

## СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА КГО РЕАКТОРА БН-600

**В.Ф. Росляков, Е.С. Лисицын, С.А. Гурьев, Н.А.Зобнин**  
*Белоярская АЭС, г. Заречный*



В статье представлена существующая спектрометрическая система КГО, предназначенная для регистрации и измерения активности продуктов деления в газовой полости реактора и модернизированная система КГО, в основе которой заложены современная измерительная аппаратура и программное обеспечение.

### ВВЕДЕНИЕ

Спектрометрическая система КГО реактора БН-600 предназначена для регистрации и измерения активности продуктов деления в газовой подушке реактора и в натрии первого контура.

Контроль защитного газа реактора осуществляется:

- на спектрометрическом участке газовой петли КГО (измерения циркулирующего по петле газа выполняются непрерывно);
- методом отбора проб газа в стандартную емкость и выполнения измерений в «хорошей» геометрии на лабораторном спектрометре (измерения выполняются при отключении газовой петли КГО или при выполнении градуировки спектрометрического участка газовой петли КГО).

Контроль натрия первого контура реактора осуществляется:

- на спектрометрическом участке натриевой петли КГО (измерения «замороженного» или циркулирующего по петле натрия выполняются периодически, для измерений используется переносной спектрометр);
- на системе непрерывного спектрометрического контроля натрия первого контура ЦЕНА (в основу действия устройства ЦЕНА положено свойство концентрировать на размещенных в потоке натрия гранулах графита некоторые растворенные в натрии радионуклиды, что позволяет проводить измерения как при работе реактора на мощности на фоне высокоактивного  $^{24}\text{Na}$ , так и во время останова реактора);
- методом спектрометрии проб натрия первого контура из штатного пробоотборника (пробы натрия, отобранные на остановленном реакторе в стандартные емкости, измеряются в «хорошей» геометрии на лабораторном спектрометре); эти измерения используются, в основном, для градуировки спектрометрического участка натриевой петли КГО и устройства ЦЕНА.

### КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ДЕЙСТВУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ

Для автоматизированной регистрации продуктов деления в газовой подушке реактора (ГПР) и в натрии первого контура на БН-600 функционирует спектрометрическая система КГО. Система работает непрерывно в течение всей микрокампании.

Результаты измерений выдаются в локальную сеть и на принтер не реже одного раза в час.

Система представляет собой гамма-спектрометр, работающий одновременно на два измерительных тракта с Ge-Li полупроводниковыми детекторами (ППД) в каждом канале. По одному каналу осуществляется спектрометрический анализ состава гамма-радиоактивных нуклидов в ГПР, по другому – в натрии первого контура. Результаты обработки спектров гамма-излучения газа и натрия не реже одного раза в час поступают в локальную сеть БАЭС для их анализа специалистами лаборатории КГО и на пульт управления реактором для информирования операторов.

Автоматизация спектрометрических измерений системы КГО реактора БН-600 предпринималась с пуска реактора БН-600. В 80-е годы совместно со СНИИП г. Москвы была создана спектрометрическая установка ТРАПЕЦИЯ на базе анализатора УНО-4096 и микро-ЭВМ «Электроника-60». По своей идеологии система оказалась вполне жизнеспособной, но плохая надежность аппаратуры, малое время наработки на отказ, невозможность оперативного внесения изменений в программное обеспечение заставило искать другие технические решения. В начале 90-х гг. на БАЭС создана новая автоматизированная спектрометрическая система КГО.

