

Т-82 У 845 + 3485

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

13-95-84

На правах рукописи
УДК 539.1.07

ТУЛАЕВ
Андрей Борисович

АППАРАТНЫЕ И ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА
ПОСТРОЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ
ДИАГНОСТИЧЕСКИХ И ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ
СИСТЕМ НА РЕАКТОРЕ ИБР-2

Специальность: 01.04.01 — техника физического
эксперимента, физика приборов,
автоматизация физических исследований

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Дубна 1995

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики им. И.М.Франка Объединенного института ядерных исследований.

Научные руководители:

кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Пепельшев Ю.Н.

кандидат технических наук, старший научный сотрудник Тишин В.Г.

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук, профессор Акимов Ю.К.

кандидат физико-математических наук Артемьев В.А.

Ведущая организация:

Всероссийский научно-исследовательский институт технической физики и автоматизации, г.Москва.

Защита состоится " " 1995 года на заседании специализированного совета Д 047.01.05 при Лаборатории нейтронной физики им. И.М.Франка и Лаборатории ядерных реакций им. Г.Н.Флерова, г. Дубна, Московская область.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Автореферат разослан 20 марта 1995 года

Ученый секретарь специализированного совета  Попоко А.Г.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Интенсификация научных исследований, усложнение систем сбора, обработки, анализа и представления данных физических экспериментов с одной стороны, и появление в середине 80-х годов персональных компьютеров (ПК), в частности, т.н. IBM PC - совместимых машин, получивших наибольшее распространение, с другой, привели к необходимости разработки концепций и методов их применения в научных исследованиях, которые позволили бы наиболее эффективно использовать потенциальные возможности этих вычислительных средств и определили бы оптимальную структуру измерительных систем.

Фактором, сдерживавшим использование ПК было отсутствие аппаратных и программных средств, ориентированных на on-line применения. Поэтому актуальной являлась разработка проблемно - ориентированных электронных модулей, обладающих оптимальной функциональной структурой для различных классов задач в конкретных условиях ЛНФ.

Решение этих проблем позволило создать аппаратуру и программное обеспечение для решения таких актуальных физических задач, как диагностика технического состояния узлов и исследование параметров базовой установки ЛНФ - реактора ИБР-2, проведения работ по исследованию структур органических и неорганических (в том числе, ВТСП) образцов методом нейтронной и рентгеновской дифракции, времяпролетного исследования квазиупругого рассеяния нейтронов на реакторе ИБР-2 с применением корреляционной методики.

Работы, положенные в основу диссертации, выполнены в соответствии с проблемно-тематическим планом научно - исследовательских работ и международного сотрудничества ОИЯИ.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ заключалась в определении принципов построения измерительных систем на базе персональных компьютеров и эффективно реализуемых алгоритмов накопления экспериментальных данных, и в создании на этой основе разработок электронной аппаратуры и программного обеспечения для ряда автоматизированных диагностических и исследовательских систем ЛНФ.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА РАБОТЫ заключается в следующем:

- создано семейство оригинальных проблемно-ориентированных измерительных и управляющих электронных модулей для систем автоматизации, базирующихся на ПК, отдельные технические решения патентно защищены;

- разработан ряд программных и технических инструментальных средств для обеспечения разработки аппаратуры и программного обеспечения;

- впервые разработана система управления для рентгеновских дифрактометров типа ДРОН-3 на базе ПК,

Научно-техническая
библиотека
ОИЯИ

повысившая реальную разрешающую способность установки по сравнению с заводской;

- впервые в ОИЯИ разработана компьютерная система для диагностики технического состояния подвижного отражателя реактора ИБР-2, основанная на методике измерения сигналов вибрации и анализа вибрационных спектров;

- впервые разработана высокоэффективная система для исследования спектров нейтронов утечки и переходных процессов в криогенном замедлителе для импульсного источника нейтронов с использованием в качестве детектора ионизационной камеры деления, работающей в токовом режиме;

- разработана система, реализующая корреляционные измерения вибрационных характеристик подвижного отражателя и энергии импульса мощности, а также точные измерения формы импульса мощности реактора ИБР-2;

- впервые в ОИЯИ создана система автоматизированного учета тепловой энергии.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ РАБОТЫ. На основе проведенных автором разработок и исследований создана аппаратура и программное обеспечение диагностических и исследовательских систем, с помощью которых были:

- впервые осуществлена возможность компьютерной диагностики технического состояния подвижного отражателя реактора ИБР-2, получена база данных вибрационных спектров, обнаружен прогрессирующий дефект одной из деталей;

- измерены спектры тепловых нейтронов, выходящих с поверхности водяного замедлителя реактора ИБР-2, исследованы спектры и температура нейтронов в криогенном метановом замедлителе;

- исследованы нейтронно-физические характеристики криогенного замедлителя, проведен комплекс экспериментальных исследований по выходу тепловых и холодных нейтронов с его поверхности, изучена стабильности спектра эмиссии нейтронов в процессе эксплуатации замедлителя;

- впервые получены данные и результаты по исследованию динамики спектра нейтронов в различных переходных процессах, происходящих в твердом метане, которые имеют важное значение для оптимизации конструкции замедлителя и повышения его безопасности;

- проведены эксперименты по исследованию квазиупругого рассеяния нейтронов на реакторе ИБР-2 с применением корреляционной методики;

- проведены структурные исследования образцов методом рентгеновской дифракции в рамках проекта N421 Государственной программы "Высокотемпературная сверхпроводимость";

- проведены структурные исследования на ряде нейтронных дифрактометров ЛНФ;

- автоматизирован учет тепловой энергии в ЛНФ.

