

УДК 621.039.564.2; 53.08; 65.011.56; 004.415.2

Цифровая широко-диапазонная аппаратура измерения физической мощности импульсных ядерных реакторов

**В. С. Майорников, М. А. Овчинников,
Г. Н. Пикулина, С. М. Придчин,
Н. В. Распопов, М. Б. Романов,
С. В. Гунин, А. С. Черкасов,
М. А. Воинов, Ю. М. Дроздов**

В ИЯРФ РФЯЦ-ВНИИЭФ разработана специализированная аппаратура контроля нейтронного потока: приборы типа ШИПН и ТИПН, – предназначенная для измерения физической мощности импульсных ядерных реакторов, периода удвоения мощности, для формирования аварийных для СУЗ реакторов. Параметры ИЯР рассчитываются на основе измерения скорости счета статистически распределенных импульсов от счетчиков нейтронов типа СНМ-11 и измерения тока от нейтронных камер типа КНК15-1. Используя комбинацию токовых и импульсных трактов измерения, можно обеспечить измерение физической мощности ИЯР в диапазоне ~10 порядков. На базе приборов типа ШИПН и ТИПН создан аппаратный комплекс для измерения физической мощности ИЯР ГИР-2. Разработанная аппаратура может быть использована на других ИЯР.

В ИЯРФ РФЯЦ-ВНИИЭФ разработана специализированная аппаратура контроля нейтронного потока, предназначенная для измерения физической мощности импульсных ядерных реакторов, ее периода удвоения, а также для формирования необходимых сигналов в реальном масштабе времени для СУЗ ИЯР. Физическая мощность импульсного реактора и ее период удвоения рассчитываются на основе измерения скорости счета статистически распределенных импульсов от счетчиков нейтронов типа СНМ-11 и измерения тока от нейтронных камер типа КНК15-1. Разработанная аппаратура изначально предназначалась для импульсного реактора ГИР-2 [1], однако может быть использована на других ИЯР.

На базе разработанных приборов ШИПН (широкодиапазонный измеритель потока нейтронов) и приборов ТИПН (токовый измеритель потока нейтронов) создан аппаратный комплекс для измерения физической мощности импульсного реактора ГИР-2.

Структура приборов, входящих в состав аппаратного комплекса

Прибор ШИПН включает в свой состав следующие функциональные модули:

- Блок питания (БП).
- Высоковольтные преобразователи напряжения ВПН2000 и ВПН500.
- Измерительный модуль счетчика нейтронов (ИМСН).
- Измерительный модуль токовой камеры (ИМТК).
- Модуль обработки данных (МОД).

Внешний вид прибора ШИПН представлен на рис. 1.

Прибор ТИПН включает в свой состав следующие функциональные модули:

- БП.
- ВПН500.
- ИМТК.
- МОД.



Рис. 1. Прибор ШИПН

Измерительный модуль счетчика нейтронов

Импульсный тракт регистрации аппаратуры контроля нейтронного потока исследовательского ядерного реактора (ИЯР) строится на основе детектора нейтронов (счетчика нейтронов) типа СМН-11 и линейного малошумящего усилителя, выведенного из зоны радиационного поражения. При проектировании ИМСН были решены следующие задачи:

- обеспечено согласование входного сопротивления линейного усилителя с волновым сопротивлением линии связи для обеспечения передачи высокочастотных сигналов малой амплитуды до измерительной аппаратуры на расстояние около 50 м;
- разработан линейный малошумящий усилитель с коэффициентом усиления ~ 1000 , автоматической стабилизацией нуля смещения и полосой пропускания около 1 МГц;
- разработан линейный адаптивный дискриминатор импульсов с порогом отсечки гамма-импульсов.

Для расширения динамического диапазона импульсного тракта регистрации микропроцессор осуществляет коррекцию счетной характеристики с учетом времени восстановления ($t_m \sim 2,2 \cdot 10^{-6}$ с) по формуле

$$N_{\text{ист}}(t) = \frac{N_{\text{рег}}(t)}{1 - N_{\text{рег}} \cdot 2,2 \cdot 10^{-6}},$$

где $N_{\text{ист}}(t)$ – истинная скорость счета (имп/с); $N_{\text{рег}}(t)$ – регистрируемая скорость счета (имп/с).

