

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ И ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕАКТОРА БИГР

DESIGN PHILOSOPHY AND OPERATING EXPERIENCE OF AUTOMIZED SYSTEM AIMED AT MEASURING AND CONTROLLING PHYSICAL CHARACTERISTICS OF BIGR REACTOR

*Г. Н. Пикулина, М. А. Овчинников, М. Б. Романов, А. М. Пичугин, Д. В. Мамаев,
К. В. Кожевников*
*G. N. Pikulina, M. A. Ovchinnikov, M. B. Romanov, A. M. Pichugin, D. V. Mamaev,
K. V. Kozhevnikov*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», Саров Нижегородской обл.
Russian Federal Nuclear Center – All-Russian Research Institute of Experimental Physics

В ИЯРФ разработана автоматизированная система измерения физических характеристик (АСИФХ) ядерного реактора БИГР (быстрый импульсный графитовый реактор), предназначенная для управления реактором и контроля его параметров. В состав АСИФХ–БИГР входят четыре подсистемы, которые контролируют параметры работы реактора и передают управляющие сигналы в СУЗ:

- подсистема регистрации формы импульса реактора и контроля его параметров;*
- подсистема измерения и контроля мощности реактора в статическом и квазиимпульсном режимах;*
- подсистема регистрации времен срабатывания сигналов аварийной защиты и контактных датчиков;*
- подсистема измерения и контроля температуры материала активной зоны реактора.*

Для управления АСИФХ–БИГР используется персональный компьютер, предназначенный для функционирования управляющего программного обеспечения (ПО) и хранения зарегистрированных данных. При построении АСИФХ–БИГР решалась задача создания комплексного средства измерения и управления реактором, в котором управляющее ПО определяет качество и надежность автоматизированной системы в целом и является средством для интерактивного влияния пользователя на работу ее аппаратной части. Эксплуатация АСИФХ на действующей установке БИГР доказала надежность реализованных подходов и принципов.

The personnel of the National Research Institute of Experimental Physics has developed a computerized control system aimed at measuring and controlling BIGR reactor (self-extinguishing pulse fast-neutron reactor) physical characteristics. The control system contains four subsystems to monitor the BIGR physical parameters and generate signals for the reactor control system. They are as follows:

- a subsystem for reactor pulse shape registration;*
- a subsystem for reactor power control in static and quasi-pulse modes;*
- a subsystem for response time registration of emergency protection system and pull-up time of contacts;*
- a subsystem for temperature control of reactor core.*

A personal computer is used as a console of the control system. The control software is set there. The data results are stored. The control system is developed as a measuring complex where software is used as an interactive control tool for hardware. The control software determines the possibilities and safety of the system as a whole. The experience of the computerized system use for the BIGR reactor control shows safety of the implemented approaches and modes.

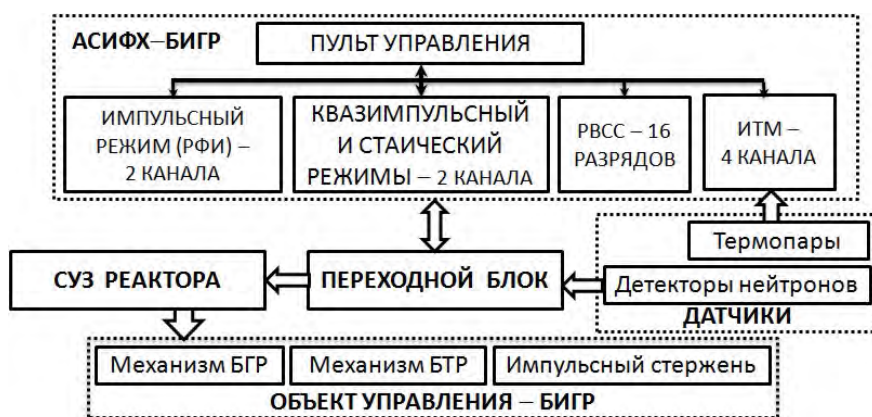
В ИЯРФ функционирует реактор БИГР, относящийся к классу аperiodических исследовательских импульсных реакторов. По флюенсу нейтронов и дозе γ -излучения за импульс БИГР в 10 раз превосходит другие лучшие отечественные и зарубежные быстрые импульсные реакторы [1]. Эффективность эксплуатации реактора определяется как его физическими характеристиками, так и возможностями используемых средств регистрации, к которым относится разработанная сотрудниками ИЯРФ автоматизированная система АСИФХ–БИГР. Внедрение АСИФХ–БИГР по-

зволило расширить функциональность системы управления и защиты (СУЗ) реактора и повысить надёжность и информативность (за счёт расширения диапазона измерения величин по времени и амплитуде) регистрации основных параметров реактора БИГР.