Созданные автором разработки применялись в ОИЯИ, а также в научных центрах России: ИФП (Дубна), МГУ, НИКИЭТ (Москва) и стран-участниц: ИЯИ АН Украины (Киев), ИЯИЭ БАН (София), ЦИФИ (Будапешт).

АПРОБАЦИЯ РАБОТЫ. Результаты, положенные в основу диссертации, обсуждались на научных семинарах ЛНФ и ЛЯП ОИЯИ, докладывались на XII Международном симпозиуме по ядерной электронике (НРБ, 1988), IX Летней школе по применению вычислительной техники в физике (ЧСФР, 1991), VII Симпозиуме по применению микрокомпьютеров и микропроцессоров (ВР, 1992), Международном совещании по программированию и математическим методам решения физических задач (Дубна, 1993), Международном семинаре по импульсным нейтронным источникам PANS-II (Дубна, 1994).

Эти материалы были опубликованы как в виде сообщений ОИЯИ и материалов международных симпозиумов и совещаний, так и в отечественных и зарубежных журналах (Приборы и техника эксперимента, Атомная энергия, Magyar Electrotechnika). Отдельные технические решения защищены авторским свидетельством СССР и патентом Венгерской Республики. Всего по материалам диссертации опубликовано 19 работ.

СТРУКТУРА РАБОТЫ. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы. Общий объем работы составляет 119 страниц, включая 18 рисунков. Список литературы содержит 97 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во ВВЕДЕНИИ обоснована актуальность работы, сформулированы цель, научная новизна и практическая значимость работы, дано краткое содержание диссертации по главам.

I

В Главе 1 проведен обзор достоинств и недостатков ПК с точки зрения их on-line применений. Исследованы функциональные особенности системной электроники ПК, обоснованы возможности перераспределения ряда функциональных задач между ею и традиционной измерительной аппаратурой, с реализацией их с помощью специализированной программной поддержки на ПК при создании автоматизированных систем реального времени.

Традиционным стандартом для создания систем автоматизации в ОИЯИ является стандарт КАМАК. С другой стороны, существует ряд задач, для автоматизации которых применение магистрально-модульных систем является избыточным. Поэтому в тех случаях, когда набор функций, вид и границы измеряемых параметров можно достаточно точно и полно описать определить заранее, количество их невелико, и ресурсы самого ПК (быстродействие, память) достаточны, целесообразно использовать проблемно-ориентированные модули, выполненные в стандарте электроники ПК. Такие модули могут быть достаточно универсальными, при этом электроника системы, служащая для связи непосредственно с объектом управления или измерений могут располагаться вне ПК, в

каком-либо произвольном либо стандартном конструктиве. В условиях ОИЯИ таким конструктивом может быть КАМАК, так как имеет собственный блок питания и позволяет использовать множество разработанных ранее блоков.

В настоящее время ряд крупных зарубежных фирм выпускает специализированные модули для ПК, выполненные с применением современных технологий, благодаря чему их использование в ряде случаев может оказаться целесообразным. Однако большинство производителей ориентируется на массовые, чаще всего промышленные применения, и не учитывают специфики систем автоматизации физических экспериментов в условиях различных научных центров, поэтому разработка функциональных модулей в стандарте электроники ПК является актуальной задачей.

В данной главе обоснована оптимальная функциональная структура проблемно-ориентированных модулей для различных классов задач в конкретных условиях ЛНФ. Проанализированы подходы как к построению систем, базирующихся на модулях в стандарте электроники ПК, так и перспективных распределенных систем автоматизации, основанных на новых электронных стандартах и сетевых структурах.

Предложены конкретные средства и пути применения методов программной эмуляции, организации параллельных асинхронных процессов, распределенного интеллекта, принципов функциональной полноты и преемственности аппаратного и программного обеспечения.

II

ГЛАВА 2 посвящена описанию семейства разработанных функциональных электронных модулей.

Разработанный модуль ввода-вывода аналоговой и цифровой информации содержит измерительный 10-разрядный АЦП с 8-канальным аналоговым мультиплексором на входе, 2 канала 12-разрядных ЦАП, программируемый таймер-счетчик и параллельный интерфейс. Считывание данных с АЦП может производиться по программному каналу, по прерываниям и по каналу прямого доступа к памяти (DMA).

Описан впервые разработанный модуль, предназначенный для счета внешних событий, таймирования, генерирования последовательностей импульсов, измерения интенсивности и частоты, а также управления исполнительными механизмами и внешними устройствами при помощи параллельного интерфейса.

Модуль содержит 6 независимых программируемых 16-разрядных счетных или таймерных каналов, имеющих программируемую логику обратной связи и возможность их каскадирования, аппаратную конфигурацию и программный выбор режимов работы, а также параллельный интерфейс с программируемыми входными-выходными линиями и аппаратной конфигурацией буферов.

Модуль легко адаптировать для различных применений, например, в качестве интенсиметра или временного

кодирующего. Техническое решение модуля защищено Авторским свидетельством СССР.

Для обеспечения высокоскоростной передачи информации между ПК и внешним устройством данных впервые был разработан многофункциональный параллельный интерфейс MULTI, имеющий программируемую разрядность, управляемое направление передачи данных с возможностью работы по каналу DMA. Конструктивное исполнение MULTI предусматривает возможность расширения его функций и наилучшей адаптации к задачам пользователя с помощью дополнительных "on-board" модулей. Таким образом, возможны два основных способа использования данного интерфейса:

- обмен 4-байтными словами между ПК и объектом при помощи простого Handshake - протокола;

- применение MULTI с дополнительными on-board модулями, содержащими подсистемы для решения специальной задачи пользователя.

Техническое решение интерфейса защищено патентом Венгерской Республики.

