

С 244.3

Т-472

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ

В.Г. Тишин

13 - 3428

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ РАЗРЕШЕНИЯ И УСТРОЙСТВА  
АМПЛИТУДНОГО АНАЛИЗА  
В ЗАДАЧАХ СПЕКТРОМЕТРИИ НА ИБРе ЛНФ

Автореферат диссертации на соискание учёной  
степени кандидата технических наук

Научный руководитель -  
кандидат технических наук

Г.И.Забиякин

Дубна 1987

**В.Г. Тишин**

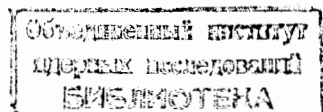
**13 - 3428**

**МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ РАЗРЕШЕНИЯ И УСТРОЙСТВА  
АМПЛИТУДНОГО АНАЛИЗА  
В ЗАДАЧАХ СПЕКТРОМЕТРИИ НА ИБРе ЛНФ**

**Автореферат диссертации на соискание учёной  
степени кандидата технических наук**

**Научный руководитель -  
кандидат технических наук**

**Г.И.Забякин**



В настоящее время амплитудный анализ является одним из основных методов исследования ядерно-физических процессов.

Сочетание методов амплитудного и временного анализа, а также объединение их с другими видами измерений (например, регистрация координат детектора излучения, углов вылета частиц и т.д.) позволяет проводить более сложный многомерный анализ путем измерения нескольких параметров, характеризующих физический процесс.

Основные спектрометрические характеристики многоканальных регистрирующих устройств определяются, наряду с характеристиками детекторной аппаратуры, параметрами блоков, преобразующих аналоговую информацию в цифровой код. Для физических экспериментов, в которых используются сцинтилляционные детекторы и ионизационные камеры, достаточно обеспечить относительно умеренные требования к блокам амплитудно-цифрового преобразования:

200 + 400 каналов при линейности 1 + 2%, что зависит прежде всего от энергетического разрешения этих типов детекторов. Широкое применение в задачах

у - спектрометрии Ge(Li) полупроводниковых детекторов, позволяющих улучшить на 1 + 2 порядка энергетическое разрешение <sup>1/1</sup>, значительно повысило требования к спектрометрической аппаратуре и, в первую очередь, к блокам преобразования. Реализация высокого энергетического разрешения требует увеличения числа каналов преобразователя до нескольких тысяч, что, в свою очередь, предъявляет повышенные требования к измерительным характеристикам аппаратуры: линейности, стабильности, быстродействию процессов кодирования и др.

Эти требования в полной мере относятся к физическим экспериментам, проводимым в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ на базе основной физической установки — импульсном быстром реакторе <sup>1/2/</sup> (ИБРе).

Основной методикой экспериментов на ИБРе является спектрометрия по времени пролета нейтронов. Методы амплитудного анализа используются в многомерных (время-амплитудных) измерениях при исследовании реакций радиационного захвата нейтронов ( $n-\gamma$ ), при изучении амплитудных спектров  $\alpha$  — частиц в реакциях ( $n;\alpha$ ) после захвата резонансных нейтронов, а также в ряде других экспериментов.

Специфика физических работ в ЛНФ выдвинула ряд дополнительных требований как к характеристикам и конструкции блоков амплитудного преобразования, так и к организации измерений, связанных с амплитудным анализом.

Особенностью экспериментов на ИБРе является импульсный характер поступления измеряемого излучения на детекторную и регистрирующую аппаратуру. Причем период работы реактора, временной интервал измерений в одном цикле, а также интенсивность излучения могут меняться в достаточно широком диапазоне. Необходимость исследования нейтронных резонансов высоких энергий заставляет приближать временной интервал, в котором проводится амплитудный анализ, почти вплотную к нейтронной вспышке.

