

С 344.3  
Ж-911

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ

10 - 3439

Б. Е. Журавлев

КОМПЛЕКС  
МНОГОКАНАЛЬНЫХ РЕГИСТРИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ  
· ДЛ Я НЕЙТРОННОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ НА ИБРе

Автореферат диссертации на соискание ученой  
степени кандидата технических наук

Научный руководитель  
кандидат технических наук

Г.И.ЗАБИЯКИН

Дубна 1967

10 - 3439

Б. Е. Журавлев

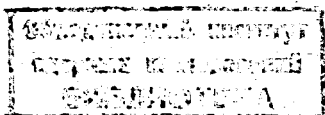
4678.8.88.

КОМПЛЕКС  
МНОГОКАНАЛЬНЫХ РЕГИСТРИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ  
ДЛЯ НЕЙТРОННОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ НА ИБРе

Автореферат диссертации на соискание ученой  
степени кандидата технических наук

Научный руководитель  
кандидат технических наук

Г.И.ЗАБИЯКИН



Наиболее распространенным методом экспериментальных исследований взаимодействия нейтронов различных энергий с веществом до настоящего времени остается метод времени пролета. В нейтронной спектроскопии широкое применение находят многоканальные временные анализаторы, позволяющие охватывать при одном измерении большие временные диапазоны.

Полученная с помощью анализатора гистограмма описывает искомое распределение во времени импульсов от детектора с ограниченной точностью.

Аналізу причин, приводящих к погрешностям измерений, в последние годы посвящено большое количество работ известных советских специалистов Л.А.Маталына, А.П.Цитовича <sup>/1,2/</sup> и др. Ошибки в одном случае носят случайный характер (связанные, например, с ограниченной разрешающей способностью и случайным характером исследуемых событий) и могут быть учтены методами, хорошо разработанными теорией ошибок. В других случаях ошибки проявляются систематически и учитываются путем предварительной калибровки приборов.

Специфичность многоканального временного анализа состоит в том, что он связан с регистрацией случайного нестационарного потока импульсов. Задача временного анализа заключается именно в том, чтобы найти закон изменения интенсивности потока во времени. Ограниченное быстродействие регистрирующих устройств приводит к тому, что поток зарегистрированных импульсов, по сравнению с входящим потоком, обладает последствием, а это, в свою очередь, ведет к отклонению закона изменения скорости регистрации от закона изменения интенсивности входящего потока. Анализу погрешностей, связанных с ко-

нечным мертвым временем регистрирующих устройств, посвящена большая часть первой главы диссертации.

С созданием в Лаборатории нейтронной физики импульсного быстрого реактора (ИБРА) представилась возможность проведения широким фронтом экспериментальных исследований в области нейтронной физики. Для этого необходимо было обеспечить каждую экспериментальную работу комплексом спектрометрической радиоэлектронной аппаратуры (от детекторов нейтронов до устройств обработки цифровых данных, накопленных в ходе эксперимента).

Конструкция ИБРА позволяет получать одновременно до 7 нейтронных пучков, поэтому необходимо было включение в комплекс измерительной аппаратуры нескольких многоканальных (прежде всего временных) анализаторов на сотни и тысячи каналов каждый. В поисках путей решения этого вопроса было предложено отказаться от бывшего в то время традиционным пути обеспечения каждой группы "своей" аппаратурой, предназначенной для решения задач только данной группы, и создать единый комплекс, объединенный в измерительный центр (ИЦ). Правильность выбора такого направления подтверждена многолетним опытом работы ИЦ ЛНФ.

Значительная часть диссертации посвящена описанию устройств измерительно-регистрирующего комплекса ИЦ для спектрометрии по времени пролета, выполненных под руководством автора.

## Глава I. Анализ погрешностей при многоканальных временных измерениях

Многоканальный временной анализ, широко применяемый в спектрометрии нейтронов по времени пролета, ставит своей конечной целью получение зависимости интенсивности потока падающих на детектор нейтронов от времени пролета ими определенного расстояния. Для получения подобной зависимости необходимо одновременное измерение двух величин:

- а) времени пролета и
- б) интенсивности потока нейтронов.

Полученный в результате эксперимента спектр отличается от искомого,

так как по ряду причин интервал времени от стартового сигнала до момента образования импульса в детекторе не совпадает с временем пролета нейтроном заданного расстояния, а число зарегистрированных анализатором импульсов отличается от числа нейтронов, попавших в детектор за интервал времени, равный ширине канала.