Разработан согласующий модуль Baby-106, эмулирующий сигналы усеченной Общей шины (UNIBUS), что позволяет подключить к MULTI как крейт-контроллер КАМАК KK106, так и другие устройства, аппаратно совместимые с UNIBUS.

Для связи ПК с приборами и устройствами, использующими шину стандарта IEEE-488, был разработан модуль для интерфейса MULTI Baby-488.

Практика показала, что применение в разработках описанного в Главе 1 метода программно-аппаратной эмуляции обеспечивает высокую адаптивность интерфейса для широкого ряда применений.

На базе однокристалльной микро-ЭВМ был разработан микроконтроллер для создания локальных измерительных и управляющих подсистем, характеризующийся простотой аппаратной части, открытостью для функциональных расширений, наличием средств коммуникации.

III

В Главе 3 рассматриваются программные библиотеки, разработанные для поддержки разработанных электронных модулей и внешних устройств в задачах реального времени, а также инструментальные технические средства и программы, обеспечивающие эффективную разработку и отладку аппаратуры.

Созданные программные библиотеки обеспечивают прикладному программисту на языке высокого уровня максимальные возможности по глубокому и полному использованию ресурсов ПК, освободив его от необходимости изучения машинно-ориентированных языков и различных специфических особенностей системы.

На основе этих библиотек было разработано полное тестовое обеспечение для настройки и проверки функционирования всех разработанных модулей, а также созданы

программы для ряда систем автоматизации, описанных в последующих главах.

Для работ по настройке модулей и для создания дополнительного оборудования на шине ПК за пределами системного блока был разработан эффективный сервисный модуль - расширитель шины ПК, с помощью которого были разработаны и отлажены все описанные в Главе 2 функциональные блоки.

Для создания малых систем автоматизации, организации рабочих мест и ряда других применений, требующих использования стандарта КАМАК, но занимающих лишь небольшое число станций, впервые был разработан и внедрен в Опытном производстве ОИЯИ переносной компакт-крейт КАМАК с источником питания, содержащий 7 станций, объединенных усеченной магистралью КАМАК.

В соответствии с разработанными в Главе 1 подходами к использованию средств автоматического проектирования электронной аппаратуры, был создан ряд программных утилит для формального контроля принципиальных схем и генерации отчетов, а также автоматизации интерфейса между различными пакетами САПР.

IV

В Главе 4 описываются измерительные системы для диагностики технического состояния узлов и исследования параметров основной базовой установки ЛНФ - реактора ИБР-2, созданные при непосредственном участии автора на основе описанных в предыдущих главах принципов и разработок.

Одним из основных узлов реактора ИБР-2 является модулятор реактивности, т.н. подвижный отражатель (ПО). Известно, что неисправности ротационных машин, каковым является ПО, оказываются одной из основных причин простоев и аварийных ситуаций силовых установок. Весьма информативной для обнаружения развивающегося дефекта является методика, основанная на анализе вибрационных спектров. С ее помощью можно получать предупредительную информацию на самых ранних стадиях возникновения потенциальных неисправностей, иногда за несколько месяцев до момента разрушения детали, в которой начал развиваться дефект.

Данная методика лежит в основе разработанной компьютерной диагностической системы. Система состоит из набора первичных датчиков - акселерометров с предусилителями, блока фильтров нижних частот с программируемым усилителем и ПК с установленным в нем модулем аналогового и цифрового ввода-вывода, описанным в Главе 2. Считывание данных АЦП по каналу DMA обеспечивает максимальное быстрое действие при передаче данных и допускает использование в системе ПК даже самых младших моделей.

Основой программного обеспечения измерений является разработанная автором программа NOISE, позволяющая производить измерения в полуавтоматическом и автоматическом режимах и представлять информацию в графическом виде с



1991



1994

Рис.1. Динамика развития вибрационных Фурье-спектров, снятых с одного из датчиков, установленных на редукторе подвижного отражателя, с 1991 по 1994 годы. На топограмме изображена последовательность из 32 спектров.

"твердой копией" протокола диагностики.

Работа с данной системой заключается в периодическом измерении вибрационных спектров с последующим их сравнительным анализом. На основе изучения конструкции и анализа динамического нагружения ПО было установлено соответствие спектральных составляющих тем или иным механическим узлам и деталям. В случае плавного и медленного повышения уровня вибраций можно судить о скорости развития дефекта и оценивать время безопасной эксплуатации установки. При внезапном и быстром повышении уровня вибраций необходимо предпринимать оперативные меры. Так в конце 1993 года системой было обнаружено как повышение уровня вибрации в области частот 90 и 140 Гц, так и общее повышение вибрационного фона (рис.1). Данная тенденция была интерпретирована как прогрессирующий дефект опорного подшипника, на основании чего в марте 1994 года была произведена остановка реактора для замены ПО.

Для измерения спектров и температуры тепловых нейтронов водяного и криогенного метанового замедлителей на импульсном реакторе ИБР-2 необходимо было использовать токовый режим работы нейтронного детектора, так как традиционная техника измерения спектров тепловых нейтронов по времени пролета, основанная на регистрации отдельных импульсов с нейтронного детектора, требует значительного времени и по этой причине становится практически непригодной для исследования малоинтенсивной области спектров с длиной волны 10-20 или более ангстрем.

Для этого была создана эффективная измерительная система, основанная на методике точного измерения формы токового импульса детектора. Система построена на основе специально разработанной ионизационной камеры деления, регистрирующей электроники и ПК, содержащего описанный в Главе 2 модуль аналогового и цифрового ввода-вывода.