Наличие сильного  $\gamma$  — излучения в момент вспышки создает значительные амплитудные перегрузки (в  $100 \pm 1000$  раз). Все это, а также ряд других факторов, предъявляет к детекторной аппаратуре, а также к блокам амплитудно-цифрового преобразования более жесткие требования по сравнению с обычными спектрометрическими измерениями в условиях более или менее постоянной интенсивности.

Специфика спектрометрических работ на ИБРе, связанная с одновременным проведением до 7 + 8 независимых экспериментов, многоканальностью регистрирующей аппаратуры, длительностью измерений и большим объемом получаемой информации, требующей машинной обработки, привела к объединению основных регистрирующих и обрабатывающих устройств в единый комплекс оборудования — измерительный центр ЛНФ <sup>1/3/</sup>.

Централизация измерений потребовала решения ряда дополнительных вопросов при проведении экспериментальных работ, использующих методы амплитудного анализа. Характерной особенностью экспериментов на ИБРе является

большая протяженность время-пролетных баз и, соответственно, удаленность детекторов излучения на расстояние до 1 км от основной регистрирующей аппаратуры, сконцентрированной в измерительном центре. В связи с этим одним из ключевых вопросов, определяющих схему центра и в какой-то мере требования к параметрам и конструкции аналого-цифровых преобразователей, является выбор места расположения блоков преобразования. С точки зрения уменьшения числа элементов спектрометрического тракта, работающих с аналоговыми сигналами, которые могут вносить дополнительные искажения в регистрируемую величину — амплитуду детекторного импульса, целесообразнее располагать блоки амплитудно-цифрового преобразования вблизи детекторной аппаратуры и передавать по линии связи цифровой код. Однако размещение этих блоков на значительном расстоянии от основной регистрирующей аппаратуры и пультов управления экспериментом повлечет за собой необходимость создания дистанционного управления режимом работы блоков, решения вопросов передачи цифровых кодов, и кроме этого, в ряде случаев (например, при многомерном анализе) потребует размещения около амплитудных преобразователей блоков время-цифрового преобразования, промежуточной памяти и т.д. Все это вызовет значительное усложнение аппаратуры в измерительных павильонах, затруднит обслуживание, смену блоков и пр.

Передача детекторных сигналов в аналоговой форме от мест детектирования к блокам преобразования, расположенным в измерительном центре, устраняет отмеченные выше неудобства, уменьшает количество оборудования, делает его менее сложным. Однако при этом в спектрометрическом тракте появляется дополнительный элемент — кабельная линия передачи, которая может вносить искажения в регистрируемую величину. Отсюда возникает необходимость детального анализа погрешностей, вносимых кабельной линией связи в измеряемое амплитудное распределение (особенно при высокоточном амплитудном анализе сигналов, передаваемых от детектора, расположенного за несколько километров от блока амплитудного преобразования).

Условия работы блоков преобразования в многотрактовом измерительном центре выдвигают ряд дополнительных требований к характеристикам и конструкции этих блоков. Включение блоков преобразования в общую схему измерительного центра должно выполняться таким образом, чтобы, с одной стороны, допускать учет индивидуальных особенностей проводимых экспериментов, с

другой стороны, эти блоки должны быть достаточно универсальными, чтобы в зависимости от требований эксперимента их можно было использовать в различных измерительных трактах, т.е. допускать возможность достаточно простых и гибких коммутационных связей с остальными устройствами центра (время-цифровыми преобразователями, промежуточной памятью, запоминающими устройствами и др.).

Актуальность вопросов высокоточного амплитудного анализа отмечалась ранее /4/. Некоторые из этих вопросов рассматриваются в ряде работ /4,5/.

Однако отмеченные выше особенности экспериментов, проводимых в ЛНФ в условиях централизации основной регистрирующей и обрабатывающей аппаратуры, выдвинули ряд новых задач, решению которых и посвящена диссертация.

Основное внимание в работе уделяется анализу и оценке наиболее существенных погрешностей, возникающих при амплитудных измерениях; методам повышения точности, линейности, стабильности и быстродействия амплитудно-цифровых преобразователей.

