

C-16

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

10 - 10355

САЛАИ Шандор

РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ
АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ НАКОПЛЕНИЯ
И ОБРАБОТКИ СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ
НА ИМПУЛЬСНОМ РЕАКТОРЕ

Специальность 05.11.10 - приборы для измерения
ионизирующих излучений и рентгеновские приборы

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Дубна 1977

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики
Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель
кандидат технических наук
старший научный сотрудник

Г. П. БУКОВ

Официальные оппоненты:

доктор технических наук

И. В. ШТРАНИХ

кандидат технических наук

Б. В. ФЕФИЛОВ

Ведущее научно-исследовательское учреждение -
- Физико-энергетический институт, г. Обнинск.

Автореферат разослан " " _____ 1977 года.

Защита диссертации состоится " " _____ 1977 года
на заседании специализированного совета Д.047.01.05
при Лаборатории нейтронной физики и Лаборатории ядерных
реакций Объединенного института ядерных исследований
(г. Дубна).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь Совета

Ю. В. ТАРАН

Обеспечение эффективности научных исследований возможно без высокопроизводительных систем сбора и обработки экспериментальных данных.

Большую роль в развитии измерительных систем играют малые универсальные цифровые вычислительные машины (ЦВМ) с развитой системой каналов для приема и выдачи цифровой информации. Малые ЦВМ имеют относительно простую организацию, достаточную для выполнения основных операций по сбору, накоплению предварительной, а в некоторых случаях и окончательной обработке данных и широко используются в вычислительных системах в качестве управляющих элементов для работы на линии с экспериментальным оборудованием.

Применение ЦВМ в измерительной системе открывает перед исследователями большие возможности для постановки и решения экспериментальных задач. Работа в реальном масштабе времени позволяет эффективно контролировать действие всей аппаратуры, оценивать правильность полученной информации в процессе самого эксперимента и в зависимости от результатов изменять его ход в нужном направлении. Ядерная физика одна из первых среди естественных наук приступила к широкому использованию ЦВМ. Разнообразные потребности в использовании вычислительной техники определяют наличие в физических исследовательских центрах большого количества ЦВМ, отличающихся как вычислительной мощностью, так и другими характеристиками.

**Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА**

Предлагаемая диссертация посвящена вопросам создания комплекса аппаратных и программных средств современных измерительных систем для физических исследований в области нейтронной физики методом времени пролета на импульсном быстром реакторе. Особое внимание было уделено разработке рациональных программ, организации сбора спектрометрической информации для обеспечения эффективности измерительно-вычислительной системы.

Решение поставленной задачи обуславливалось необходимостью создания автоматизированных регистрирующих систем, основой которых являлись малые ЦВМ, максимально широким применением стандартных модулей системы КАМАК, разработкой для этих комплексов проблемно-ориентированного программного обеспечения. В диссертации описываются разработанные автором системы, приборы, устройства и программы, предназначенные для проведения физических исследований, а также для предварительной, а в некоторых случаях и окончательной обработки экспериментальной информации.

Диссертация содержит введение, четыре главы, заключение и приложение.

Первая глава состоит из нескольких разделов, в которых последовательно рассматриваются состав, организация и программное обеспечение автоматизированных систем сбора и обработки данных ядерной спектрометрии. Автоматизированная измерительная система представляет собой единый комплекс аппаратных средств, которые только в этом случае позволяют решать поставленные задачи. Процесс выбора и оптимизации аппаратных и программных средств для данного применения состоит в отыскании такого

технического решения, которое обеспечивает получение требуемых характеристик при минимальных затратах.

В первой части главы дается обзор универсальных малых ЦВМ, получивших наиболее широкое применение в физических лабораториях мира, анализируются их характеристики с точки зрения применимости для решения задач ядерной спектрометрии.

Самостоятельный раздел посвящен вопросам стандартизации электронной аппаратуры и, в частности, описанию стандарта КАМАК, принятого в 1968 году для нужд ядерной электроники.

Отдельно рассмотрены вопросы программного обеспечения малых ЦВМ с точки зрения измерительно-вычислительных систем. Из этого анализа сделаны выводы об эффективности применения программ, написанных на языке ассемблера и на языках высокого уровня.