Измерительный модуль токовой камеры

Невозможность обеспечить перекрытие всего диапазона измерения физической мощности ИЯР импульсным трактом регистрации с помощью счетчика нейтронов диктует необходимость создания дополнительного токового тракта измерения на основе ионизационной камеры деления. ИМТК разработан с учетом опыта измерения малых токов [2] во ВНИИЭФ.

ИМТК под управлением программы производит вычисления периода удвоения значения тока и передает измеренные данные входного тока и периода удвоения со статусной информацией по запросу внешнего устройства на линию интерфейса RS-485.

Основные технические характеристики ИМТК:

- измеряет ток нейтронных детекторов в диапазоне от 10^{-11} до $2,5 \cdot 10^{-3}$ А;
- частота дискретизации входного сигнала – не менее 10 Гц;
- диапазон вычисления периода удвоения (ПУ) значения тока – от 5 до 500 с;
- ИМТК имеет функцию самотестирования – проверку работоспособности на всех поддиапазонах измерения с помощью встроенного цифроаналогового преобразователя (ЦАП).

Высоковольтный преобразователь напряжения

Для приборов ШИПН и ТИПН был разработан высоковольтный преобразователь напряжения (ВПН), обеспечивающий питанием токовых ионизационных нейтронных камер деления типа КНК15-1 с выходными напряжениями до ± 500 В и газоразрядных счетчиков нейтронов типа СНМ-11 с выходным напряжением до 2000 В.

Основные технические характеристики ВПН:

- временной дрейф выходных напряжений после установления рабочего режима $\pm 0,08$ % за 8 ч;
- основная приведенная погрешность установки напряжения ± 1 %;
- имеется защита от короткого замыкания нагрузки;
- ток нагрузки – от 0 до 1 мА при выходном напряжении от 0 до 2000 В;
- ток нагрузки – от 0 до 6 мА при выходном напряжении от 0 до ± 500 В;
- пульсации выходного напряжения при максимальных выходном напряжении и токе нагрузки – 30 мВ (от пика до пика).

Модуль обработки данных

МОД предназначен для координации работы функциональных модулей, входящих в состав прибора. МОД обеспечивает задание требуемых режимов работы и параметров, прием данных от функциональных модулей, обработку и визуализацию этих данных, а также взаимодействие прибора с внешними устройствами, контролирует работоспособность каждого функционального модуля, входящего в состав прибора, формирует соответствующие диагностические сообщения.

МОД принимает и обрабатывает данные от ИМТК и ИМСН, выполняет сшивку данных в поддиапазонах пересечения (одновременного измерения сигналов от токовой камеры и от счетчика нейтронов), выполняет расчет и индикацию значений физической мощности ИЯР и ее периода удвоения.

МОД формирует следующие электрические сигналы: сигнал аварийной защиты (АЗ), сигнал предупредительной защиты (ПС), сигнал «нерабочее состояние» (НС) при обнаружении неисправности прибора. МОД генерирует звуковые сигналы по типу «щелкун», поступающие на усилитель звуковых сигналов (УЗС).

Все измерительные модули и источник высоковольтного питания прошли испытания с целью утверждения типа, внесены в государственный реестр средств измерений и допущены к применению в РФ (Св-ва об утверждении типа средств измерений: на измерительный модуль токовой камеры № 39607 RU.E.38.046.A, на высоковольтный преобразователь напряжения № 39606 RU.E.38.046.A, на измерительный модуль счетчика нейтронов № 39605 RU.E.38.046.A).

Структура аппаратного комплекса

Для реактора ГИР-2 реализована следующая схема аппаратного комплекса, которая включает в свой состав два независимых измерительных канала, центральный управляющий компьютер и устройство звуковой сигнализации. Каждый измерительный канал имеет три автономных прибора: прибор типа ШИПН и два прибора типа ТИПН.

Компьютер со специально разработанным управляющим программным обеспечением (ПО) предназначен для отображения текущих значений физической мощности ИЯР и ее периода удвоения, текущего поддиапазона измерения мощности, дистанционного формирования сигналов переключения поддиапазонов, задания параметров и режимов работы измерительных каналов при установке системы на место применения. Компьютер с управляющим ПО используется в качестве интегрированного пульта управления системы измерения физической мощности ИЯР, структура которой представлена на рис. 2.