При оценке погрешностей в измерении времени пролета в диссертации используются результаты исследований, проведенных ранее рядом авторов<sup>1,2/</sup>. Помимо этого проводится обоснование выбора ширины канала, как одного из основных параметров анализатора, в соответствии с требованиями задач по определению сечений взаимодействия нейтронов резонансных энергий с ядрами. Показано, что в зависимости от конкретных задач ширина каналов может меняться пропорционально  $t^2$  или  $t^3$ , где  $t$  — время пролета.

Исследуются причины, приводящие к неоднородности ширины каналов и связанных с этим отклонений функции преобразования от линейной. Основной причиной отклонения ширины каналов от их среднего значения следует считать изменение порога срабатывания схемы фазирования после начала работы генератора временного масштаба. В связи с этим более вероятно проявление неоднородности в группе первых каналов. Предлагается метод измерения однородности ширины каналов, позволяющий полностью избежать влияния мертвого времени на получаемый результат при большой скорости регистрации.

При анализе погрешностей счета во временных многоканальных анализаторах основное внимание уделено возможным методам уменьшения искажений формы спектра, вызываемых мертвым временем анализатора, и возможности введения поправок на просчеты.

Основными источниками просчетов являются схема фазирования и регистрирующее устройство. Если между преобразователем и регистрирующим устройством включается устройство промежуточной памяти (УПП), то просчеты возникают также при заполнении полной емкости УПП.

Совместное влияние на величину просчетов схемы фазирования и мертвого времени регистратора  $t_p$  зависит от метода блокирования входа анализатора и от соотношения между периодом фазирования  $t_\phi$  и шириной канала  $t_k$ .

В диссертации рассматриваются возможности введения поправок на просчеты для трех частных случаев при условии, что ширина каналов ( $t_k$ ) меньше

времени регистрации, т.е.  $\tau_p = \ell t_k$ , где  $\ell$  - целое число.

1-ый случай:  $t \ll t_k$  и вероятность поступления более чем одного импульса за время  $t_\phi$  пренебрежимо мала, т.е. потерями в схеме фазирования можно пренебречь.

Истинное число импульсов  $N_i$ , которое могло бы быть зарегистрировано в  $i$ -том канале, определяется соотношением:

$$N_i = \frac{M_i K}{K - K_M}$$

где  $M_i$  - число зарегистрированных импульсов,

$K$  - число нейтронных пачек, внутри которых проводилась регистрация,

$K_M$  - число нейтронных пачек, внутри которых регистрация в  $i$ -том канале не проводилась в результате влияния мертвого времени.

$$K_M = \frac{M_{i-\ell}}{2} + \frac{M_i}{2} + \sum_{j=i-\ell-1}^{i-1} M_j$$

2-ой случай:  $t_\phi = t_k$  и на время регистрации  $\tau_p$  блокируется вход схемы фазирования.

$$N_i = K \ln \frac{K - \sum_{j=i-\ell}^{i-1} M_j}{K - \sum_{j=i-\ell}^i M_j}$$

3-ий случай:  $t_\phi = t_k$  и на время регистрации блокируется выход схемы фазирования.

$$N_i = K \ln \frac{K - \sum_{j=i-\ell+1}^{i-1} M_j}{K - \sum_{j=i-\ell+1}^i M_j}$$

Во втором и в третьем случаях поправки вводятся более точно, так как исключается влияние дискретности по временной оси, однако во втором случае просчёты в несколько раз больше, чем в первом и в третьем. Минимальная величина просчётов в третьем случае будет при  $t_\phi = t_k$ , поэтому период

фазирующей серии следует выбирать исходя из следующих условий:

1.  $t_{\phi} = t_k$  при  $t_k < r_p$
2.  $t_{\phi} = r_p$  при  $t_k > r_p$

Наиболее эффективным средством для уменьшения просчётов является предварительное разравнивание статистически поступающей на вход анализатора информации. Оно позволяет, не уменьшая мертвого времени, увеличить скорость регистрации в 70 + 80 раз при относительных потерях, не превышающих 1%. Поканальное введение поправок практически невозможно из-за громоздких вычислений, поэтому следует ограничивать интенсивность входящего потока до такой величины, когда просчётами можно пренебречь.