Заключительный раздел главы посвящен анализу особенностей построения регистрирующей аппаратуры для работы на импульсных пучках нейтронов. При разработке электронных установок для измерений на реакторе ИБР-30 необходимо учитывать факт создания реактора ИБР-2, существенно отличающегося от первого по своим характеристикам, возможностям и условиям проведения эксперимента с тем, чтобы в будущем электронное оборудование ИБР-30 можно было перенести на ИБР-2. С другой стороны, это оборудование должно стать частью создаваемого в настоящее время измерительно-вычислительного комплекса ИБР-2, поэтому должно полностью

соответствовать его структуре. Учитывая специфику экспериментальных задач, планируемых на ИБР-2, целесообразно ориентироваться на создание нескольких однотипных измерительных модулей. В состав оборудования измерительного модуля, помимо малой ЦВМ, входит необходимый для оснащения спектрометра набор блоков в стандарте КАМАК, аппаратура связи с базовой ЦВМ измерительного центра и специальные входные устройства.

Во второй главе диссертации рассматриваются автоматизированные измерительные системы на базе ЦВМ второго поколения.

На основании сформулированных требований к измерительной системе для измерения магнитных моментов ядер была разработана и создана измерительная система на базе малой ЦВМ ТРА-1001. Особенностью такой системы (рис.1) является возможность временного анализа с минимальной шириной канала 2,5 мкс (разрешающее время меньше 10^{-7} с), что было достигнуто благодаря применению анализирующей системы на базе внешней быстрой памяти машины (4К, 12 разрядов, с циклом 2 мкс) с входными блоками, содержащими два 4-разрядных быстрых счетчика, работающих поочередно, сумматор и временной кодировщик^{1/1}.

Чтобы увеличить время накопления данных и повысить статистическую точность измерения при проведении эксперимента программным путем, емкость каналов регистрации в оперативной памяти ЦВМ была доведена до 24 разрядов (двойное машинное слово). После заполнения 12-разрядного слова внешней памяти ЦВМ переключает быструю память в режим вывода, и накопленные данные пересылаются в ОЗУ машины. Наблюдение накопленных данных в процессе регистрации осуществляется с помощью графического

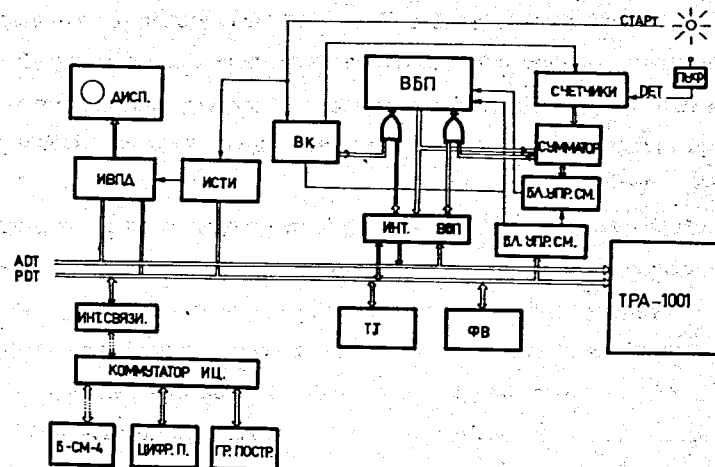


Рис.1. Блок-схема измерительной системы для измерения магнитных моментов ядер.

ИВПА-интерфейс для визуального представления данных, ИСТИ-интерфейс стартовых импульсов, ВК-временной кодировщик, ВБП-внешняя быстрая память, ПУФ-предусилитель и формирователь, ТТ-телетайп, ФВ-фотосчитывающее устройство, ИЦ - измерительный центр.

дисплея без остановки измерения. Программа, обслуживающая измерения, составлена на языке ассемблера машины, что обеспечивает экономное использование памяти и наибольшее быстродействие. Для дальнейшей обработки данных накопленная информация через разработанный блок связи с выходными устройствами измерительного центра передавалась на ЦВМ БЭСМ-4^{1/2}.

В течение шести часов в памяти ЦВМ накапливался спектр нейтронов при температуре диспрозиевой мишени 0,03 К, после

чего из TRA-1001 информация передавалась на ЦМ БЭСМ-4. Затем мишень нагревалась до 0,5 К и измерение повторялось. Полученные таким образом спектры составляли пару для совместной обработки^{/3/}. Измерительная система для исследования магнитных моментов нейтронов резонансов редкоземельных ядер эксплуатируется с 1973 года.