Результаты исследований легли в основу разработанных автором в 1962 + 1966 гг. амплитудных преобразователей, которые в настоящее время являются основными блоками амплитудного анализа в измерительном центре ЛНФ.

Ниже излагается содержание четырех глав диссертации.

В первой главе по известным публикациям отечественной и зарубежной литературы, а также по работам автора дан обзор различных методов построения схем входных устройств амплитудных анализаторов повышенной точности /6/. Показано, что реализация высокого энергетического разрешения  $\epsilon_e(Li)$  полупроводниковых детекторов значительно повышает требования к основным параметрам блоков амплитудно-цифрового преобразования, обусловленные необходимостью увеличения числа каналов до нескольких тысяч.

Рассмотрены различные варианты функционального и схемного выполнения отдельных узлов входного устройства, включающего линейные "ворота", схемы отбора информации (дискриминаторы верхнего и нижнего уровней и др.), амплитудно-цифровой преобразователь с адресным регистром и схемы управления.

Рассмотрено влияние различных каскадов входного устройства на основные характеристики амплитудного анализатора: точность, определяемую чис-

лом каналов, интегральную и дифференциальную линейность, стабильность каналов быстродействие преобразования. Отмечены особенности двух типов линейных "ворот" - с нормально открытым и нормально закрытым входом. Рассмотрена работа различных типов дискриминаторов нижнего уровня. Даны рекомендации по использованию того или иного типа дискриминатора.

Важнейшей частью входного устройства, ответственной за его основные характеристики, является амплитудно-цифровой преобразователь. Рассмотрены основные методы преобразования амплитуды импульса в цифровой код: линейное - по принципу амплитудно-временной трансформации и нелинейное - с поразрядным "взвешиванием". По известным схемам преобразователей с амплитудно-временной трансформацией отмечены особенности схемных решений, позволяющие значительно улучшить измерительные характеристики тракта преобразования. Определенное внимание уделено генераторам цуга импульсов /7/. Рассмотрены возможности повышения быстродействия преобразователей в рамках метода линейного кодирования.

С целью повышения быстродействия в настоящее время все шире начинают применяться методы нелинейного кодирования при преобразовании амплитуды импульса в цифровую форму. При этом чаще всего используется двоичное поразрядное "взвешивание" в той или иной модификации. Применение таких методов преобразования в задачах ядерной спектрометрии встречает известные трудности при получении удовлетворительной неравномерности ширины каналов преобразования. Рассмотрен ряд способов, позволяющих уменьшить эту неравномерность до приемлемой величины ( $1 + 2\%$ ):

- 1) введение дополнительного разряда, задающего ширину канала;
- 2) применение схемы с двухпороговым дискриминатором;
- 3) использование принципа статистического усреднения ширины каналов (т.н. способ "скользящей" шкалы преобразователя). Даны рекомендации по выбору метода кодирования при разработке высокоточных быстродействующих амплитудных анализаторов.

Высокая точность измерений, обеспечиваемая амплитудными анализаторами, имеющими несколько тысяч каналов, может быть достигнута только в том случае, если долговременная стабильность "нуля" и масштаба шкалы всего спектрометра будет не хуже долей канала, т.е. сотых долей процента. Решением вопросов стабильности являются широко используемые в настоящее время методы коррекции дрейфов, позволяющие свизить требования к стабильности отдельных

блоков спектрометра и, как следствие этого, сделать разрабатываемую аппаратуру более простой и надежной. Рассмотрены особенности двух способов, определяющих технику выполнения операций коррекции: 1) коррекция с помощью специальных систем авторегулирования и 2) коррекция в виде математических операций над кодами регистрируемых событий, выполняемых с помощью цифровой вычислительной машины<sup>/8/</sup>. Отмечены преимущества коррекции с помощью систем авторегулирования. Предложено классифицировать существующие системы коррекции по виду сигнала ошибки, получаемого путем сравнения измеряемого реперного сигнала с его заданной правильной величиной<sup>/9/</sup>, на:

1) системы коррекции релейного типа, где сигналом ошибки является знак рассогласования; 2) системы коррекции аналогового типа, где помимо знака выделяется величина рассогласования. Рассмотрены особенности выполнения систем коррекции дрейфа, связанные с видом эталонного сигнала. Отмечены преимущества стабилизации по электрическим импульсам от стабильного генератора.