Применение устройств промежуточной памяти при амплитудно-временном анализе часто невозможно из-за большого времени преобразования амплитуды импульса в код. Если время преобразования постоянно, то поправки на просчёты во временных каналах вводят так же, как при одномерном временном анализе, распределяя вычисленные потери между амплитудными каналами пропорционально числу зарегистрированных в них импульсов. Чаще время преобразования линейно зависит от амплитуды импульса.

Громоздкость вычислений, необходимых в этом случае, заставляет отказаться от попыток введения поправок на просчёты и идти по пути уменьшения интенсивности входящего потока.

Автором предложено вместе с уменьшением интенсивности изменять и закон распределения импульсов во времени, направляя на вход анализатора каждый второй импульс. Величина просчётов для потока Эрланга, получаемого путем пересчёта входных импульсов, в широком диапазоне величины  $\lambda r_p$  в несколько раз меньше, чем для потока Пуассона.

На рис. 1 приведена зависимость относительной величины просчётов от произведения  $\lambda r_p$  для всех рассмотренных выше случаев. Эта зависимость рассчитана для стационарного входящего потока импульсов, т.е. для условий, отличающихся от реальных для временных анализаторов. Несмотря на это она удобна для относительной оценки различных схем и является одной из основных характеристик счётных приборов в том числе и временных анализаторов.

Кривая I соответствует случаю, когда потери определяются только временем регистрации / потерями схемы фазирования можно пренебречь /.

Для кривых 2:  $t_{\phi} = t_k$ ,  $r_p = \ell t_k$  и на время регистрации блокируется вход схемы фазирования.

Для кривых 3:  $t_{\phi} = t_k$ ,  $r_p = \ell t_k$  и на время регистрации блокируется выход схемы фазирования.

Кривая 4 соответствует потерям при регистрации потока Эрланга с коэффициентом 2.

## Глава II. Измерительный центр ЛНФ

Измерительный центр /ИЦ/ ЛНФ предназначался вначале для обеспечения работ по спектрометрии медленных нейтронов, проводимых на ИБРе. В последние годы часть оборудования стала использоваться также для исследований на электростатическом генераторе ЭГ-5.

ИЦ создавался поэтапно, начиная примерно с 1960 года. Под руководством и при непосредственном участии автора разработана и создана как структурная схема, так и целый ряд устройств измерительно-регистрающего комплекса ИЦ для спектрометрии по времени пролета.

Сложившаяся к настоящему времени структура ИЦ позволяет проводить одновременно до 8 независимых измерений. Это могут быть многоканальные временные, амплитудные или амплитудно-временные измерения, измерения вида амплитуда-номер датчика и время-номер датчика.

Основой измерительного центра являются запоминающие устройства. Для регистрации одномерных и многомерных спектров с числом каналов до 4000 обычно применяются запоминающие устройства на ферритовых сердечниках /МОЗУ/. Регистрация многомерной информации на десятки и сотни тысяч каналов производится на 20-дорожечную магнитную ленту с последующей сортировкой её с помощью МОЗУ.

Входной коммутатор позволяет передавать сигналы из любого измерительного павильона на вход одного или нескольких измерительно-регистрающих устройств.

Аналого-цифровые преобразователи кодируют измеряемый параметр /амплитуда, время и т.д./ в параллельный двоичный код, который передается в адресный регистр МОЗУ. В случае необходимости согласования во времени АЦП и МОЗУ между ними включаются устройства промежуточной памяти, разравнивающие статистически поступающую информацию.



Информация выводится через выходной коммутатор на любое из устройств вывода: цифропечать, перфоратор, графикопостроитель или передается по кабелю непосредственно в вычислительную машину "Минск-2".

Появление измерительных центров ускорило процесс разделения труда в экспериментальных работах. Научный сотрудник-экспериментатор все более освобождается от несвойственных ему функций по обслуживанию и ремонту участвующей в эксперименте аппаратуры. В случае выхода приборов из строя гарантируется достаточно быстрый ремонт или замена их на резервные силами специалистов соответствующего профиля. В результате резко сокращаются потери рабочего времени реактора.