Спектр тепловых нейтронов измерялся на расстоянии 5.55 м от поверхности замедлителя, окружающего активную зону. Температура водяного замедлителя при работе реактора на средней мощности 2 МВт равнялась 300 К, а температура криогенного замедлителя - 20 К. Система цилиндрических коллиматоров из кадмия "просматривала" всю светящуюся область замедлителя, выделенную для данного нейтронного канала. Сигнал ионизационной камеры соответствовал времяпролетному спектру тепловых нейтронов.

Созданная автором измерительная программа ТЕМР включает в себя весь комплекс процедур, работающих с аппаратурой, и реализует точное измерение формы токового импульса, накопление, усреднение, запоминание и обработку полученной информации.

Измерительная система обеспечивает очень широкий динамический диапазон: 120 дБ при измерении токового импульса сигнала камеры (рис.2). Добиться такого широкого диапазона при использовании АЩ с невысокой разрядностью удалось с помощью динамического переключения коэффициента

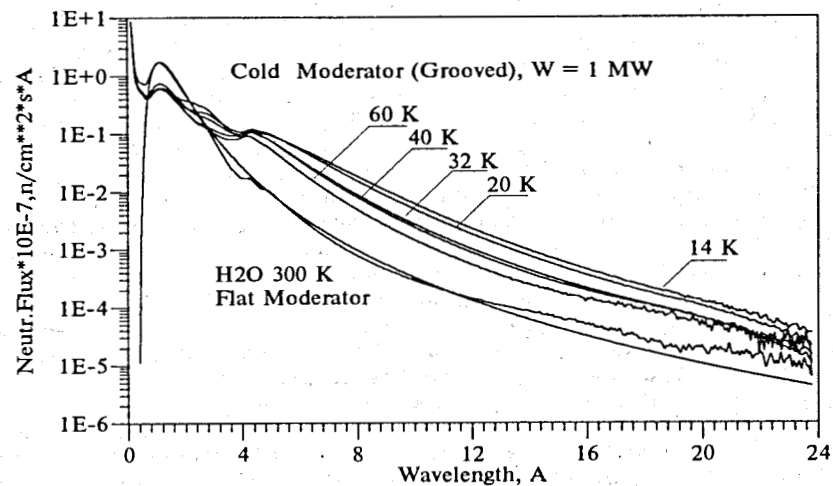


Рис.2. Спектр тепловых нейтронов в зависимости от длины волны (в ангстремах) для некоторых значений средней температуры метанового замедлителя. Для сравнения приведен спектр нейтронов для плоского водяного предзамедлителя при температуре 300 К и его аппроксимация максвелловским распределением. Данные нормированы на один МВт средней мощности реактора.

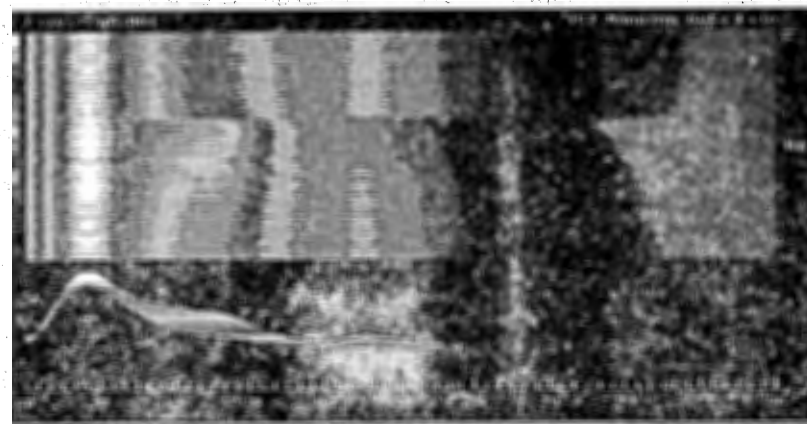


Рис.3. Топограмма изменения спектра утечки нейтронов с поверхности метанового замедлителя в процессе планового "бепса": повышение температуры метана с 26 К до 28 К, затем быстрый разогрев метана до 58 К с последующим охлаждением. Мощность реактора 2 Мвт. На рисунке представлено 470 последовательно измеренных спектров в полном интервале времени 16 мин. Каждый спектр измерялся по 4 импульсам мощности с последующим пропуском 6 импульсов. По оси абсцисс отложен номер временного канала (ширина канала 49.8 мкс).

усиления входного преобразователя.

Для увеличения выхода холодных нейтронов на выведенных нейтронных пучках импульсного реактора ИБР-2 был создан и пущен в пробную эксплуатацию криогенный замедлитель (КЗ) с твердым метаном. С целью изучения нейтронно-физических характеристик КЗ необходимо было провести комплекс экспериментальных исследований по выходу тепловых и холодных нейтронов с поверхности этого замедлителя.

Особым предметом исследования было изучение динамики изменения спектра эмиссии холодных нейтронов в переходных процессах КЗ, как при плановых операциях (отгонке водорода, отжиге радикалов), и спонтанных, т.н. "бепсах" - самопроизвольных быстрых отжигах радикалов. Быстрый (несколько секунд) подогрев КЗ в "бепсе" может привести к плавлению метана и выделению водорода, что недопустимо с точки зрения безопасной эксплуатации КЗ.

Скорость изменения температуры метана в различных переходных процессах существенно различна (от нескольких секунд до нескольких часов), а следовательно, для исследования динамики переходных процессов в КЗ необходимо иметь возможность оценивать спектр нейтронов как в каждом импульсе мощности (что позволило бы практически безынерционно оценить температуру КЗ и при необходимости выработать аварийный сигнал на сброс мощности), так и в большом временном диапазоне. Эта задача была решена с помощью описанной выше токовой измерительной аппаратуры и созданной автором программы BURPS.