Использование в спектрометрах блоков амплитудно-цифрового преобразования на несколько тысяч каналов обусловило определенный интерес к анализу и оценке вносимых измерительной аппаратурой погрешностей, которые ограничивают предельно допустимую точность и приводят к искажениям результатов измерений.

Во второй главе дана оценка наиболее существенных погрешностей, возникающих при высокоточном амплитудном анализе, с целью выбора способов и соответствующих схемных решений отдельных узлов, позволяющих уменьшить эти погрешности, а также выбора оптимальных условий работы высокоточного спектрометрического тракта при централизации измерений.

Рассмотрены факторы, влияющие на линейность преобразования<sup>/10/</sup>. Дана оценка нелинейности, вносимой преобразователем, выполненным по принципу амплитудно-временной трансформации. Показано, что основной вклад в суммарную нелинейность преобразователя дают те узлы, нелинейность которых непосредственно связана с величиной зарядной емкости. Анализ процессов заряда и разряда этой емкости позволил выделить основные источники нелинейности. Даны рекомендации по выбору схемных решений, позволяющих уменьшить собственную дифференциальную нелинейность такого преобразователя до долей процента. Определенное внимание уделено оценке влияния изменений линейности на положения пиков в спектре.

Проведение высокоточных амплитудных измерений заставляет применять специальные меры для стабилизации параметров спектрометра. Большое количество известных в настоящее время систем стабилизации ставит перед разработчиками подобной аппаратуры задачу выбора наиболее подходящей системы с учетом влияния конкретных условий работы. Высокая эффективность работы таких систем в цепи спектрометрического тракта достигается при условии правильного согласования параметров выбранной системы с величиной и характером дестабилизирующих факторов<sup>/4,11/</sup>. Для двух основных типов систем стабилизации, релейной и аналоговой, проанализировано влияние стабилизации на точность измерений<sup>/9/</sup>. Дана оценка таких факторов, как: дополнительное уширение пиков в спектре, сдвиги пиков при линейно меняющемся дрейфе, скорость отработки мгновенных скачков "нуля" и коэффициента усиления и др. На основании расчётных результатов проведено сравнение эффективности работы этих систем, даны рекомендации по их применимости в реальных условиях физического эксперимента. Показано, что при высокоточных измерениях в лабораторных условиях допустимо использование наиболее простой системы стабилизации – релейного типа с аналоговым интенсиметром. Экспериментальное исследование этих систем подтвердило правильность расчётных результатов.

Проведено исследование возможности использования генераторов электрических импульсов в качестве источников реперных сигналов для стабилизации спектрометров<sup>/12/</sup>. Сформулированы основные требования, предъявляемые к таким генераторам. Дана оценка стабильности и временных характеристик транзисторных генераторов эталонных импульсов. Проведены экспериментальные измерения стабильности ключевых схем на нескольких типах отечественных транзисторов. Проанализировано влияние формы электрического импульса на стабильность амплитуды в зависимости от величины и характера формирующих детекторный сигнал цепей. Показано, что транзисторные генераторы эталонных импульсов по своим параметрам (стабильность не хуже 0,02% / 10°C при фронте импульса 50 + 70 нсек) могут использоваться для стабилизации высокоточного спектрометра с числом каналов до 4000.

