

УДК 621.039.564.2; 681.5.08

DOI 10.53403/9785951505170_2021_26_2_28

Аппаратно-программные комплексы регистрации нейтронно-физических параметров исследовательских ядерных установок

Г. Н. Пикулина, М. А. Овчинников,
А. С. Кошелев, В. А. Юхневич,
Ю. М. Дроздов, И. М. Пискорский

Рассмотрены подходы к проектированию измерительных комплексов как совокупности программных и технических средств с использованием наработанных в РФЯЦ-ВНИИЭФ методик регистрации нейтронно-физических параметров исследовательских ядерных установок (ИЯУ) на примере последних разработок: специализированного многофункционального измерительного комплекса (СМИК) и частного варианта реализации СМИК – СМИК-МЭР (МЭР – мощность, энерговыделение, реактивность). Разработанные системы функционируют автономно или встраиваются в другие автоматизированные системы.

Введение

В РФЯЦ-ВНИИЭФ разработаны два измерительных комплекса нейтронно-физических параметров ядерных установок – СМИК и СМИК-МЭР. Рассмотрим основные принципы их построения на примере унифицированного варианта СМИК.

СМИК регистрирует первичные показания детекторов нейтронного и γ -излучений, фиксируя силу тока или скорость счета импульсов. Одновременно комплекс обрабатывает зарегистрированные значения и рассчитывает физические характеристики ионизирующего излучения, т. е. проводит косвенные измерения [1]. Отображение последних облегчает сбор данных, позволяет комплексно оценить физические процессы и избавляет от трудоемкой рутинной обработки первичных показаний.

При разработке структуры измерительного комплекса учитывался принцип физического разнообразия [2]. Была заложена возможность одновременной регистрации параметров излучения с помощью детекторов с разными физическими принципами получения сигнала и разной спектральной чувствительностью. На данном этапе наше оборудование позволяет использовать сле-

дующие типы детекторов: ионизационные камеры типа КГК-2, КНК-15, КНК-53М и КНК-4, вакуумированные детекторы типа ВЭД-2, откачанная камера деления КНК-15-1, счетчики детекторов нейтронов типа СНМ и камеры деления КНК-2-7М и КНК-2-8М, работающие в счетном режиме. Имеется возможность по расширению номенклатуры применяемых детекторов.

При разработке СМИК решалась задача создания гибкой системы с возможностью модернизации аппаратной части (доработки используемых блоков, их замены, введения новых типов детекторов) и оптимизации алгоритмической и математической обработки измеряемых параметров.

Комплекс организован по каналному принципу. В конфигурации заложена ниточная структура построения каналов, при которой каждый измерительный канал функционально независим [3]. Обрабатываемые сигналы измерительных трактов гальванически разделены. Измерительные каналы построены по модульному принципу с единым центром обработки зарегистрированных сигналов [4]. СМИК представляет собой трехуровневую систему сбора и обработки данных, где 1-й уровень – устройства формирования измерительного сигнала (детекторы), 2-й уровень – устройства сбора и обработки данных (измерители силы тока и скорости счета импульсов), 3-й (верхний) уровень – устройство накопления и обработки данных (компьютер). В состав комплекса входят токовые и счетные измерительные каналы (их количество обусловлено решаемыми задачами), переносной персональный компьютер со специальным управляющим программным обеспечением (возможно использование стационарного компьютера исследовательского реактора), преобразователь интерфейсов USB-RS-485 (для варианта с переносным компьютером), соединительные кабели (для интерфейса RS-485), линии связи с подвесками детекторов (рис. 1).

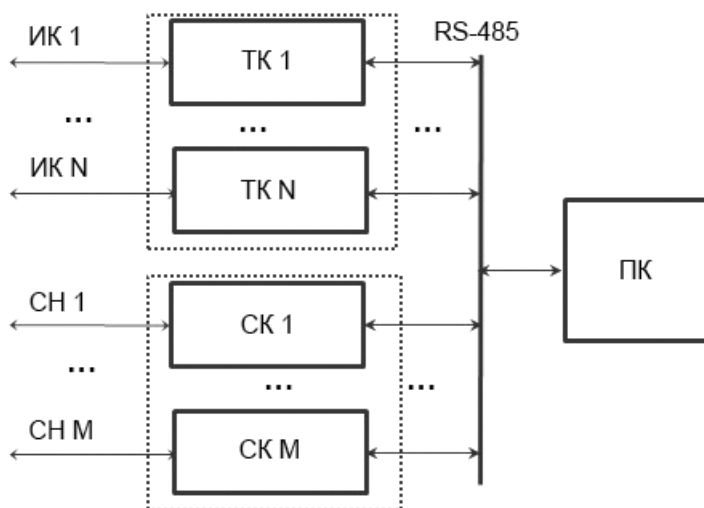


Рис. 1. Структурная схема СМИК: ИК 1–ИК N – ионизационные камеры, ТК 1–ТК N – токовые каналы, СН 1–СН N – счетчики нейтронов, СК 1–СК N – счетные каналы, RS-485 – интерфейс связи; ПК – персональный компьютер

Детекторы нейтронного и γ -излучений размещаются возле исследуемого объекта. Сигналы с детекторов передаются на измерительные модули, находящиеся за биологической защитой (~70 м), и оцифровываются. Полученные значения силы тока или скорости счета считываются через интерфейс связи RS-485 и обрабатываются на компьютере. Все модули измерительного комплекса разработаны и изготовлены в РФЯЦ-ВНИИЭФ.