АСИФХ–БИГР используется в импульсном, статическом и квазиимпульсном режимах работы реактора. В её состав входят четыре подсистемы:

- подсистема регистрации формы импульса РФИ, используемая в импульсном режиме работы реактора (два независимых измерительных канала);
- подсистема, используемая в квазиимпульсном и статическом режимах работы реактора (два независимых измерительных канала);
- подсистема регистрации времен срабатывания сигналов защиты и контактных датчиков РВСС (16 дискретных сигналов);
- подсистема измерения температуры материала (ИТМ) активной зоны (АЗ) реактора (четыре независимых канала).

Структурная схема АСИФХ–БИГР и объекта управления приведена ниже.



Структурная схема установки

Подсистема РФИ предназначена для регистрации формы импульса реактора на мгновенных нейтронах. Обработка полученной информации и расчет параметров импульса производятся автоматически. Вывод зарегистрированного импульса и информации о параметрах импульса (максимальная мощность зарегистрированного импульса; ширина импульса на полувысоте; полное энерговыделение; энерговыделение в быстрой части; период разгона реактора) осуществляется в графическом и текстовом видах на экран пульта управления по окончании процесса регистрации. Все полученные данные сохраняются в текстовом файле.

Каждый независимый канал подсистемы РФИ содержит следующие электронные модули:

- широкодиапазонный аналого-цифровой регистратор ШАР имеет динамический диапазон – 10^5 ; частоту дискретизации – от 1 до 65 МГц; полоса – от 0,5 до 30 МГц; относительную погрешность – $\pm 0,5\%$ [2];
- регистр выходной релейный РВР содержит 6 релейных выходов для подключения блоков детектирования на основе ВКД.

Подсистема АСИФХ для обслуживания БИГР в квазиимпульсном и статическом режимах обеспечивает регистрацию зависимости мощности реактора от времени его работы при изменении мощности в пределах не менее пяти порядков, рассчитывает суммарное энерговыделение реактора. При работе в квазиимпульсном режиме АСИФХ выполняет следующие функции: формирует сигналы в СУЗ БИГР для сброса органов регулирования реактивности (ОРР) при достижении установленных пределов для энерговыделения и мощности реактора и управляет перемещением ОРР в процессе развития квазиимпульса для формирования заданного профиля мощности реактора.

Каждый независимый канал подсистемы АСИФХ для работы в квазиимпульсном и статическом режимах содержит следующие электронные модули:

- преобразователь ток–частота ПТЧ для подключения детектора нейтронов на основе ионизационной камеры КНК57 (диапазон токов – от 10^{-9} до 10^{-4} А; крутизна измерений – 100 Гц/нА; точность – не хуже 1 %);

- регистр выходной релейный РВР1 для формирования сигналов управления для ОРР реактора;
- два модуля счетного канала интенсиметра СКИН (частота входных сигналов – от 0 до 10^5 имп/с; время экспозиции – от 10 мс до 10 с; предельное число отсчетов – от 100 до $6,5 \cdot 10^6$ с шагом 100 импульсов);
- широкодиапазонный аналого-цифровой регистратор ШАР (динамический диапазон – 10^5 ; частота дискретизации – от 1 до 65 МГц; полоса – от 0,5 до 30 МГц; относительная погрешность – $\pm 0,5$ %).

Обработка информации, полученной в квазиимпульсном и статическом режимах БИГР, производится автоматически. Электрический ток, поступающий от детекторов нейтронов, преобразуется в частоту следования импульсов, которые регистрируются модулями счетного канала СКИН за установленный оператором период измерения (от 30 мс до 10 с). Далее ведется суммирование зарегистрированных импульсов и перерасчет их в мощность реактора и суммарное энерговыделение. Все полученные данные сохраняются в текстовом файле.

Подсистема РВСС предназначена для измерения временных интервалов от момента сигнала пуска (за запускающий сигнал может быть принят любой сигнал аварийной защиты или контактных датчиков СУЗ) до момента прихода остальных сигналов, поступающих на вход РВСС от СУЗ. Диапазон регистрируемых времен – от 10^{-6} до 4000 с. По окончании регистрации записанная информация выводится в цифровом виде на экран компьютера и сохраняется в текстовом файле.

