в каждом канале, связанной со статистической погрешностью. Полная длительность каждого цикла работы устройства (1024 канала) составляет 5 мин. Общее число ламп 100, транзисторов — 700.

Описание устройства приведено в приложении 1У.

Другой задачей, которая также требует большой обработки экспериментальных данных, является обработка амплитудных спектров, получаемых с многоканальных анализаторов.

Автором совместно с С.И. Чубаровым впервые было разработано специализи-

рованное вычислительное устройство, предназначенное для обработки амплитудных спектров, получаемых со сцинтиляционного  $\gamma$ -спектрометра<sup>/14,15/</sup>. Это устройство используется вместе с 256-канальным амплитудным анализатором, описанным в приложении 2. В этом устройстве предусмотрены следующие режимы работы.

1. Ввод данных в память анализатора.

2. Умножение всех значений спектра на постоянное число.

3. Умножение спектра, хранящегося в памяти анализатора, на функцию.

4. Численное дифференцирование спектра.

5. Получение разностных спектров.

6. Преобразование аппаратных спектров в энергетические (для  $\gamma$ -лучей и нейтронов) с использованием обратной матрицы.

7. Преобразование аппаратных спектров в энергетические с использованием прямой матрицы.

Предлагаемое в диссертации устройство позволяет автоматизировать эти процессы и проводить их за несколько минут. Установка полностью транзисторизована. Рабочая частота машины 20 кГц. Общее время обработки для матрицы 32x32 составляет 3 мин. Скорость обработки данных 2,5 канала в секунду. Потребляемая мощность 50 ватт. Общее число транзисторов 500 шт. Описание этого вычислительного устройства приведено в приложении V.

Основные результаты диссертации состоят в следующем.

1. Систематизирован материал, касающийся многоканальных спектрометров, предназначенных для анализа амплитудных распределений, а также спектрометрических устройств по времени пролета в тепловой, резонансной и быстрой областях энергии нейтронов. Проведен анализ основных характеристик спектрометра в целом и отдельных его узлов: источника, детектора и амплитудного или временного анализаторов.

2. Дан обзор методов построения многоканальных амплитудных анализаторов, а также временных анализаторов, используемых при измерениях по времени пролета в тепловой, резонансной и быстрой областях энергии нейтронов и предложена классификация этих методов.

3. Проведен анализ потерь счета в амплитудных анализаторах с промежуточной памятью разравнивающего и накопительного типа.

4. Проведен анализ потерь счета во временных анализаторах, допускающих работу с регистрацией одного события из нейтронной пачки, в анализаторах с остановкой на время регистрации и в анализаторах с промежуточной памятью разравнивающего и накопительного типа.



5. Исследованы различные источники погрешностей, возникающие при работе с указанными спектрометрическими установками и даны методы их устранения или учета.

6. На основании исследований, изложенных в I главе диссертации, впервые в нашей стране были созданы многоканальные амплитудные анализаторы с системой памяти на ферритовых сердечниках на 100, 128, 256 каналов. Разработанные анализаторы успешно эксплуатируются в ФЭИ.

7. Разработаны различные схемы аналого-цифровых преобразователей на вакуумных лампах и оригинальные схемы на транзисторах.

8. Разработан под руководством автора оригинальный метод построения аналого-цифрового преобразователя с мертвым временем  $\approx 1$  мксек.

9. На основании исследований, изложенных в II главе диссертации, впервые были созданы многоканальные временные анализаторы с промежуточной памятью на ферритовых сердечниках электронно-лучевой трубки, использующей непрерывный ход луча при записи и считывании информации, и с промежуточной памятью на туннельных диодах (1024-канальный временной анализатор с мертвым временем 1 мксек и минимальной шириной канала 1 мксек, 512 канальный временной анализатор с мертвым временем  $\approx 0,2$  мксек и минимальной шириной канала 0,1 мксек и 1024-канальный временной анализатор с мертвым временем и шириной 0,1 мксек).

10. На основании исследований, проведенных в III главе диссертации, была разработана оригинальная схема преобразователя "время-амплитуда, способного работать с высокими выходными нагрузками, обеспечивающими высокий уровень выходного сигнала. Разработанные схемы временных анализаторов эксплуатируются на реакторе Атомной электростанции и ускорителе ФЭИ.

11. Дан обзор методов построения многомерных анализаторов и предложена их классификация.