В следующем разделе этой главы описывается разработанная и созданная при непосредственном участии автора автоматизированная измерительная система, аналогичная вышеописанной и дополненная блоками дистанционного управления экспериментальной установкой по измерению взаимодействия поляризованных нейтронов и поляризованных ядер. Управление и контроль осуществляются с помощью ЦМ по каналу программной передачи данных. Для устранения влияния помех, возникающих при работе мощных реле и электродвигателей исполнительного механизма, в блоке предусмотрено гальваническое разделение управляющих и контрольных сигналов, которое реализовано с помощью реле. Работа системы автоматизированного управления рассчитана на круглосуточный, длительный режим и непрерывно контролируется управляющей программой измерительной установки.

В течение 24 часов при положительной поляризации протонов велось поочередное накопление спектров для параллельной и антипараллельной поляризации нейтронного пучка и ядерной мишени^{/4/}. Чередование производилось каждые три минуты по сигналам ЦМ для системы быстрого реверса поляризации нейтронного пучка. Затем протонная мишень переводилась в состояние с отрицательной поляризацией и 24 часа велось аналогичные трехминутные измерения. Спектры, накопленные в каждом суточном цикле, передавались в БЭСМ-4 для дальнейшей обработки.

Без существенных структурных изменений эта же автоматизированная измерительная система использовалась для исследований по изомерным сдвигам нейтронных резонансов^{/5/}. Эксперименты позволяли получить ценную информацию о величине среднеквадратичного радиуса в возбужденных состояниях компаунд-ядер. Для экспериментального осуществления таких измерений использовались образцы в виде двух различных химических соединений. Для исключения временных сдвигов, связанных с работой реактора, оказалось необходимым попеременно чередовать с малыми интервалами измерения с обеими мишенями. Для контроля нейтронного спектра было необходимо также проводить измерения без образца. Блок-схема программы управления экспериментом приведена на рис.2.

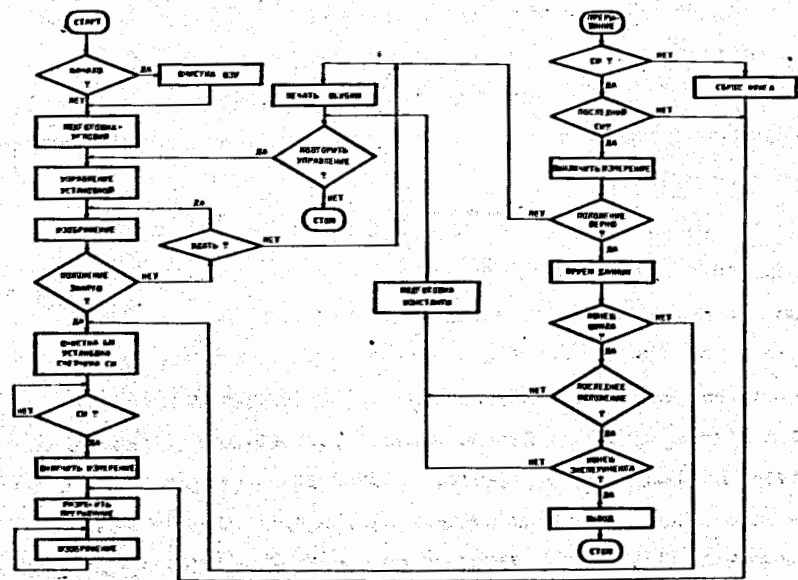


Рис. 2. Блок-схема программы управления экспериментом.

В третьей главе представлены созданные автором измерительные системы на базе малой ЦЕМ третьего поколения (1001 ТРА-1 и ТРА-1).

Корреляционная методика измерения рассеяния нейтронов на импульсном реакторе является новым направлением в нейтронной спектроскопии /6/. В первом разделе рассматриваются особенности применения корреляционной методики на импульсном реакторе. На основании проведенного анализа даются рекомендации