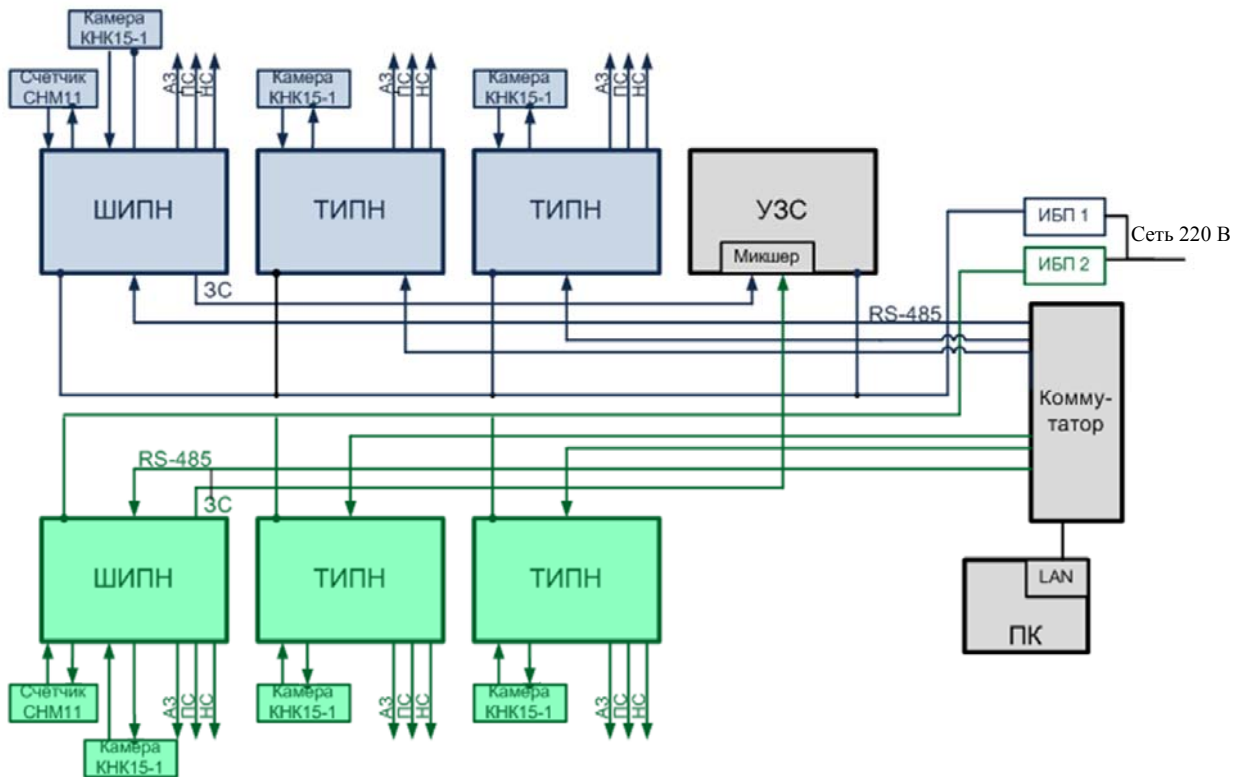


Рис. 2. Структура системы измерения физической мощности ИЯР

Устройство звуковой сигнализации предназначено для микширования и усиления уведомляющих, предупредительных и аварийных звуковых сигналов, которые поступают от приборов ШИПН и ТИПН.

Каждый независимый измерительный канал выполняет следующие функции:

- обеспечивает автоматическое измерение физической мощности ИЯР во всем диапазоне. При этом достижение измеряемого значения мощности величины 50 % от максимального значе-

ния рабочего поддиапазона уставки декады сопровождается выдачей светового сигнала, разрешающего переход на более высокий поддиапазон. Достижение измеряемого значения физической мощности величины 75 % от максимального значения рабочего поддиапазона сопровождается выдачей светового и ПС. Достижение измеряемого значения мощности величины 95 % от максимального значения рабочего поддиапазона сопровождается выдачей сигнала АЗ;