Каждый токовый канал может состоять из одного или двух измерительных модулей и одного функционального модуля высоковольтного питания токового детектора. Два токовых модуля применяются при раздельной регистрации секционных токов от двухсекционной камеры в схеме однополярного питания по общему для секций электроду [5].

В качестве токовых используются измерительные модули токового канала (ИМТК) с диапазоном измерения силы тока 10^{-11} – $2,5 \cdot 10^{-3}$ А и измерительные модули токового канала логарифмические (ИМТК-Л) с диапазоном измерения силы тока $5 \cdot 10^{-11}$ – $2,5 \cdot 10^{-3}$ А. Последний является безынерционным и выдает значения кода измеренной силы тока в масштабе десятичного логарифма. Погрешность измерения тока в диапазоне 10^{-1} – 10^{-8} А не более 5 %, 10^{-8} – $2,5 \cdot 10^{-3}$ – не более 3 %. Высокое напряжение питания камеры в токовом канале обеспечивает модуль высоковольтного преобразователя напряжения ВПН-500 в пределах 100–500 В и –500––100 В (выходной ток не более 5 мА, нестабильность выходного напряжения за 8 ч не более 1 %).

В счетном канале используется измерительный модуль счетчика нейтронов (ИМСН) с диапазоном измерения скорости счета до $1 \cdot 10^5$ имп/с при погрешности измерения скорости счета в диапазоне 100– $1 \cdot 10^5$ имп/с не более 3 %, до 100 имп/с погрешность не нормируется. Для питания счетчиков нейтронов используется модуль ВПН, который, кроме платы ВПН500, содержит дополнительное устройство ВПН2000, обеспечивающее высоковольтное напряжение – от 500 до 2000 В.

Управляющее программное обеспечение обслуживает аппаратную часть комплекса, реализуя его функциональное назначение, и:

- задает конфигурацию комплекса: число и тип измерительных каналов (модулей);
- обеспечивает связь между компьютером и модулями, контролирует работоспособность аппаратуры;
- опрашивает измерительные модули с заданным периодом – регистрирует отклики детекторов;
- обрабатывает измеренные первичные данные;
- архивирует зарегистрированные и расчетные данные в текстовых файлах;
- отображает измеренные и расчетные значения в цифровом и графическом виде на экране монитора.

При разработке структуры программы был использован принцип декомпозиции – разбиение программы на программные модули, в основу которого была положена функциональная и аппаратная структура комплекса. В итоге программное обеспечение рассматривается как совокупность взаимосвязанных программных блоков с иерархическим внутренним строением [6].

Внутренние данные управляющей программы организованы с использованием принципа объектно-ориентированного программирования, основой которого являются объекты с заданными характеристиками (свойствами, атрибутами) и моделью поведения (методами, реакцией на события) [7].

Программа управления состоит из двух параллельно выполняющихся потоков: основного потока, осуществляющего взаимодействие с пользователем, представление и архивацию зарегистрированных данных и имеющего обычный приоритет, и потока, опрашивающего измерительные модули и имеющего наивысший приоритет. Такой способ взаимодействия снижает взаимное влияние потоков до минимума.

Программа управления измерительным комплексом работает по следующему алгоритму. При входе в программу загружается текущая конфигурация. При необходимости редактируются используемые измерительные каналы и уточняются параметры связи, расчетные коэффициенты, установки для представления результатов измерений. С началом опроса измерительных модулей

активируется высокоприоритетный поток, данные которого обрабатываются в основном потоке программы: вычисляются дополнительные физические характеристики, первичные и расчетные параметры выводятся на экран в текстовом и графическом виде и сохраняются во внешних файлах. Завершение опроса и выход из программы осуществляются по командам оператора, поступающим в основной поток программы.

Пользовательский интерфейс управляющей программы разработан как защищенный, согласованный и наглядный. Только через него могут редактироваться конфигурация, параметры и режимы работы комплекса [8]. Вводимые значения проверяются на вхождение в допустимый интервал. Интерфейс пользователя предназначен для работы специалистов, обслуживающих ядерные установки. От эффективности и надежности работы измерительных комплексов зависят результаты дорогостоящих экспериментов. Поэтому при разработке управляющей программы предъявлялись высокие требования к надежности и корректности работы измерительного комплекса.