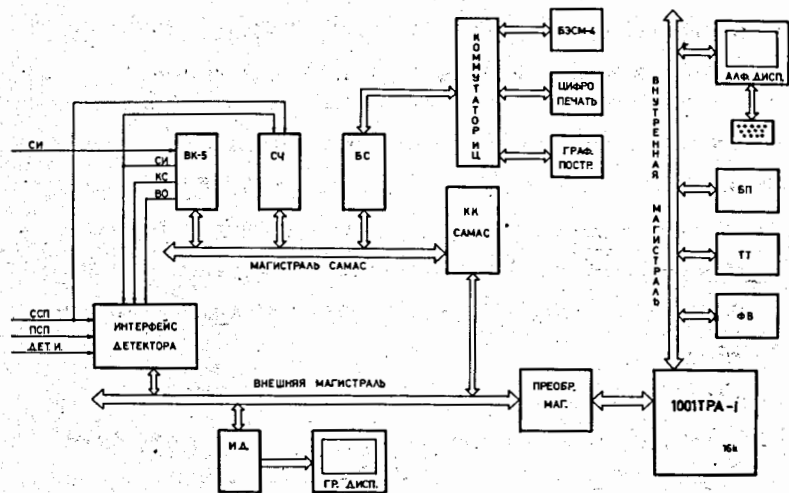


Рис. 3. Блок-схема измерительной системы КОРАН. СИ-стартовые импульсы, ССП-стартовые импульсы случайного прерывателя, ПСП-импульсы положения случайного прерывателя, СЧ-счетчики, БС-блок связи, БП-быстрый перфоратор, ИД-интерфейс графического дисплея, КК-кредит контроллер, ВК-5 - временной кодировщик.

по выбору состава аппаратных и программных средств измерительной системы с учетом особенностей корреляционной методики. Описывается разработанная и созданная в 1974 году измерительная система (рис.3) для корреляционного анализа (КОРАН) / 7, 8, 9/. Работа ЦЕМ 1001 ТРА-1, включенной в состав системы, проходит на трех основных уровнях:

- 1) регистрация спектрометрических событий по каналу автономной передачи к памяти,
- 2) обслуживание периферийных устройств по каналам прерывания программ;
- 3) программное обслуживание периферийных устройств и выполнение команд экспериментатора.

На основе анализа потоков информации, проведенного в первой главе, был выбран метод регистрации спектрометрической информации, позволивший сократить среднее значение мертвого времени регистрации до ≈ 4 мкс и эффективно использовать вычислительную мощность ЦЕМ. Разработанный узкоориентированный язык обеспечивает максимальную скорость выполнения команд и занимает менее 2к ячеек памяти.

С помощью системы КОРАН были проведены измерения фоновых спектров монокристаллов для сравнения корреляционной методики с традиционной. В течение 29 ч. измерялся спектр рассеяния и было зарегистрировано 40 фононов, тогда как обычными методами при таких же условиях определяются параметры лишь нескольких фононов. Проведенные циклы методических измерений показали надежность и стабильность системы. Ее программное обеспечение дало возможность в ходе эксперимента проверять и контролировать некоторые параметры установки, проводить корреляционные

В третьей главе представлены созданные автором измерительные системы на базе малой ЦЕМ третьего поколения (1001 ТРА-1 и ТРА-1).

Корреляционная методика измерения рассеяния нейтронов на импульсном реакторе является новым направлением в нейтронной спектроскопии /6/. В первом разделе рассматриваются особенности применения корреляционной методики на импульсном реакторе. На основании проведенного анализа даются рекомендации

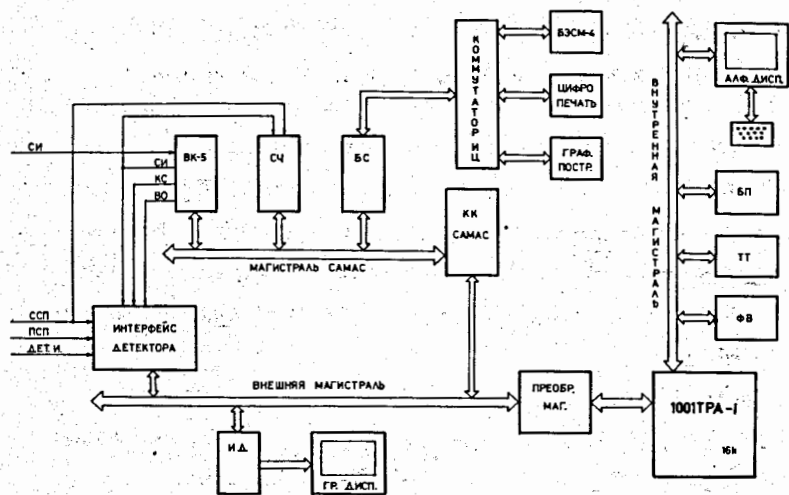


Рис. 3. Блок-схема измерительной системы КОРАН. СИ-стартовые импульсы, ССП-стартовые импульсы случайного прерывателя, ПСП-импульсы положения случайного прерывателя, СЧ-счетчики, БС-блок связи, БП-быстрый перфоратор, ИД-интерфейс графического дисплея, КК-крейт контроллер, ВК-5 - временной кодировщик.