- обеспечивает автоматическое измерение периода удвоения физической мощности ИЯР, генерирует предупредительный звуковой сигнал, а также формирует релейный сигнал типа «сухой контакт» для управления по цепи предупредительной сигнализации ПС при достижении заданного значения периода удвоения мощности;

- обеспечивает генерирование звукового сигнала, а также формирование электрического релейного сигнала типа «сухой контакт» для управления по цепи АЗ при достижении заданного значения периода удвоения мощности ИЯР;

- выдает сигналы ПС и АЗ по достижению верхних уставок по физической мощности ИЯР;

- отображает измеренные значения физической мощности ИЯР и ее периода удвоения в цифровом виде;

- выдает предупредительные (световые и звуковые) сигналы о достижении пороговых значений мощности и периода удвоения;

- выдает звуковые сигналы, соответствующие уровню физической мощности ИЯР (по типу «щелкун»), выдача сигнала «щелкун» на УЗС может быть разрешена одному или нескольким из шести приборов системы.

Все приборы измерительного канала содержат встроенные средства проверки его работоспособности и источников питания и автоматически выдают аварийный сигнал и сигнал «НС» при наличии неисправности.

Разработка программного обеспечения для аппаратного комплекса

При разработке структуры ПО решалась задача создать гибкую систему, предусматривающую возможность функциональной модернизации как при изменении в аппаратной части (наращивание числа или изменение состава приборов ИМТК и ИМСН в системе), так и при необходимости оптимизации или введения новых возможностей в алгоритмическую и математическую обработку измеряемых значений.

В программный комплекс системы входят следующие программы:

- тестовая программа для приборов ШИПН и ТИПН;

- регистрирующая и управляющая программа для измерения ФМ ИЯР;

- программа отображения и математической обработки результатов измерений.

ПО для системы измерения физической мощности ИЯР выполняет следующие функции:

- задание конфигурации измерительного канала, обеспечение возможности изменять число используемых модулей;

- установление связи между персональным компьютером и модулями, входящими в состав системы, тестирование их работоспособности;

- прием данных и сохранение зарегистрированной информации в файлах на жестком диске компьютера;

- отображение на экране компьютера измеренных значений тока, скорости счета, физической мощности и вычисленного периода удвоения;

- просмотр зарегистрированных значений и дополнительная математическая обработка информации;

– управление релейными коммутаторами для выдачи необходимых сигналов в СУЗ ИЯР.

Все программы строятся по принципам объектно-ориентированного программирования. Они имеют общую структуру внутренних и внешних данных. При их написании использовались общие модули и подпрограммы.

Список литературы

1. Воинов М. А., Кувшинов М. И., Колесов В. Ф. и др. Импульсный реактор ГИР-2 для модернизированного облучательного комплекса ЛИУ-10М – ГИР-2 // ВАНТ. Сер. Физика ядерных реакторов. 1991. Вып. 1. С. 3–7.
2. Виноградов Ю. И., Вьюшин А. Н., Овчинников М. А. и др. Измерение объемной активности в задачах радиометрии и радиохроматографии // Взаимодействие изотопов водорода с конструкционными материалами (ISISH-04): Сборник докладов Второго Международного семинара 12–17 апреля 2004 г., Саров, 2005. С. 468-471.

Digital Wide-Range Hardware for Physical Power Measurement of Nuclear Reactors

V. S. Majornikov, M. A. Ovchinnikov, G. N. Pikulina, S. M. Pridchin,
N. V. Raspopov, M. B. Romanov, S. V. Gunin, A. S. Cherkasov, M. A. Voinov,
Yu. M. Drozdov

A special hardware to control a neutron flux has been developed in the Institute of Nuclear Radiation Physics, RFNC-VNIIEF. This hardware includes the devices of SHIPN type and of TIPN type. It could be used for physical power measurements of pulse nuclear reactors, for doubling period measurements of physical power value and for generating of control signals for the reactor control and protection system. Physical power of pulse nuclear reactor and its doubling period are calculated on the base of a count speed of statistically distributed pulses of CNM-11 neutron counts and current measurements of KNK-15 neutron chambers. The use of a combination of current and count channels provides the physical power measurements in the range of ten orders. On the base of the devices of SHIPN and TIPN types there was developed an automated system to measure physical power of the GIR-2 nuclear reactor. This system could also be used for other pulse nuclear reactors.