Алгоритм измерительного цикла организован таким образом, что на фоне программы, осуществляющей предварительную обработку данных, сохранение на диск и визуализацию, параллельно организованы асинхронные процессы внепроцессорного накопления данных в буфере по DMA-каналу и точное измерение временных интервалов между вспышками с использованием внутреннего таймера и контроллера прерываний. Таким образом, каждый "кадр" в файле данных окзывается жестко привязан номером вспышки к оси реального времени.

Данные оперативного буфера обрабатываются в реальном времени процедурами поиска пиков и результат обработки выдается на экран в виде кривой положения пика. Она позволяет судить о стабильности нейтронных спектров, и при их аномальном поведении (например, при "бепсе") позволяет принять управляющее решение. Для измерений в большом временном диапазоне предусмотрена возможность регистрации не каждой вспышки, а с пропуском заданного числа вспышек.

Измеренные данные могут быть обработаны и "кадры" вспышек просмотрены в виде "фильма" в выбранном масштабе времени (рис.3).

Разработанный алгоритм позволяет максимально использовать ресурсы ПК, и вести измерения практически без потери данных (т.е. без просчета вспышек) даже на достаточно маломощных моделях ПК, таких как например, АТ-286-8 МГц.

В процессе работы реактора ИБР-2 статистические свойства случайных отклонений основных реакторных параметров от их среднего значения (температуры и расхода натрия на выходе из активной зоны или вибраций подвижных отражателей) со временем меняются. Это приводит к изменению характеристик реакторного шума. Исследование шумов в зависимости от времени работы реактора дает сведения о текущем его состоянии и может быть использовано для прогнозирования или анализа аномальных (нетипичных) состояний. При исследовании их статистических характеристик можно оценить некоторые ядерно-физические параметры активной зоны и определить неконтролируемые эффекты реактивности, вызванные отклонениями в работе технологических систем. Поэтому для измерения параметров импульса мощности реактора ИБР-2, а также исследования степени влияния вибраций ПО на флуктуации энергии импульсов мощности была разработана измерительная система, реализующая измерения вибрационных характеристик, измерение энергии импульса мощности, а также измерение формы импульса мощности.

Датчиками для измерения энергии импульса мощности служат ионизационные камеры деления. При измерении импульса мощности реализуется т.н. комплексное накопление, т.е. в каждой вспышке реактора производятся единичные измерения каждого из сигналов вибрационных датчиков и сигнала энергии импульса мощности с выбранной камеры (через $t=1-40$ мс после "СТАРТа") с накоплением временного ряда длиной $8K \times 7 \times n$ событий, где $n=1..10$. Запуск измерений данной системы производится синхронно с измерениями в подсистеме стабилизации скорости вращения ПО.

Датчиками для измерения формы импульса мощности служат ионизационная камера (ИК) с $Th232$ и ФЭУ с пластиковыми сцинтилляторами, выходной сигнал которых повторяет форму вспышки. В данном режиме производится измерение как одиночных вспышек с периодом дискретизации $4 - 10$ мкс, так и измерения с ИК в течении нескольких часов в счетном режиме с числом каналов до 4096 при максимальной загрузке до 10000 имп./сек. Для реализации счетного режима в данной системе используется описанный в Главе 2 модуль счетчиков-таймеров и параллельного интерфейса, выполняющий функцию временного кодировщика.

Измерительная программа POWER реализует описанные режимы измерения, базируясь на базовых программных библиотеках и реализуя уже описанные выше подходы и алгоритмы организации накопления и обработки данных.

V

В ГЛАВЕ 5 описано применение разработанных методик и созданных электронных модулей и программ для систем автоматизации некоторых спектрометров, нейтронных и рентгеновских дифрактометров, а также автоматизированной системы учета тепловой энергии ЛНФ.

Созданный в ЛНФ спектрометр КОРА предназначен для времяпролетного исследования неупругого и квазиупругого рассеяния нейтронов на реакторе ИБР-2 с применением корреляционной методики. Основная электроника спектрометра разрабатывалась в период 1976-1988 годов и базировалась на аппаратуре в стандарте КАМАК и мини-ЭВМ типа СМ-3.

Использование в системе ПК Повец-16 и интерфейса MULTI для приема 3-байтовых кодов событий из промежуточной памяти по сегменту внешней шины позволило обеспечить накопление полного объема спектра, требуемого в экспериментах по исследованию квазиупругого рассеяния нейтронов, прежде недостижимых из-за недостаточного размера ОЗУ ЭВМ и памяти анализатора.

Действующий на реакторе ИБР-2 нейтронный дифрактометр по времени пролета ДН-2 предназначен для проведения дифракционных экспериментов на основе разработанной в ЛНФ методики, с помощью которой возможно изучение переходных процессов с характерным временем от долей секунд до десятков минут. За время с начала создания и эксплуатации спектрометров их электроника прошла несколько этапов развития. На этапе перехода с СМ ЭВМ на ПК оптимальной с точки зрения преемственности, временных затрат и быстродействия оказалась организация совместной работы ПЭВМ и аппаратуры в стандарте КАМАК с использованием крейт-контроллера КК106 и интерфейса MULTI. Программное обеспечение было построено таким образом, что для функций управления аппаратурой и контроля параметров использовалось обращение к блокам КАМАК по программному каналу, а считывание накопленной в 24-разрядных спектрометрических ЗУ информации и быстрая инициализация (обнуление) ЗУ производилась путем прямого доступа к памяти (DMA), что позволило удовлетворить жестким временным требованиям.