по выбору состава аппаратных и программных средств измерительной системы с учетом особенностей корреляционной методики. Описывается разработанная и созданная в 1974 году измерительная система (рис.3) для корреляционного анализа (КОРАН) /7, 8, 9/. Работа ЦЕМ 1001 ТРА-1, включенной в состав системы, проходит на трех основных уровнях:

- 1) регистрация спектрометрических событий по каналу автономной передачи к памяти,
- 2) обслуживание периферийных устройств по каналам прерывания программ;
- 3) программное обслуживание периферийных устройств и выполнение команд экспериментатора.

На основе анализа потоков информации, проведенного в первой главе, был выбран метод регистрации спектрометрической информации, позволивший сократить среднее значение мертвого времени регистрации до ≈ 4 мкс и эффективно использовать вычислительную мощность ЦЕМ. Разработанный узкоориентированный язык обеспечивает максимальную скорость выполнения команд и занимает менее 2к ячеек памяти.

С помощью системы КОРАН были проведены измерения фоновых спектров монокристаллов для сравнения корреляционной методики с традиционной. В течение 29 ч. измерялся спектр рассеяния и было зарегистрировано 40 фононов, тогда как обычными методами при таких же условиях определяются параметры лишь нескольких фононов. Проведенные циклы методических измерений показали надежность и стабильность системы. Ее программное обеспечение дало возможность в ходе эксперимента проверять и контролировать некоторые параметры установки, проводить корреляционные

расчету спектров с выводом результатов на дисплей, что позволило оперативно находить необходимые параметры спектров.

Дальше, в третьей главе на основе проведенного анализа круга задач, которые должна решать автоматизированная измерительная система, даются рекомендации по выбору состава аппаратных и программных средств с учетом требований больших потоков спектрометрической информации и надежности. Описывается разработанная автоматизированная измерительная система (рис. 4), позволяющая при небольших изменениях проводить различные эксперименты, использующие время-пролетную методику. Регистрация временных спектров реализовалась с помощью

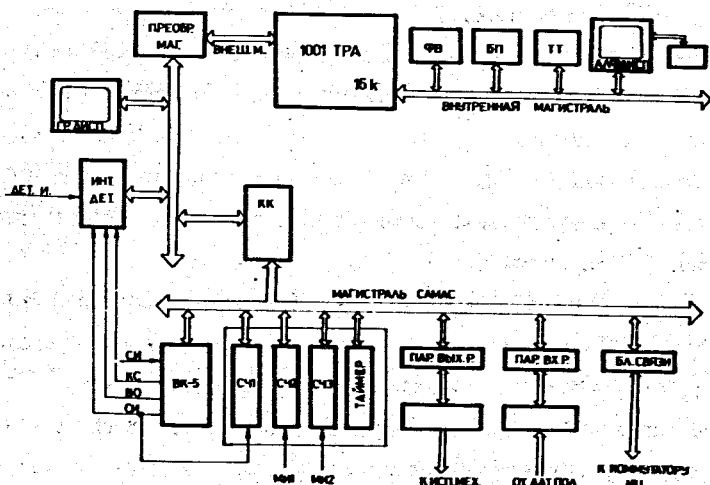


Рис. 4. Блок-схема автоматизированной измерительной системы. КС-канальная серия, ВО-временное окно, СИ-стартовые импульсы, СЧ-счетчик, КК-крейт контроллер, МИ-мониторные импульсы.

многосчетчикового метода по каналу автономной передачи. Особенностью этого метода является высокая скорость и сокращение мертвого времени до 70 нс. С помощью этой системы было проведено измерение угловой зависимости упругого рассеяния нейтронов I_0 и подготовлен вариант системы на базе ЦМ ТРА-1 для проведения измерений с поляризованными нейтронами I_1 .