В условиях измерительного центра, когда территориально разнесены места детектирования и собственно регистрации информации, возникает ряд проблем, связанных с передачей детекторных сигналов по линиям связи. В реферируемой работе рассмотрены вопросы организации высокоточных амплитудных измерений

с трансляцией сигналов в аналоговой форме по линиям кабельной связи. Дан анализ влияния кабельной линии на точность измерений. Показано, что основными источниками погрешностей являются: температурные изменения коэффициента передачи кабеля; появления в кабеле отраженных паразитных сигналов; влияние различного рода наводок и др. Оценка температурных изменений коэффициента передачи показала, что эти изменения могут достигать нескольких процентов и что в этом случае требуется обязательное включение кабельной линии в цепь, охватываемую стабилизирующим действием системы коррекции дрейфа.

Проанализированы искажения, вносимые кабельной линией в измеряемый спектр. Показано, что при работе с линиями связи в 1-2 км влияние отраженных сигналов, обусловленных отдельными дефектами кабеля (стыковое рассогласование и пр.), не велико по сравнению с другими факторами и не является определяющим при высокоточном амплитудном анализе. Дополнительными источниками искажений в спектре могут явиться паразитные сигналы, проявляющиеся в виде сопутствующего основному сигналу выброса положительной или отрицательной полярности с длительностью, равной двойному времени задержки кабеля, и амплитудой - до нескольких процентов от величины основного сигнала. Для случая прямоугольных импульсов дана оценка искажений, вносимых в спектр наложениями на эти выбросы, с учетом мертвого времени анализатора. Расчетные соотношения подтверждены экспериментальной проверкой. Показано, что недооценка кабеля при высокоточных амплитудных измерениях может привести к появлению в спектре ложных пиков. Даны рекомендации, позволяющие учесть или устранить искажения за счет наложений. Экспериментальные измерения, выполненные на  $\gamma$ -спектрометре, включающем амплитудный преобразователь на 4096 каналов, подтвердили возможность проведения высокоточных амплитудных измерений при трансляции сигналов от детекторов ядерного излучения к блокам амплитудно-цифрового преобразования на расстоянии до нескольких км практически без каких-либо заметных искажений.

Специфика спектрометрических работ, проводимых на основных физических установках ЛНФ - ИБРе и ЭГ-5, связанная с необходимостью одновременного проведения нескольких экспериментов (до 7 + 8), многоканальностью регистрирующей аппаратуры, длительностью измерений и большим объемом получаемой информации, требующей машинной обработки, привела к созданию целого комплекса аппаратуры - лабораторного измерительного центра<sup>/3/</sup>.

В третьей главе дано описание двух амплитудно-цифровых преобразователей, являющихся основными блоками амплитудного анализа в измерительном центре, а также входного устройства для многопараметрового анализа, выполненного на базе этих блоков. Разработка этих устройств, начатая автором в 1962 году, явилась естественным развитием методов амплитудных и многопараметровых измерений применительно к экспериментальным работам на физических установках ЛНФ в условиях централизации измерений. Показано, что использование блоков амплитудно-цифрового преобразования в измерительном центре имеет ряд особенностей, которые учитывались автором при разработке блоков и организации измерений, использующих методы амплитудного анализа. Основной методикой экспериментов на ИБРе ЛНФ является спектрометрия по времени пролета нейтронов. Методы амплитудного анализа находят применение при исследовании реакций радиационного захвата нейтронов ( $n; \gamma$ ); при изучении амплитудных спектров  $\alpha$ -частиц в реакциях ( $n; \alpha$ ) в области резонансных нейтронов, а также в ряде других экспериментальных работ. Для физических экспериментов, проводимых со спинтиллиационными детекторами и ионизационными камерами в условиях работы с пульсирующим источником излучения при повышенной интенсивности, разработан блок амплитудно-цифрового преобразования на 256 (512) каналов<sup>/13/</sup> с временем преобразования 10 + 20 мксек. Преобразователь выполнен по принципу амплитудно-временной трансформации. Проведенные экспериментальные исследования различных методов сокращения времени преобразования и опыт работы с такими блоками показали, что при небольшом числе каналов (до 1000) методы нелинейного кодирования (по сравнению с линейным кодированием) не дают существенного выигрыша в быстродействии преобразования и, кроме этого, требуют значительно большего количества оборудования (в 2 + 3 раза). В настоящее время разработанный амплитудный преобразователь на 256 (512) каналов используется в качестве стандартного блока преобразования измерительного центра ЛНФ.