Аналогичная конфигурация КАМАК - аппаратуры использовалась также на дифрактометрах ДН-5 и ДН-12. Кроме того, на дифрактометрах ДН-2 и ДН-5 (ФДВР), а также на других спектрометрах (например, НЭРА-ПР), необходимо проведение исследований в области низких температур (от нескольких К до комнатной). Для этого в ЛНФ применяются рефрижераторы замкнутого типа, имеющие в своем составе специальные устройства - криогенные контроллеры.

Реализация связи контроллера DRC-81С с ПК через интерфейс IEEE-488 при помощи модуля MULTI была описана в Главе 2. Контроллеры типа DRC-91 и LTC-60 имеют интерфейс RS-232, что позволяет производить их включение в состав аппаратуры спектрометров без дополнительных аппаратных затрат. На основе библиотеки программ работы с последовательным интерфейсом, описанной в Главе 3, для этих типов рефрижераторов было создано программное обеспечение, состоящее из процедур нижнего уровня и включенное в управляющие программы спектрометров ФДВР и НЭРА-ПР.

Результаты структурных исследований, проводимых на нейтронных дифрактометрах, в ряде случаев могут быть

эффективно дополнены исследованием тех же образцов на рентгеновских дифрактометрах.

Промышленно выпускаемые стационарные рентгеновские дифрактометры типа ДРОН оснащены достаточным набором рентгеновских трубок с хорошей интенсивностью пучков рентгеновского излучения и малыми размерами излучающего фокуса. Однако совершенно неудовлетворительной частью дифрактометров является комплекс управляющей электроники и устройства вывода информации, не позволяющий реализовать большие возможности, заложенные в рентгеновскую и гониометрическую части дифрактометров.

Для дифрактометра типа ДРОН-3М была создана автоматизированная система управления на базе ПК. Для управления электромеханическими узлами гониометра был разработан модуль управления (привод) гониометра МУГ, в качестве модуля управления и организации измерений был использован описанный в Главе 2 модуль счетчиков-таймеров и параллельного интерфейса.

Основой программного обеспечения измерений является разработанная автором программа XDIF, которая предоставляет возможность производить съем рентгенограмм и осуществлять оперативное управление установкой (рис.4).

Данная разработка была внедрена как в ЛНФ ОИЯИ, так и на Химическом факультете Московского Государственного Университета и в Институте ядерных исследований и ядерной энергетики Болгарской Академии Наук.

Задача замены комплекса заводской системы управляющей электроники для дифрактометра модели ДРОН-4 решалась поэтапно. На этапе запуска установки, юстировки и проверки функционирования рентгеновской и электромеханической ее частей был обеспечен интерфейс с ПК. Для этого был использован многофункциональный модуль MULTI, с помощью которого была осуществлена эмуляция работы устройств ввода-вывода ДРОН-4.

Следующим этапом является комплексное оснащение дифрактометра электронно-измерительными средствами. Это реализуется в рамках концепции построения систем автоматизации с применением аппаратуры в стандарте VME.

Особенностью разработанного и частично реализованного проекта является то, что он предполагает одновременную работу в одном крейте систем автоматизации двух дифрактометров - ДРОН-4 и малоуглового рентгеновского дифрактометра МУРР. Проведенные расчеты показывают, что объединение двух схожих по структуре и функциям систем в одном крейте под управлением многозадачной системы оправдано как по критериям его загрузки, так и с точки зрения экономической.

Учет расхода тепловой энергии не является физической исследовательской задачей, но имеет большое практическое значение для ЛНФ. Ее решение позволяет контролировать расход тепла и создавать оптимальные температурные условия, в том числе и в экспериментальных залах, для нормальной работы