Блочная конструкция ИЦ дает возможность различного комбинирования устройств, так что в зависимости от требуемого числа каналов, предполагаемой интенсивности регистрируемого потока и других условий эксперимента могут выбираться наиболее подходящие сочетания. Аппаратура в этом случае используется более эффективно, что позволяет сократить общий объем оборудования, обратив основное внимание на его качество, хотя стоимость отдельных устройств может при этом возрастать.

В связи с тем, что к началу работ по созданию ИЦ отсутствовали промышленные образцы многоканальных временных анализаторов, ряд устройств был разработан и изготовлен силами коллектива лаборатории.

В диссертации приводятся описания нескольких устройств многоканального временного анализа, разработанных под руководством автора в течение 1960-1967 г.

1. 256-канальный временной анализатор с остановкой адресного счётчика на время регистрации.

Ширина каналов - 1,2,4,8,16,32,64 мксек.

Время регистрации одного импульса - 16 мксек.

Задержка стартового сигнала -  $n \cdot 128$  мксек, где  $n = (1 \div 4096)$ .

Запоминающее устройство на ферритовых кольцах с ёмкостью в каждом канале  $2^{16} - 1$ .

2. 256- и 1024-канальные запоминающие устройства и временные кодировщики с возможностью включения между ними устройств промежуточной памяти.

Ширина каналов - 1,2,4,8,16,32,64 мксек.

Все каналы разбиты на 4 группы. В каждой группе может устанавливаться своя ширина каналов.

Задержка стартового сигнала до 0,5 сек с шагом 64 мксек.

Автором предложено и осуществлено уменьшение ширины каналов до 0,25 мксек методом измерения по частям с применением хронотронной схемы.

3. Преобразователь времени в код с числом каналов до 4096.

Ширина каналов - 0,5, 1,2, ..... 128 мксек.

Возможно изменение ширины каналов через любую группу каналов кратную 128.

Мертвое время по входу - 1 мксек.

4. Кодированное устройство для измерений вида номер датчика-время.

Максимальное число датчиков - 16.

Мертвое время - в зависимости от применяемого регистрирующего устройства.

Описанные устройства успешно в течение нескольких лет эксплуатировались в составе измерительного центра ЛНФ. В настоящее время часть их передана в Корейскую Народно-Демократическую Республику и в Болгарскую Народную Республику.

### Глава III . Многоканальная регистрирующая система для спектрметрических амплитудных и временных измерений

Большое разнообразие экспериментальных работ, которые призван обеспечивать измерительный центр, выдвигает целый ряд иногда противоречивых требований к параметрам и конструкции отдельных узлов, входящих в его состав.

С другой стороны, желание упростить обслуживание и инженерно-технический надзор требует стандартизации входных и выходных параметров и конструктивного оформления. Эти противоречия особенно заметны на основных блоках измерительного центра - запоминающих устройствах, требования к емкости которых могут быть самыми разнообразными. В результате часто наблюдается недоиспользование рабочего объема памяти МОЗУ.

Централизация запоминающего устройства большой емкости для одновременного проведения нескольких независимых работ многоканального анализа, раз-

биение общего объема памяти на отдельные части с возможностью обращения к каждой только со стороны одного спектрометрического входа позволяет более эффективно использовать емкость запоминающего устройства.

В 1965-1967 г.г. под руководством автора была разработана и создана многотрактовая регистрирующая система для спектрометрических амплитудных и временных измерений с общим запоминающим устройством от вычислительной машины "Минск-2" ( рис.2 ).

Дополненное арифметическим и распределительным устройствами МОЗУ способно принимать цифровую информацию одновременно от нескольких (до шести) аналого-цифровых преобразователей (АЦП). Для согласования АЦП с периодически работающим МОЗУ необходимо включение между ними устройств промежуточной памяти (УПП). В зависимости от числа одновременно работающих АЦП и от предполагаемых загрузок по каждому входу предусмотрено 17 различных комбинаций из следующих периодов: 25, 50, 75, 100, 150, 300 мксек. УПП опрашивается только в том случае, если там есть информация. Такты, свободные от переноса информации из УПП, используются для вывода на осциллографические индикаторы или на любое устройство вывода ИС ЛНФ. Каждому входу отводится свое поле МОЗУ (256, 512, 1024, 2048 ячеек). По числовой оси может производиться разбиение на 2 или 3 части, по 18 или 12 разрядов, соответственно, в зависимости от требуемой емкости в канале. Разбиение каждого поля производится независимо от остальных по дополнительному сигналу от АЦП.