Развитие в ЛНФ экспериментальных работ по исследованию  $\gamma$ -спектров с применением  $\text{Ge(Li)}$  полупроводниковых детекторов определило необходимость разработки амплитудно-цифрового преобразователя с числом каналов не менее 4000. Для этих экспериментальных задач в течение 1964-65 гг. автором разработан прецизионный амплитудно-цифровой преобразователь на 4096 каналов (с возможностью увеличения числа каналов до 8192)<sup>/14/</sup>, выполненный

по принципу амплитудно-временной трансформации. В отличие от известных аналогичных устройств (например, <sup>14/</sup>) разработанный преобразователь имеет следующие особенности:

- 1) в согласователе импедансов зарядного устройства применен полевой транзистор (а позднее обычные кремниевые транзисторы) вместо электронной лампы; 2) для стабилизации характеристик спектрометрического тракта используется система стабилизации релейного типа; 3) входные цепи преобразователя согласованы с детекторной аппаратурой (формирующими цепями), что позволило улучшить загрузочные характеристики спектрометра (до  $2 \pm 4 \cdot 10^4$  имп/сек); 4) осуществлен режим выбора групп каналов для работы с запоминающими устройствами с числом каналов меньше 4096; 5) введен цифровой порог, позволяющий расширять диапазон измерений без перестройки системы стабилизации. Разработка этого блока позволила реализовать параметры имеющейся детекторной аппаратуры и провести ряд физических работ (в течение 1966 г. на данной аппаратуре выполнено и опубликовано около 20 работ по исследованию  $\gamma$ -спектров нейтронодефицитных изотопов). Для стабилизации прецизионных  $\gamma$ -спектрометров по электрическим импульсам разработан транзисторный генератор.

Одним из основных методов спектрометрических измерений на ИБРе является многомерный анализ на сотни тысяч и больше каналов с использованием записи цифровых кодов на магнитную ленту. Созданный ранее в ЛНФ при непосредственном участии автора многопараметровый регистратор с магнитной лентой <sup>15/</sup> успешно используется в системе лабораторного измерительного центра. Условия экспериментов, проводимых на ИБРе, потребовали расширения возможностей проведения комплексных многопараметровых измерений. На базе промышленного лентопротяжного механизма разработана система регистрации на магнитной ленте, явившаяся развитием ранее созданного устройства в направлении расширения режимов многопараметрового анализа, увеличения числа разрядов в регистрируемом слове до 36 и ряда других улучшений. Для данной системы под руководством и при непосредственном участии автора разработано входное устройство, позволяющее реализовать практически все режимы многопараметровых измерений, проводимых в ЛНФ. Устройство включает блоки амплитудно-цифрового преобразования (на 512 и 4096 каналов), блок кодирования признаков, а также разработанный в ЛНФ блок время-цифрового преобразования (на 4096 каналов) и позволяет проводить до 8 типов многопараметровых измерений

(амплитуда - признак, амплитуда-амплитуда, амплитуда - время и др.). Дано описание работы входного устройства для различных режимов.

Наличие в блоках амплитудного преобразования собственных адресных регистров позволяет осуществить работу этих устройств в режиме внешнего опроса адреса. Такой режим выполнен в спектрометре <sup>16/</sup>, где применяется разработанный автором амплитудный преобразователь на 4096 каналов, с выхода которого адресные коды непосредственно вводятся в цифровую вычислительную машину "Минск-2". Данный комплекс используется как амплитудный анализатор с широкими возможностями накопления и обработки информации.