Разработанная управляющая программа – интерактивный рекурсивный интерпретатор ФОККАМ обеспечивает в ходе эксперимента контроль параметров установки, возможность изменения условий эксперимента, проведение математической обработки спектров с выводом результатов на дисплей. Программа ФОККАМ была разработана на базе языка высокого уровня ФОКАЛ.

Автоматизированная система для измерения угловой зависимости упругого рассеяния нейтронов, созданная на ЦМ 1001 ТРА-1, используется для этой цели с начала 1975 г. Опыт эксплуатации подтвердил правильность выбора аппаратно-программных средств. Работа с каналом автономной передачи позволила более полно использовать вычислительную мощность процессора. Применение языка высокого уровня дало экспериментатору возможность более гибкого управления системой, облегчило подготовку программ проведения экспериментов, математической обработки и программ обслуживания.

В четвертой главе на основе созданных автоматизированных вычислительно-измерительных систем проведен анализ оптимизации состава и обеспечения надежности измерительных систем. На конкретных примерах показан ряд оптимальных программно-технических решений применительно к уровню развития аппаратных средств. В то же время развитие технологии интегральных схем существенно влияет на соотношение аппаратных и программных средств автоматизированных систем.

С увеличением скорости и улучшением организации малых ЦВМ появляется возможность применения мультипрограммного режима. Программа ФОККАМ ориентирована на выполнение двух задач. Задача обслуживания эксперимента является основной, а в свободное время ФОККАМ может выполнять любые программы и расчеты экспериментатора.

На данном этапе развития аппаратных средств программы обслуживания эксперимента целесообразно писать на языке ассемблера, а программы обработки — используя языки высокого уровня. Данный принцип был реализован в программе ФОККАМ.

В процессе создания программного обеспечения измерительных систем реализация и особенно отладка программ являются самой трудоемкой работой. С целью ускорения и облегчения процесса отладки программ измерительных систем была разработана отладочная программа ODT-S /12/.

Автоматический контроль и управление параметрами эксперимента значительно увеличивает эффективность его проведения, поэтому при разработке всех измерительных систем им уделялось большое внимание. В различных экспериментах контролировались такие параметры, как наличие стартовых импульсов реактора, положение образцов, направление магнитного поля, стабильность оборотов и асинхронность вращения случайного прерывателя и другие. В дальнейшем, расширяя круг контролируемых параметров, можно увеличить эффективность и добиться большей точности проведения эксперимента.

Основные результаты работ, выполненных автором или при его непосредственном участии и вошедших в диссертацию, состоят в следующем:

I. Сформулированы требования к электронной аппаратуре и ЦВМ третьего поколения для проведения физических экспериментов в нейтронной спектроскопии на импульсном реакторе.

2. Проведен анализ потоков информации между ЦВМ и экспериментальными установками, а также между ЦВМ и человеком. Сформулирован способ приема, хранения и обработки информации для достижения экономного использования вычислительной мощности ЦВМ в автоматизированной измерительной системе.

3. На основе разработанных и стандартных модулей создана измерительная система на базе малой ЦВМ (включая программное обеспечение) для исследования магнитных моментов ядер. С помощью этой системы впервые в мире был выполнен цикл исследований магнитных моментов нейтронных резонансов редкоземельных ядер. Эти исследования получили высокую научную оценку, в частности, отмечены первой премией ОИИИ за 1975 г.

4. Разработана и создана автоматизированная измерительная система (на основе разработанной системы для измерения магнитных моментов) с дистанционным управлением эксперимента по измерению взаимодействия поляризованных нейтронов и поляризованных ядер. Эта система используется для исследования спиновой зависимости нейтронных сечений. Разработан и создан вариант этой системы для исследования изомерных сдвигов нейтронных резонансов.

5. Впервые в мире разработана и находится в эксплуатации измерительная система с управлением ЦВМ по корреляционной методике на импульсном реакторе, с помощью которой получены предварительные результаты по неупругому рассеянию нейтронов на монокристаллах.

6. Разработан и реализован измерительный модуль на базе мини-ЦВМ для нейтронной спектроскопии по методу времени пролета с управлением физическим экспериментом на импульсном реакторе.

7. Разработан и создан интерактивный рекурсивный интерпретатор ФОККАМ на основе языка высокого уровня — ФОКАЛ для

управления экспериментальными устройствами, включающими модули в стандарте КАМАК, позволяющий обрабатывать спектрметрические данные в реальном масштабе времени.