Описанная система, объединенная в комплекс с вычислительной машиной "Минск-2", может явиться основой измерительно-вычислительного центра для спектрометрических работ.

Основные результаты выполненных и освещенных в диссертации работ заключаются в следующем:

1. Рассмотрены и проанализированы условия выбора ширины каналов и возможного закона изменения ее в зависимости от времени пролета, исходя из условий работы на ИБРе ЛНФ.
2. Проведен анализ основных причин, приводящих к неоднородности ширины каналов. Показано, что с учетом конечного мертвого времени распределение числа отсчетов подчиняется биномиальному закону. Предложен метод проверки однородности ширины каналов, исключаяющий влияние мертвого времени на результат измерений.

3. Рассмотрены основные погрешности счёта для многоканального временно-го анализатора-селектора. На основе проведенного анализа даются рекомендации по выбору оптимального соотношения между периодом фазирующих импульсов, шириной каналов и временем регистрации. Для отдельных частных случаев получены формулы для введения поправок на просчёты.

4. При амплитудно-временном анализе, для которого введение поправок на просчёты затруднено, предложено уменьшение интенсивности входящего потока сопровождать изменением закона распределения импульсов. Показано, что для потока Эрланга с коэффициентом 2 просчёты в несколько раз меньше, чем для потока Пуассона.

5. При непосредственном участии автора создан комплекс многоканальных регистрирующих устройств для спектрометрии по времени пролета, который является органической частью измерительного центра ЛНФ.

6. Создан ряд многоканальных временных анализаторов, которые успешно эксплуатировались в ИЦ в течение нескольких лет. Преобразователем времени в цифровой код с числом каналов до 4096 оснащается в настоящее время большинство устройств одно- и многомерного анализа.

7. Разработана многотрактовая регистрирующая система для спектрометрических амплитудных и временных измерений. Совместно с машиной "Минск-2" она составила единый измерительно-вычислительный комплекс.

Измерительный центр ЛНФ является первым действующим измерительным центром в физических институтах как СССР, так и других государств-членов ОИЯИ. Работы по его созданию отмечены первой премией ОИЯИ за 1965 г. В том же году ИЦ экспонировался на Выставке достижений народного хозяйства СССР и был награжден дипломом первой степени.

Основные материалы диссертации докладывались на научно-технических конференциях и симпозиумах и опубликованы в виде отдельных статей и принтов ОИЯИ /3-12/.

#### Л и т е р а т у р а

1. Л.А.Маталин, С.И.Чубаров, А.А.Иванов. Многоканальные анализаторы ядерной физики. Атомиздат, М., 1967.

2. А.П.Цитович. Ядерная электроника, МИФИ, 1965.
3. Г.П.Жуков, Г.И.Забякин, В.Д.Шибяев и др. Препринт ОИЯИ, 1127, Дубна, 1963.
4. Б.Е.Журавлев, И.П.Узунов. Препринт ОИЯИ, 1677, Дубна, 1964.
5. Г.П.Жуков, Б.Е.Журавлев, Г.И.Забякин, В.Н.Замрий. Препринт ОИЯИ, 1677, Дубна, 1964.
6. Б.Е.Журавлев, Г.И.Забякин. ПТЭ, № 2, стр. 81, 1966.
7. Г.П.Жуков, Б.Е.Журавлев, Г.И.Забякин, В.Н.Замрий. Труды шестой конференции по ядерной электронике, т. 3, ч. 1, стр. 89; ПТЭ, № 6, стр. 34, 1964.
8. Б.Е.Журавлева, Т.Шетет, В.Д.Шибяев. Препринт ОИЯИ, 10-3120, Дубна, 1967.
9. Б.Е.Журавлев. Препринт ОИЯИ, 3292, Дубна, 1967.
10. Б.Е.Журавлев. Препринт ОИЯИ, 3295, Дубна, 1967.
11. Б.Е.Журавлев, Г.И.Забякин, Ив. Ванков и др. 1024-канален времен анализатор Известия на физическия институт на БАН, № 3, София, 1967 г.
12. А.И.Барановский, В.А.Владимиров, Ф.Дуда и др. Препринт ОИЯИ, 10-3406, Дубна, 1967.

Рукопись поступила в издательский отдел

14 июля 1967 года.