Система была спроектирована и собрана, исходя из имеющегося на БАЭС оборудования, на базе промышленного анализатора АМ-А-02Ф1 и двух полупроводниковых детекторов типа ДГДК-50В и ДГДК-80В (рис. 1). Управление работой спектрометра и обработка спектров осуществляется ЭВМ типа ДВК-2М, входящей в состав системы. Учет времени набора, разделение спектров по трактам, корректировка активностей по генераторному пику, вывод на принтер и в локальную сеть БАЭС осуществляется доработанной штатной программой А4SRT. При доработке внесены изменения в логику работы программы в циклическом режиме, расчет активностей, энергетическая калибровка для второго тракта, добавлены коэффициенты для корректировки геометрии измерений, вывод в локальную сеть БАЭС и на принтер. Мате-

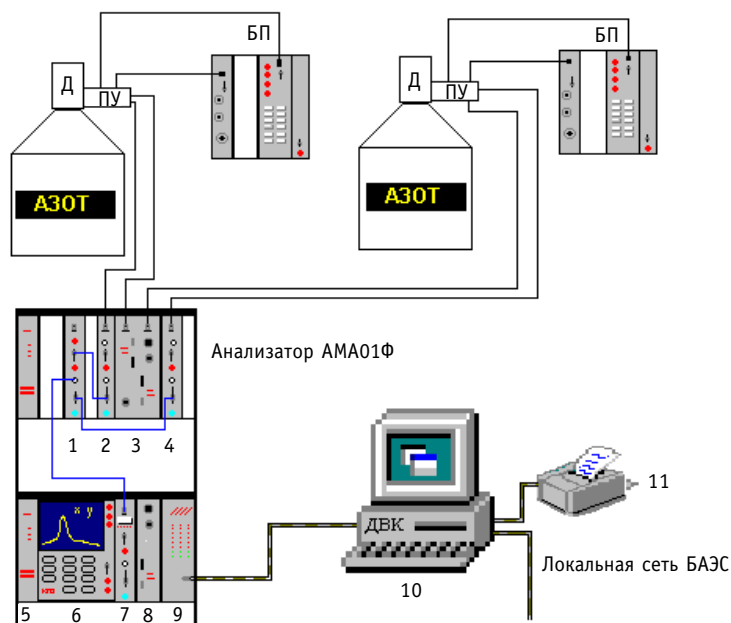


Рис.1: 1 – мультиплексор БКА-85М; 2 – усилитель БУС2-97; 3 – генератор БГА2-97; 4 – усилитель БУС2-97; 5 – таймер БТЭ-13; 6 – дисплей БВА-01Ф; 7 – АЦП БПА-01Ф; 8 – ОЗУ БОЗ-01Ф; 9 – блок связи БУП-06; 10 – микроЭВМ ДВК-2М; 11 – принтер МС6304; Д – детекторы ДГДК50В и ДГДК80В; БП – блок питания

матическая обработка оставлена без изменений. Программное обеспечение записано в ПЗУ и перезапускается при включении питания. Запуск в непрерывный режим осуществляется вручную после калибровки и настройки программы анализа спектров. Высокое и низкое напряжение для питания детекторов и предварительных усилителей берется со спектрометрических установок ЛАНГУР, отдельных для каждого детектора. Основное усиление и формирование импульсов осуществлялось усилителями БУС2-97. В дальнейшем они были заменены на БУИ-ЗК, что дало улучшение разрешения на 1 – 1,5 кэВ. Для одновременного набора двух спектров в каркас ВЕКТОР был добавлен мультиплексор на 2 канала. Период переключения каналов мультиплексора можно устанавливать 1 или 5 с. Время выбирается переключателем, находящимся на передней панели мультиплексора. Импульсные сигналы газового или натриевого трактов во время набора по очереди поступают на блок амплитудного преобразователя (АЦП). Информация о тракте в виде TTL-сигнала также поступает на блок ОЗУ и управляет записью информации в 1 или во 2 половину ОЗУ. После окончания времени набора в памяти компьютера имеем два спектра от различных источников информации. Далее программа в компьютере осуществляет поиск пиков контролируемых нуклидов, обсчитывает их и выводит на внешние устройства. Для корректировки результатов измерений при изменении загрузки по каждому тракту используется доработанный генератор стабильной амплитуды БГА2-97 на два канала с кварцевым задающим генератором частотой 50 Гц.