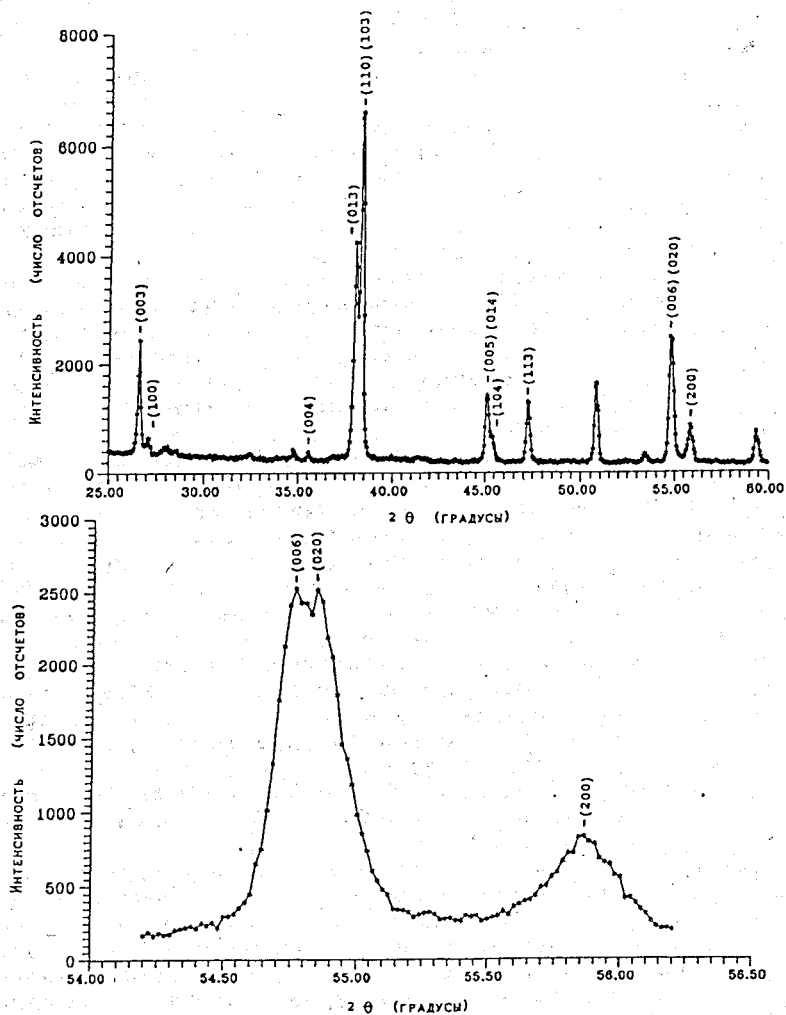


Рис.4. На верхнем графике приведена рентгенограмма высоко- температурного сверхпроводника $\text{HoBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$, на которой помимо основных рефлексов исследуемой структуры видны линии примесей BaCO_3 ($2\theta=28^\circ$) и $\text{Ho}_2\text{BaCuO}_5$ ($2\theta=34,7^\circ$), а также калибровочные линии меди ($2\theta=50,756^\circ$ и $2\theta=59,325^\circ$). Измерения выполнены на K_α излучении Co с 10-микронным фильтром Fe. Шаг измерений $0,05^\circ$, время экспозиции каждой 5 сек. На нижнем графике приведен участок спектра от 54° до $56,5^\circ$, измеренный с шагом $0,02^\circ$. Хорошо видно наличие в этом интервале трех основных для данной структуры рефлексов: (200), (020) и (006), отчетливо наблюдать которые невозможно при измерениях на ДРОНе заводской комплектации.

электронной измерительной аппаратуры и персонала, а также дает экономический эффект.

Для этого была создана и введена в эксплуатацию компьютерная система учета тепловой энергии, разработанная с использованием тех же описанных ранее принципов построения систем на ПК, что и системы автоматизации физических экспериментов.

Разработанные алгоритмы обеспечивают такие режимы учета тепла, как непрерывный контроль (мониторинг), ведение протокола измерений с регистрацией среднечасовых и суточных значений параметров, позволяют производить анализ динамики теплотребления, формировать отчеты и вести архив данных.

Система способна работать как в режиме постоянного включения в течении длительного времени (нескольких недель), так и в режиме проведения многократных краткосрочных (до 1 часа) измерений. Зная характер динамики суточного теплотребления, можно выбрать оптимальную стратегию измерений.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИИ

Основными результатами работы является разработка аппаратуры и эффективно реализуемых алгоритмов и программ сбора экспериментальных данных для построения измерительных систем на базе персональных компьютеров, и создании на этой основе систем автоматизации экспериментов ЛНФ.

1. Разработано семейство оригинальных проблемно-ориентированных измерительных и управляющих электронных модулей для систем автоматизации, базирующихся на ПК. Технические решения модуля счетчиков-таймеров и параллельного интерфейса и многофункционального параллельного интерфейса были патентно защищены.

2. Разработан ряд программных и технических инструментальных средств для обеспечения разработки аппаратуры и программного обеспечения систем автоматизации, впервые в ОИЯИ создан компакт-крейт КАМАК.

3. При помощи созданных средств автором, или при его непосредственном участии, были:

- впервые разработана компьютерная система для диагностики технического состояния подвижного отражателя реактора ИБР-2; основанная на методике измерения сигналов вибрации и анализа вибрационных спектров;

- впервые разработана высокоэффективная система для исследования спектров нейтронов утечки и динамики переходных процессов в криогенном замедлителе реактора ИБР-2 с использованием в качестве детектора ионизационной камеры деления, работающей в токовом режиме;

- разработана система, реализующая корреляционные измерения вибрационных характеристик подвижного отражателя и энергии импульса мощности, а также точные измерения формы импульса мощности;

- впервые разработана система управления рентгеновским

дифрактометр типа ДРОН на базе ПК, повысившая разрешающую способность установки по сравнению с заводской;

- впервые в ОИЯИ создана система автоматического учета тепловой энергии.

4. В ходе использования построенных систем, при проведении исследований и экспериментов, были получены следующие физические результаты:

- впервые осуществлена возможность компьютерной диагностики технического состояния подвижного отражателя реактора ИБР-2, получена база данных вибрационных спектров, обнаружен прогрессирующий дефект одной из деталей;

- измерены спектры тепловых нейтронов, выходящих с поверхности водяного замедлителя реактора ИБР-2, исследованы спектры и температура нейтронов в криогенном метановом замедлителе.

- исследованы нейтронно- физические характеристики криогенного замедлителя, проведен комплекс экспериментальных исследований по выходу тепловых и холодных нейтронов с его поверхности, изучена стабильность спектра эмиссии нейтронов в процессе эксплуатации замедлителя.

- впервые получены данные и результаты по исследованию динамики спектра нейтронов в различных переходных процессах, происходящих в твердом метане, которые имеют важное значение для оптимизации конструкции замедлителя и повышения его безопасности.

- реализованы корреляционные измерения вибрационных характеристик подвижного отражателя реактора и энергии импульса мощности, а также формы импульса мощности.

- проведены эксперименты по исследованию квазиупругого рассеяния нейтронов на реакторе ИБР-2 с применением корреляционной методики.

- проведены структурные исследования образцов методом рентгеновской дифракции в рамках проекта N421 Государственной программы "Высокотемпературная сверхпроводимость";

- проведены структурные исследования на ряде нейтронных дифрактометров ЛНФ.

- автоматизирован учет тепловой энергии в ЛНФ.

5. Созданные автором разработки применялись в ОИЯИ, а также в научных центрах России: ИФП (Дубна), МГУ, НИКИЭТ (Москва) и стран-участниц: ИЯИ АН Украины (Киев), ИЯИЭ БАН (София), ЦИФИ (Будапешт).