СМИК предназначен для исследовательских и прикладных работ в области дозиметрии статистического (квазистатистического) нейтронного и γ -излучений в смешанных полях ядерных установок, а также исследовательских и методических работ в области создания и освоения каналов контроля мощности. Наряду с измерением и отображением первичных данных, полученных от детекторов, программа рассчитывает суммарную силу тока (заряд) и сумму импульсов, вычисляет период изменения силы тока и скорости счета от детекторов. В настоящее время комплекс обслуживает до шести токовых и до двух счетных каналов. При необходимости, количество измерительных каналов может быть увеличено.

В управляющей программе СМИК предусмотрены расчеты вторичных параметров: плотности потока нейтронов, мощности дозы γ -излучения, относительной физической мощности ядерной установки. Тип рассчитываемого вторичного параметра для каждого канала определяется экспериментатором в специальном диалоговом окне, где задаются название физической величины, ее размерность и коэффициент, используемый для расчета. Также в ходе измерений рассчитывается мгновенная реактивность как результат численного решения обратного уравнения кинетики реактора [9]. Файл результатов измерений формируется из отдельных строк, каждая из которых начинается временной меткой – временем измерения. Измеренные и расчетные значения записываются в отдельные столбцы для каждого канала.

СМИК-МЭР фиксирует относительную физическую мощность, суммарное энерговыделение, реактивность ядерной установки с использованием в качестве детектора двухсекционной камеры деления типа КНК-4. Раздельная регистрация токовых откликов нейтронной и фотонной секций в схеме однополярного питания по общему электроду камеры позволяет исключить влияние γ -составляющей реакторного излучения и отфильтровать отклики процессов, приводящие к появлению токового ложного выходного сигнала [5].

СМИК-МЭР содержит два токовых канала: первый измеряет силу тока $\gamma+n$ -составляющей камеры деления типа КНК-4, второй – γ -составляющей (рис. 2). Такое подключение детектора увеличивает достоверность регистрации нейтронно-физических параметров быстрого ядерного реактора, особенно на участке спада интенсивности реакторного излучения. Управляющая программа вычисляет ток нейтронной составляющей как разность двух токов, по которой далее рассчитываются относительная физическая мощность, энерговыделение, реактивность (рис. 3). Результаты отображаются на экране в цифровом виде, мощность – и в виде диаграммы.