### АНАЛИЗИРУЕМАЯ ИНФОРМАЦИЯ

В защитном газе реактора спектрометрической системой регистрируются радионуклиды  $^{133}\text{Xe}$ ,  $^{135}\text{Xe}$ ,  $^{85\text{m}}\text{Kr}$ ,  $^{88}\text{Kr}$ ,  $^{87}\text{Kr}$  и  $^{41}\text{Ar}$ , по активности которых осуществляется контроль за регламентированными показателями (величина объемной радиоактивности газа в ГПР не должна превышать 7400 МБк/л). Кроме того, анализ динамики активности радионуклидов при разгерметизации топлива и анализ состава выходящего из твэлов газа позволяет оценивать количество твэлов с поврежденными оболочками, определять зону реактора, в которой с наибольшей вероятностью произошла их разгерметизация (активная зона, боковая зона воспроизводства, внутриреакторное хранилище), а в ряде случаев выгорание и тип поврежденного топлива.

В натрии первого контура регистрируются продукты деления  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{136}\text{Cs}$ ,  $^{138}\text{Cs}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{95}\text{Nb}$ ,  $^{95}\text{Zr}$ ,  $^{140}\text{La}$  и продукты активации  $^{22}\text{Na}$ ,  $^{24}\text{Na}$ . По активности радионуклида  $^{137}\text{Cs}$  осуществляется контроль за регламентированными показателями (величина удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  в натрии не должна превышать 185 МБк/кг). Анализ содержания продуктов деления в натрии используется для оценки степени повреждения оболочек негерметичных твэлов.

### НЕДОСТАТКИ СУЩЕСТВУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ

Для анализа состояния оболочек твэлов с урановым топливом действующая спектрометрическая система КГО обладает удовлетворительными характеристиками: эффективностью регистрации гамма-излучения, разрешающей способностью каналов спектрометрии газа и натрия, программным обеспечением в части обработки гамма-спектров. Но в силу того, что данная система превратилась из экспериментальной в штатную, к ней предъявляются повышенные требования по надежности работы и качеству выдаваемых результатов, поэтому возникла необходимость модернизации системы. Существующая система обладает следующими параметрами, которые необходимо улучшить:

- слабое разрешение детекторов и спектрометрической аппаратуры (порядка 4–5 кэВ по линии 1332 кэВ);

- малая загрузочная способность, требующая корректировки выдаваемых результатов по пику от эталонного генератора;
- исходя из предыдущего пункта требуется очень стабильный по амплитуде и частоте выдаваемого сигнала эталонный генератор и использование дополнительной коллимации излучения при повышении загрузки;
- применение обрабатывающей микроЭВМ типа ДВК-2М накладывает свои ограничения на качество питающего напряжения, температуру окружающей среды, программное обеспечение;
- физическое и моральное старение как спектрометрической аппаратуры ВЕКТОР, так и обрабатывающего компьютера.

### ПЛАНИРУЕМАЯ СИСТЕМА

В настоящее время ведется работа по переходу на новую аппаратуру фирмы CANBERRA. В силу особенностей подключения и применения аппаратуры фирмы CANBERRA схема измерительных трактов изменяется (рис. 2).