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В РАБОТАХ:

1. Т.Грос, Д.Калавски, Д.Рубин, А.Б.Тулаев, А.В.Туманов. Многофункциональный интерфейс "МУЛЬТИ" персональных компьютеров IBM XT и AT. Сообщение ОИЯИ, P3-88-313, -Дубна, 1988. -10с.
2. Eszes G., Kalavszky D., Molnar J., Petervary J., Rubin Gy., Tulajev A.B., Tumanov A.V., Aramkori elrendezes meresteknikai, folyamattiranyitasi berendezes es

informacio feldolgozo egyseg gyors informacioserejenek megvalositasara. //Benyujtott szabadalom N 3106/88, -Budapest, 1988.06.17

3. Т.Грос, Д.Калавски, Д.Рубин, А.Б.Тулаев, А.В.Туманов. Многофункциональный интерфейс "МУЛЬТИ" персональных компьютеров IBM XT и AT. // XIII Международный симпозиум по ядерной электронике. ОИЯИ, П13-88-938, -Дубна, 1988, с.108.
4. В.А.Вагов, А.П.Сиротин, А.Б.Тулаев, А.В.Туманов Организация совместной работы ПЭВМ и аппаратуры в стандарте КАМАК с использованием крейт-контроллера КК106 и интерфейса МУЛЬТИ. Сообщение ОИЯИ, 13-89-132, - Дубна, 1989. -4с.
5. Rubin Gyorgy, Farkas Geza, A.B.Tulaev. MULTI-tobbfunkcios illesztogegseg IBM PC XT/AT szamitogepekhez. // Magyar Electrotechnika, VI/4, 1989. -1.9-13
6. В.Ф.Бобраков, А.Б.Тулаев. Модуль ввода-вывода аналоговой и цифровой информации для ПК типа IBM PC/XT/AT. Сообщение ОИЯИ, P10-89-751, -Дубна, 1989. -6с.
7. А.с. N 1797361 СССР МКИ G 01 T 1/16. Устройство для измерения отношения интенсивностей импульсных потоков. /А.Б.Тулаев (СССР). -4с.:ил.
8. А.Б.Тулаев. Автоматизированная система управления рентгеновским дифрактометром ДРОН-3М на базе ПК типа IBM PC/XT/AT. Препринт ОИЯИ, 10-89-841, -Дубна, 1989. -8с.
9. А.Б.Тулаев, Н.В.Хомутов. Использование печатающего устройства D-180 в составе ПК типа IBM PC/XT/AT. ОИЯИ, P10-90-133, -Дубна, 1989. -7с.
10. А.Б.Тулаев. Автоматизированная система управления рентгеновским дифрактометром ДРОН-3. // ПТЭ -1991, - N4, -с.244-246.
11. А.М.Балагуров, И.П.Барабаш, Г.Ф.Жиронкин, Н.Н.Дьен, В.Е.Новожиллов, А.И.Островной, К.Г.Родионов, А.П.Сиротин, В.Г.Тишин, А.Б.Тулаев. Измерительно-вычислительный модуль нейтронного дифрактометра ДН-2 на реакторе ИБР-2. Сообщение ОИЯИ, P10-91-155, -Дубна, 1991. -12с.
12. Bogdzel A.A., Ngyuen T.T, Tulaev A.B. A PC/AT-Based Multiparameter Nuclear Data Acquisition system. //Proceedings of Seventh symposium on microcomputer and microprocessor. April 1993, House of Technics, Budapest, Hungary. -Budapest, 1993. Vol.II, p.166.
13. В.Ф.Бобраков, Ю.Н.Пепельшев, А.Б.Тулаев, С.В.Чукляев. Высокоэффективная система измерения спектров температуры нейтронов для импульсных источников. // Международное совещание по программированию и математическим методам решения физических задач. ОИЯИ, P11-94-100, -Дубна, 1994. -с.140-142.
14. В.Ф.Бобраков, Ю.Н.Пепельшев, А.Б.Тулаев, С.В.Чукляев. Эффективная система измерения времяпролетного спектра тепловых нейтронов в импульсных источниках. // Атомная энергия, -1994, -том 76, -вып.6, -с.495-499.

15. А.М.Балагуров, А.А.Богдзель, Г.Ф.Жиронкин, В.В.Журавлев, В.Г.Муратов, В.Е.Новожилов, А.И.Островной, В.Е.Резаев, В.В.Сиколенко, А.П.Сиротин, А.Тиитта, А.С.Трофимова, А.Б.Тулаев. Система автоматизации экспериментов на Фурье-дифрактометре высокого разрешения. Сообщение ОИЯИ, P10-94-91, Дубна, 1994. -с.12.
16. А.Б.Тулаев. Универсальный микроконтроллер. Сообщение ОИЯИ, P10-94-379, -Дубна, 1994. -с.5.
17. Peryolyshev Yu.N., Chuklyayev S.V., Tulaev A.B., Bobrakov V.F. The Dynamic Method for Time-of-Flight Measurement of Thermal Neutron Spectra From Pulsed Sources. JINR, E3-94-455, Dubna, -1995. -p.10.
18. Yu.N. Peryolyshev, A.B.Tulaev. Experimental Study of Neutronic Performance of the IBR-2 Reactor Solid Methane Modertor.// Advanced Pulsed Neutron Sources PANS-II international seminar. Abstract. Dubna, June 1994. JINR, -Dubna, E3-94-128. -p29.
19. В.Ф.Бобраков, А.Б.Тулаев. Автоматизированная система анализа вибраций подвижного отражателя реактора ИБР-2. Сообщение ОИЯИ, P10-95-18, -Дубна, 1995. -с.6.

Рукопись поступила в издательский отдел
28 февраля 1995 года.