В четвертой главе как пример реализации высоких измерительных характеристик разработанного прецизионного амплитудно-цифрового преобразователя дано краткое изложение физической работы, выполненной при непосредственном участии автора. На  $\text{Ge}(\text{Li})$  полупроводниковом детекторе (с разрешением 3-4 кэв) и амплитудном анализаторе на 4096 каналов проведено исследование  $\gamma$ -спектров нейтронодефицитных изотопов  $^{66}\text{Ca}$ ,  $^{67}\text{Ca}$  и  $^{72}\text{Ca}$ . Получены новые данные по структуре переходов. Интерес к  $\gamma$ -излучению этих изотопов обусловлен наличием в спектре интенсивных высокоэнергетических линий, что делает удобным применение этих изотопов для калибровки  $\gamma$ -спектрометров в широком диапазоне энергий (до 5 Мэв).

Основные результаты работ, вошедших в диссертацию, состоят в следующем:

1. Сформулированы требования к блокам амплитудно-цифрового преобразования, определяемые, с одной стороны, спектрометрическими характеристиками используемой детекторной аппаратуры, с другой стороны, условиями работы этих блоков в измерительном центре ЛНФ.
2. Рассмотрены основные виды погрешностей, возникающих при высокоточных амплитудных измерениях.
3. Систематизирован материал, касающийся методов схемного выполнения входных устройств амплитудных анализаторов повышенной точности и быстродействия.
4. Проведена классификация методов коррекции дрейфов. Предложено разделение существующих систем коррекции на два класса по виду сигнала ошибки: 1) системы коррекции релейного типа; 2) системы коррекции аналогового типа. Рассмотрены особенности систем коррекции, связанные с видом эталонных сиг-



налов. Отмечены преимущества стабилизации по электрическим импульсам.

5. Проанализированы основные факторы, влияющие на нелинейность амплитудно-временных преобразователей. На основании анализа сделан вывод о возможности разработки амплитудного преобразователя с дифференциальной нелинейностью порядка долей процента в широком динамическом диапазоне. Даны рекомендации по способам уменьшения нелинейности.

6. Проанализированы основные характеристики и проведено сравнение двух типов систем стабилизации. Обоснована целесообразность использования при высокоточных амплитудных измерениях простейшей системы стабилизации - релейного типа с аналоговым интенсиметром.

7. Разработаны две системы стабилизации (аналоговая и релейная).

8. Проанализированы стабильность и временные характеристики генераторов, используемых в качестве источников эталонных сигналов. Разработан высокостабильный генератор.

9. Проведен анализ влияния кабельных линий связи на точность измерений. Сделан вывод о возможности проведения высокоточных амплитудных измерений с трансляцией детекторных сигналов в аналоговой форме на расстояния до нескольких километров.

10. Разработан прецизионный блок амплитудно-цифрового преобразования на 4096 каналов.

11. Разработан блок амплитудно-цифрового преобразования на 512 каналов с мертвым временем 20 мксек.

12. Разработанные амплитудно-цифровые преобразователи, выполненные в виде автономных конструктивно законченных блоков, используются как самостоятельные устройства амплитудного анализа измерительного центра ЛНФ, а также во входных устройствах многомерных анализаторов с регистраторами на магнитной ленте.

13. Осуществлена непосредственная связь разработанного амплитудного преобразователя на 4096 каналов с цифровой вычислительной машиной "Минск-2". Данный комплекс используется как амплитудный анализатор с широкими возможностями накопления и обработки экспериментальной информации.

Проведенные исследования и созданные блоки амплитудно-цифрового преобразования находят практическое использование в экспериментальных работах, проводимых на ИБРе и других установках ЛНФ.