8. Разработана специальная вспомогательная отладочная программа, облегчающая наладку измерительных систем и их программного обеспечения.

Отладочная программа и интерпретатор ФОККАМ используются в ряде институтов СССР и ВНР.

9. Длительная эксплуатация разработанных измерительных систем показала их высокую надежность, что позволило значительно повысить уровень проводимых физических исследований.

Основные результаты, изложенные в диссертации, докладывались на международных симпозиумах по ядерной электронике в Будапеште (1973 г.)^{/1/}, в Дубне (1975 г.)^{/5/} и на Первом всесоюзном совещании по автоматизации научных исследований в ядерной физике в Киеве (1976 г.)^{/10/}, а также опубликованы в работах^{/2-4, 6-9, 11-12/}.

Л и т е р а т у р а

1. Вагов В.А., Замрий В.Н., Салаи Ш. Организация накопления спектрметрической информации с использованием малой ЭВМ и внешней быстрой памяти. Труды УИ Международного симпозиума по ядерной электронике. Будапешт-73, ОИЯИ, Д13-7616, Дубна, 1974, стр. 358-364.
2. Вагов В.А., Замрий В.Н., Рерих Т.С., Салаи Ш. Подключение ЭВМ ТРА-1001 к выходным устройствам ИЦ ЛНФ, ОИЯИ, IO-8190, Дубна, 1974.

3. Alfimenkov V.P., Vagov V.A., Zamrij V.N., Mareev Yu.D., Lason V.N., Ovchinnikov O.N., Pikelner L.B., Salai S. and Sharapov F.J. Magnetic Moments of Compound States in Dysprosium, Physics Letters, 1975, v.53B, No 5, p. 429-431.
4. Алфименков В.П., Аюпян Г.Г., Вагов В.А., Иваненко А.И., Ласонь Л., Мареев Ю.Д., Морева Н.И., Овчинников О.Н., Пикельнер Л.Б., Салаи Ш., Шаратов Э.И. Пропускание поляризованных резонансных нейтронов через поляризованную мишень ¹⁵⁹Tb, ОИЯИ, P3-9852, Дубна, 1976.
5. Вагов В.А., Замрий В.Н., Иваненко А.И., Салаи Ш. Трехпозиционное управление физическим экспериментом. Труды УИ Международного симпозиума по ядерной электронике, Дубна, ОИЯИ, Д13-9287, 1975, стр. 372-376.
6. Гладких И.А., Кроо Н., Салаи Ш., Симкин В.Г., Чер Л. Применение метода корреляционного анализа для исследования спектра рассеяния медленных нейтронов, ОИЯИ, I4-9485, Дубна, 1976.
7. Рубин Д., Салаи Ш. Включение дисплея ВТ-340 в состав вычислительной машины ТРА-1 ОИЯИ, IO-9644, Дубна, 1976.
8. Барабаш И.П., Белик В.Н., Богдзель А.А., Браньковски Е., Вагов В.А., Елизаров О.И., Жуков Г.П., Ишмухаметов М.З., Ковалев И.В., Купцов В.Г., Мельничук А.Б., Пушкин С.Ф., Родионов К.Г., Салаи Ш., Соловьев Б.Н., Тишин В.Г., Шабаев В.Д. Система аналого-цифровых и цифровых блоков в стандарте КАМАК, ОИЯИ, II-8522, Дубна, 1975.
9. Гладких И.А., Кроо Н., Салаи Ш., Симкин В.Г., Ференци Ф., Чер Л. Спектрометр КОРАН на реакторе ИБР-30, ОИЯИ, I4-9486, Дубна, 1976.

10. Вагов В.А., Жуков Г.П., Салаи Ш. Автоматизированная спектрометрическая система для измерения угловых распределений рассеяния нейтронов ядрами. Первое всесоюзное совещание по автоматизации научных исследований в ядерной физике, ИЯИ АН УССР, Киев, 1976, стр. 19-21.
11. Салаи Ш. Измерительный модуль для сбора спектрометрических информации по методу времени пролета, ОИЯИ, IO-10027, Дубна, 1976.
12. Грязнов В.М., Салаи Ш. Руководство по использованию отладочной программы ODT-S, ОИЯИ, II-7058, Дубна, 1973.

Рукопись поступила в издательский отдел
3 января 1977 года