Аппаратная часть подсистемы РВСС содержит следующие электронные модули:

- блок оптоэлектронных развязок БОР (количество каналов – 17; развязка – 1000 В постоянного тока);
- контроллер времен срабатывания КВС (измерение временных интервалов – от 10^{-6} до 4000 с; количество каналов – 17).

Подсистема ИТМ служит для измерения температуры материала активной зоны реактора при помощи четырех термопар (четыре канала измерения). Каждый канал подсистемы вырабатывает аппаратный сигнал в СУЗ реактора на сброс ОРР при превышении установленного предела температуры АЗ реактора. Измерение и отображение температуры обеспечиваются в диапазоне от 10 °С до 500 °С (максимальная регистрируемая температура в ИТМ – 1000 °С) и осуществляются постоянно в ходе работы АСИФХ–БИГР. Зарегистрированные данные от четырех термопар сохраняются в текстовом файле. Подсистема ИТМ оснащена средствами проверки выработки сигнала на аварийный сброс при превышении максимально допустимой температуры активной зоны реактора. Аппаратная часть подсистемы ИТМ АЗ построена на основе блока измерения температуры БИТ, который содержит следующие устройства:

- четыре модуля аналогового ввода I-7011 для измерения температуры;
- модуль дискретного ввода-вывода I-7060, обеспечивающий имитацию сигнала для проверки аварийного сброса;
- блок питания типа DR-75-24 (напряжение питания – +24 В).

В качестве пульта управления АСИФХ–БИГР используется персональный компьютер. Для реализации функциональных возможностей оборудования АСИФХ–БИГР было разработано управляющее ПО. Задача по созданию ПО для АСИФХ–БИГР решалась с точки зрения создания комплексного средства регистрации параметров и управления реактором, которое определяет качество и надежность автоматизированной системы в целом. В общей структуре АСИФХ ПО является наиболее гибкой ее компонентой, обеспечивающей функционирование, диагностику и тестирование аппаратной части системы во всех режимах работы, развитый пользовательский интерфейс, обработку и хранения результатов измерения. ПО – это оболочка аппаратной части системы, которая расширяет ее возможности и с которой непосредственно взаимодействует пользователь [3].

Программно-аппаратный комплекс АСИФХ–БИГР работает в масштабе времени, максимально приближенном к реальному, и выполняет следующие процессы:

- прием данных от внешних источников – аппаратной части подсистем АСИФХ–БИГР и средств взаимодействия с пользователем;
- обработку и анализ поступающей в систему информации с формированием промежуточных данных, принятие соответствующих решений;
- передачу данных и управляющих сигналов внешним потребителям – средствам отображения информации, во внешние файлы, исполнительным механизмам.

В работе АСИФХ–БИГР существенную роль играет время генерации выходного управляющего сигнала. Это связано с тем, что входной сигнал соответствует изменениям в физическом процессе работы реактора, и выходной сигнал должен быть связан с этими же изменениями. Временная задержка от получения входного сигнала до выдачи выходного сигнала должна быть минимальна, чтобы обеспечить приемлемое время реакции системы, то есть работу в режиме, приближенном к реальному времени. Для решения этой проблемы использовались возможности многопоточного режима в MS Windows.

Опрос аппаратных модулей АСИФХ–БИГР реализован в виде изолированных параллельных потоков, имеющих наивысший приоритет. В этих потоках постоянно проверяется время с момента последнего опроса и, в случае необходимости, производятся чтение данных и вырабатываются управляющие сигналы. Считанная информация записывается в общие для всех потоков структуры данных. Все остальные операции с полученными данными (сохранение, обработка, отображение) производятся в другом низкоприоритетном потоке программы. Такой способ взаимодействия снижает взаимное влияние потоков до минимума [4].

Программное обеспечение АСИФХ–БИГР включает системное и управляющее ПО.

В состав системного ПО входят следующие компоненты:

- операционная система MS Windows XP/2003 и выше (32-разрядная версия);
- драйвер GIVEIO.SYS, используемый для непосредственной адресации к памяти в 32-разрядных операционных системах MS Windows.