12. На основании исследований, приведенных в IV главе диссертации, впервые был построен 16000-канальный многомерный анализатор с системой памяти на ферритовых сердечниках, допускающий предварительную обработку накопленной информации. В настоящее время этот анализатор эксплуатируется на реакторе быстрых нейтронов БР-5.

13. Исследована задача автоматизации обработки экспериментальных данных, получаемых при работе с многоканальными спектрометрическими установками, включая обработку входных данных, поступающих на анализатор (отбор полезной информации), предварительную обработку информации, накопленную в запоминающем устройстве анализатора, обработку выходной информации, поступающей со спектрометрического устройства.

14. Предложен метод выполнения основных арифметических операций в аналоговой форме.

15. На основании исследований, изложенных в V главе диссертации, автором совместно с С.И.Чубаровым, впервые были созданы специализированные вычислительные устройства для обработки данных, полученных при измерении полных сечений на нейтронном спектрометре, и для обработки данных амплитудных распределений сцинтилляционного  $\gamma$ -спектрометра.

В настоящее время эти вычислительные устройства эксплуатируются в ФЭИ.

16. В качестве дополнительных примеров практического использования результатов, полученных в диссертации, можно привести следующие установки.

За период с 1955 года по 1959 год в ФЭИ под руководством автора было выпущено десять 128-канальных амплитудных анализаторов с системой регистрации на ферритовых сердечниках, а в 1956 году совместно с ФИАН СССР - два 256-канальных амплитудно-временных анализатора.

С 1957 по 1959 год под руководством автора совместно с ФИАНом СССР было сделано два 1024-канальных временных анализатора, а в 1960 году в ФЭИ был разработан 128-канальный временной анализатор.

Все перечисленные установки эксплуатируются в нашем институте, а некоторые из них - в ФИАНе СССР и ОИЯИ.

Основные модели многоканальных анализаторов, рассмотренных в диссертации, экспонировались на всесоюзных конференциях и на ВДНХ, а также на II Международной конференции по мирному использованию атомной энергии в Женеве (1958 год) и на Международном конгрессе по ядерной электронике в Риме (1960 год).

Основные результаты диссертации доложены на IV и V всесоюзных конференциях по ядерной электронике в Москве, а также на международных конференциях в Женеве (1958 год) и в Белграде (1961 год) и опубликованы в работах /1,2,3,4,7,8,9,10,11,12,13,14,15/

#### Л и т е р а т у р а

1. Л.А.Маталин, А.М.Шиманский, С.И.Чубаров. ПТЭ, № 1, 64 (1957).
2. Л.А.Маталин, А.М.Шиманский, С.И.Чубаров. Многоканальные амплитудные и временные анализаторы с системой регистрации на ферритовых сердечниках. ЦИТЭИИ, М. (1961).
3. Л.А.Маталин, В.Ф.Семенов. Труды V научно-технической конференции по ядерной радиоэлектронике, часть 1, том II, стр. 24. Госатомиздат (1963).

4. Л.А. Маталин, А.Н. Утюжников. Труды V научно-технической конференции по ядерной радиоэлектронике, часть 1, том II, стр. 42. Госатомиздат, М. (1963).
5. С.Н. Westcott. Proc. Royal. Soc., 194A, 508 (1948).
6. И.В. Штраших. Диссертация. ФИАН (1954).
7. А.П. Цитович. Доклад P/2188 на 2-ой Международной конференции по мирному использованию атомной энергии, Женева (1958).
8. Л.А. Маталин, Л.А. Иванов. ПТЭ, № 2, 81 (1962).
9. Л.А. Маталин и др. ПТЭ, № 3, 54 (1960).
10. Л.А. Маталин, А.А. Иванов. Труды V научно-технической конференции по ядерной радиоэлектронике, часть 1, том II, стр. 59, Госатомиздат (1963).
11. Л.А. Маталин, А.А. Иванов. ПТЭ, № 2, 81 (1963).
12. Л.А. Маталин и др. ПТЭ, № 4, 66 (1961).
13. Л.А. Маталин и др. ПТЭ, № 3 (1963).
14. Л.А. Маталин и др. Nuclear Electronics II, 121, Vienna (1962).
15. Л.А. Маталин и др. Труды V научно-технической конференции по ядерной радиоэлектронике. Госатомиздат (1963).

Рукопись поступила в издательский отдел  
29 июля 1963 г.