На данной аппаратуре проведен большой цикл физических работ по исследованию  $\gamma$ -спектров нейтронодефицитных изотопов. Высокие параметры прецизионных амплитудных устройств позволили реализовать возможности полупроводниковых детекторов в исследованиях  $\gamma$ -спектров на нейтронном пучке ИБРа и выполнить ряд физических работ.

Комплекс аппаратуры, выполненной на ЭВМ "Минск-2", а также отдельные блоки амплитудно-цифрового преобразования используются физическими группами других лабораторий ОИЯИ.

Разработанные блоки амплитудно-цифрового преобразования переданы к освоению в центральные экспериментальные мастерские института.

Созданные автором устройства в составе комплекса аппаратуры измерительного центра ЛНФ экспонированы на Выставке достижений народного хозяйства СССР, где этот комплекс удостоен диплома 1-й степени (1966 г.).

Выполненные автором научно-методические работы по исследованию и разработке устройств амплитудного анализа в составе комплекса работ по созданию измерительного центра ЛНФ удостоены первой премии Объединенного института ядерных исследований (1965 г.).

Материалы диссертации докладывались и обсуждались на всесоюзных конференциях по ядерной радиоэлектронике в Москве; на международных симпозиумах в Дрездене (1965 г.) и Праге (1966 г.) и опубликованы в работах автора /6-10, 12-16/.

#### Л и т е р а т у р а

1. G. T. Ewan, A. J. Tavendale. Can. J. Phys., 42, 2286 (1964).
2. Г. Е. Блохин, Д. И. Блохинцев и др., Атомная энергия, 10, 437 (1961).
3. Г. П. Жуков, Б. Е. Журавлев, Г. И. Забиякин, В. Н. Замрий, ПТЭ, №6, 34 (1964).
4. А. Н. Утюжников. Диссертация, Дубна, 1965.
5. Л. А. Маталин, С. И. Чубаров, А. А. Иванов. Многоканальные анализаторы ядерной физики, Атомиздат, Москва, 1967.
6. Э. Г. Имаев, Ке Ен Сун, В. И. Приходько, А. М. Сухов, В. Г. Тишин. Препринт ОИЯИ, Р10-3332, Дубна, 1967.
7. В. И. Приходько, В. Г. Тишин, Препринт ОИЯИ, 2641, Дубна, 1966.

8. Г.И.Забиякин, В.П.Приходько, В.Г.Тишин, Л.П.Челноков. Препринт ОИЯИ, Р-2851, Дубна, 1966.
9. В.И.Приходько, В.Г.Тишин, Препринт ОИЯИ, Р-2707, Дубна, 1966.
10. В.И.Приходько, В.Г.Тишин. III Symp. uber Kometelektron., ZfK - 121, 5 (1966); Препринт ОИЯИ, Р-2384, Дубна, 1965.
11. R.Dudley, R.Scarpatetti. Nucl. Instr. Meth., 25, n 2, 227 (1964).
12. Э.Г.Имаев, В.И.Приходько, В.Г.Тишин, Б.В.Фефилов. Препринт ОИЯИ, Р13-3246, Дубна, 1967.
13. В.Г.Тишин. Препринт ОИЯИ, 2163, Дубна, 1965.
14. В.И.Приходько, В.Г.Тишин, Препринт ОИЯИ, 2492, Дубна, 1965.
15. Г.П.Жуков, Ш.И.Барилко, Г.И.Забиякин, Ким Генъ Чунъ, Ли Мин Вень, В.Г.Тишин, В.Д.Шибяев. Труды VI -й конференции по ядерной радио-электронике. 3, ч.1., 197, Атомиздат, Москва, 1965.
16. В.А.Владимиров, Ф.Дуда, Г.И.Забиякин, З.В.Лысенко, В.И.Приходько, В.Г.Тишин, В.Р.Трубников, Й.Томяк. Препринт ОИЯИ, 10-3272, Дубна, 1967.

Рукопись поступила в издательский отдел  
6 июля 1967 года.