Управляющее программное обеспечение состоит из следующих компонентов:

– COM-объект SmartComm предназначен для обмена данными через последовательный COM-порт;

– исполняемый модуль ASIFX_BIGR.EXE – основная программа для АСИФХ–БИГР предназначена для управления всеми подсистемами, входящими в состав автоматизированной системы; для регистрации, расчета и хранения основных физических параметров реактора; для сохранения и обработки экспериментальных и расчетных данных.

Основная управляющая программа написана с использованием среды программирования DELPHI-2006 [5]. Она построена по модульному принципу, что позволяет оперативно производить модернизацию АСИФХ и учитывать требования и пожелания пользователей в будущем. Программа обладает дружественным пользовательским интерфейсом. Интерфейс управляющего ПО не требует специальной подготовки обслуживающего персонала, но предполагает наличие навыков работы в операционной системе MS Windows.

ПО АСИФХ–БИГР выполняет следующие функции:

- тестирование аппаратной части системы и постоянный контроль ее работоспособности;
- программирование режимов работы отдельных аппаратных модулей системы;
- регистрация формы импульса реактора на мгновенных нейтронах;
- регистрация формы зависимости мощности в квазиимпульсном и статическом режимах работы реактора;
- регистрация временных интервалов от сигнала пуска системы до сигналов, поступающих от контактных датчиков и других сигналов системы управления и защиты (СУЗ) реактора;
- измерение температуры материала активной зоны реактора;
- расчет параметров работы реактора в импульсном, квазиимпульсном и статическом режимах;
- отображение результатов измерений на экране, их математическая обработка, сохранение информации во внешних файлах;
- формирование управляющих сигналов на уменьшение реактивности реактора и дополнительных управляющих сигналов и выдача их в СУЗ.

Для обеспечения надежности эксплуатации реактора БИГР АСИФХ генерирует сигналы на сброс органов управления при превышении пороговых значений температуры АЗ и мощности реактора и передает их в СУЗ автономно на двух уровнях управления: на низком – аппаратном и на верхнем – программном.

Использование АСИФХ на реакторе БИГР показала, что система стабильно и надежно регистрирует основные физические параметры реактора при работе во всех режимах. Практическая ценность разработки состоит в обеспечении достоверного контроля основных физических параметров реактора, что является необходимым условием его безопасной и эффективной эксплуатации.

В процессе эксплуатации АСИФХ производились необходимые доработки как на аппаратном, так и на программном уровнях, в которых учитывались особенности, выявленные при работе с системой, и пожелания пользователей. В итоге АСИФХ была дополнена следующими функциями:

– на уровне управляющего ПО разделено обслуживание реактора в квазиимпульсном и статическом режимах. Для статического режима введен дополнительный сервис – возможность задавать общее время работы и автоматическое отключение по его окончанию;

– для увеличения точности регистрации квазиимпульса в аппаратную часть АСИФХ введены модули широкодиапазонного регистратора ШАР, которые регистрируют токовые сигналы от блоков детектирования, в соответствии с новой конфигурацией доработано управляющее ПО;

– для дублирования сигнала сброса органов регулирования при достижении энергоснабжением программного порогового значения на нижнем уровне АСИФХ введен дополнительный модуль счетного канала СКИН, в соответствии с новой конфигурацией доработано управляющее ПО.

Данные модификации расширили функциональные возможности АСИФХ и повысили уровень безопасности при эксплуатации БИГР.

Авторы выражают благодарность специалистам и сотрудникам ВНИИЭФ, принимавшим участие в разработке и тестировании АСИФХ–БИГР.

Список литературы

1. Кувшинов М. И., Колесов В. Ф., Смирнов И. Г. // ВАНТ Сер. Импульсные реакторы и простые критические сборки 1988. вып. 1. С. 3.
2. Овчинников М. А., Майорников В. С., Романов М. Б. Патент № 2400 РФ 762. Устройство для регистрации формы однократных быстропротекающих процессов. Заявлено 28.09.2009. Опубликовано 27.02.2010. Бюл. № 27.
3. Константайн Л., Локвуд Л. Разработка программного обеспечения. СПб.: Питер, 2004. С. 592.
4. Курякин А. В. Автоматизация физических экспериментов на тритиевых комплексах исследовательских установок «ТРИТОН», «АКУЛИНА» и «ПРОМЕТЕЙ». Дис. канд. физ.-мат. наук. ОИЯИ, Дубна. 2010.
5. Архангельский А. Я. Delphi 2006. Справочное пособие: Язык Delphi, класс, функции Win32 и NET. М: ООО «Бином-пресс», 2006. С. 1152.