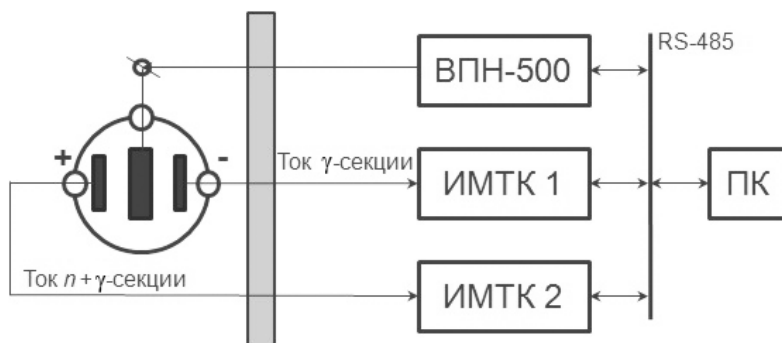


Рис. 2. Схема подключения аппаратуры СММК-МЭР

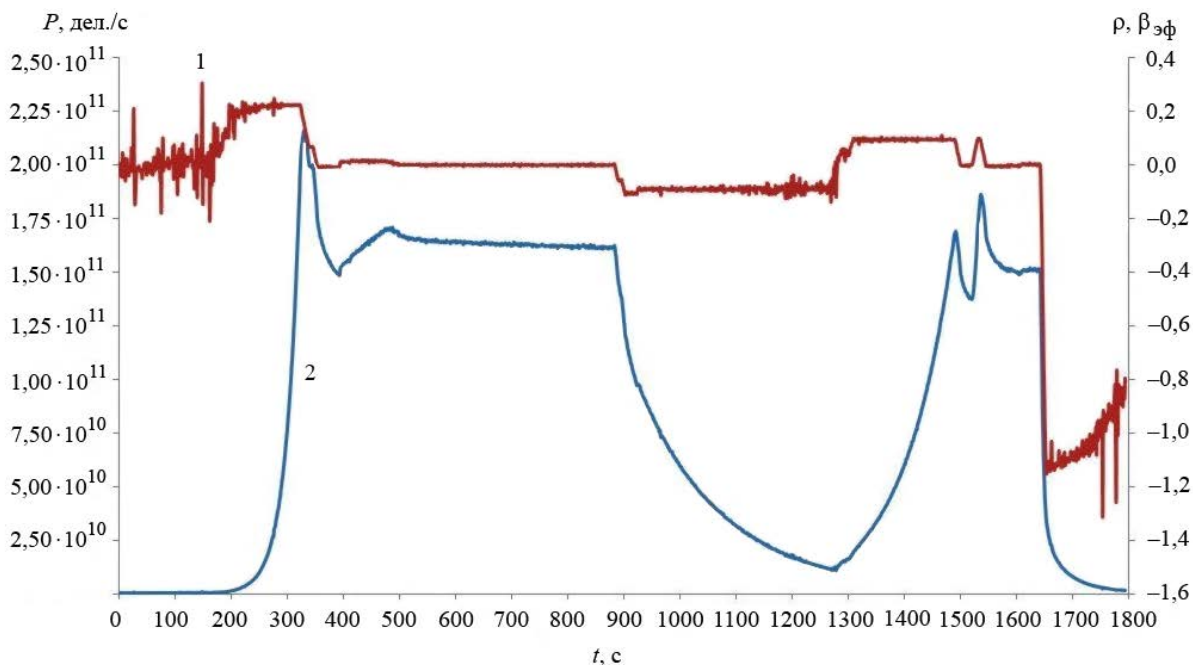


Рис. 3. Результаты регистрации физической мощности и реактивности при помощи СММК-МЭР: 1 – реактивность ρ , 2 – физическая мощность P

СММК и СММК-МЭР имеют следующие преимущества:

- настраиваемый пользовательский интерфейс, удобный оператору;
- разные возможности представления информации;
- возможность адаптации к условиям измерения;
- сохранение результатов измерений в виде, удобном для дальнейшей обработки;
- работа в круглосуточном режиме;
- отсутствие ограничений на размеры регистрируемых файлов;
- специальная расширяемая при необходимости математическая обработка;
- быстрый отклик на изменения условий в процессе измерений.

Представление измерительных систем в виде совокупности аппаратно-программных модулей, использование отлаженной библиотеки подпрограмм и визуальных компонентов, применение созданных во ВНИИЭФ средств и методик диагностики радиационных полей исследователь-

ских ядерных установок позволяют существенно упростить и ускорить разработку измерительных аппаратно-программных комплексов. Описанные средства и подходы сводят задачу проектирования комплексов к определению числа каналов регистрации, типа измеряемых физических характеристик и адаптации управляющей программы для решения поставленной задачи.

Список литературы

1. Гёлль П. Как превратить персональный компьютер в измерительный комплекс. М.: ДМК, 1999.
2. Алпеев А. С. Диверсные защиты. Разнообразие при проектировании аварийных защит атомных станций // Ядерная и радиационная безопасность. 2015. Т. 76, № 2. С. 1–4.
3. Варлашкин А. В., Печень Е. В. Опыт создания автоматизированного комплекса для измерения температурных зависимостей сопротивления и экранирующей способности сверхпроводников: Препринт ФИАН РАН. 1999, № 14.
4. Самосадный А. В. Набор блочно-модульных решений и методы решения задач построения систем сбора–обработки данных аппаратуры автоматизации физического эксперимента с одновременным количественным контролем параметров // Ядерные измерительно-информационные технологии. 2007. № 3. С. 73–89.
5. Кошелев А. С., Хоружий В. Х., Овчинников М. А., Пикулина Г. Н. Особенности формирования секционных токов промышленных ионизационных камер КНК-4, КНК-53М и КНК-15-1 в реакторном поле нейтронов и гамма-квантов // Ядерная физика и инжиниринг. 2013. Т. 4, № 11–12. С. 1009–1015.
6. Ульман Д., Хопкрофт Д., Ахо А. Структуры данных и алгоритмы. М.: Вильямс, 2000.
7. Йордон Э., Агрила К. Структурные модели в объектно-ориентированном анализе и проектировании. М.: Лори, 2007.
8. Раскин Дж. Интерфейс: новые направления в проектировании компьютерных систем. М.: Плюс, 2003.
9. Кошелев А. С., Арапов А. В., Овчинников М. А. Диагностические возможности специализированного ОРУК-реактиметра с токовым детектором нейтронов // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Физика ядерных реакторов. 2015. Вып. 4. С. 39–48.

Hardware-Software Systems to Register Neutron Physical Parameters of Research Nuclear Facilities

G. N. Pikulina, M. A. Ovchinnikov, A. S. Koshelev, V. A. Yukhnevich,
Yu. M. Drozdov, I. M. Piskorskij

There are considered the approaches for the development of measuring systems as a combination of hardware and software tools with the developed in VNIIEF methods of neutron physical parameters registration in research nuclear facilities. Specialized multifunctional measuring system (SMMS) and special version of SMMS – SMMS-PER (PER = Power + Energy + Reactivity) are described as examples. These systems can work independently and as a part of other automated systems.