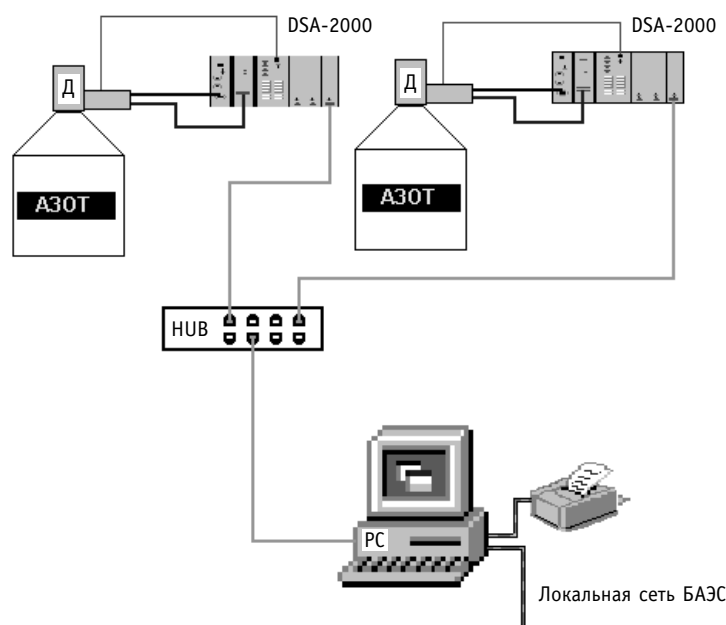


Рис. 2: Д – детектор с предварительным усилителем; DSA-2000 – цифровой анализатор импульсов; HUB – сетевой концентратор; PC – персональный компьютер

Применение детекторов из чистого германия позволит улучшить разрешение пиков и получить его порядка 2 кэВ по линии 1332 кэВ. Для увеличения максимальной входной загрузки выбраны цифровые анализаторы спектра типа DSA-2000. По характеристикам они выдерживают загрузку до 100000 имп/с практически без ухудшения разрешения и просчетов импульсов. На каждый детектор приходится один анализатор. Еще одно преимущество данного анализатора состоит в том, что он может управляться по локальной сети стандарта Ethernet с помощью персонального компьютера. Использование персонального компьютера обеспечит возможность применения современного и мощного программного обеспечения, новых алгоритмов и методов обработки спектров. При этом возрастает количество и особенно качество полученной информации, что позволит усовершенствовать используемые в настоящее время и разработать новые методики КГО твэлов.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Результаты эксплуатации автоматизированной спектрометрической системы КГО в течение более 20-ти микрокампаний позволяют сделать вывод о том, что возможна полная автоматизация спектрометрических измерений для регистрации и отображения известных контролируемых нуклидов в непрерывных технологических процессах. При этом нет необходимости присутствия спектрометриста для обработки гамма-спектров. Человек необходим только для общего контроля системы и анализа выводимой информации.

Поступила в редакцию 14.02.2005

## ABSTRACTS OF THE PAPERS

### УДК 621.039.526: 621.311.22

*BN600 Performance Efficiency Evaluation over 25 years of Operation* \N.N. Oshkanov, O.A. Potapov, P.P. Govorov; Editorial board of Journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy, Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2005. – 7 pages, 2 tables, 3 illustrations. – References, 5 titles.

The availability of the sodium-cooled fast BN600 reactor power unit over 25 years of operation has been analyzed. The effect of the off-normal equipment operation on the unit availability has been considered.

### УДК 621.039.526

*BN800 Reactor Beloyarsk 4 Construction* \N.N. Oshkanov, Yu.V. Noskov, M.V. Bakanov, N.P. Leontev, A.I. Karpenko; Editorial board of Journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy, Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2005. – 3 pages, 1 table.

The role the BN800 reactor power unit plays in developing the nuclear power industry is highlighted. The comparative characteristics of the BN600 and BN800 reactors are given. The innovative design features aimed at BN800 reactor safety improvement as compared to its prototype, i. e. the BN600 reactor, are presented. The current phase of the BN800 construction is considered.

### УДК 621.039.526

*BN600 Spectrometric Failed Fuel Detection System* \V.F. Roslyakov, E.S. Lisitsyn, S.A. Gurev, N.A. Zobnin; Editorial board of Journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy, Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2005. – 5 pages, 2 illustrations.

The article presents both the existing spectrometric failed fuel detection system designed to record and measure the fission product activity in reactor cover gas and upgraded failed fuel detection system which is based on the state-of-the-art instrumentation and software.

### УДК 621.039.526

*Justification of the Lifetime Characteristics of the Standard BN600 Reactor Safety Rods* \V.A. Zhyoltyshev, E.A. Kozmanov, A.A. Tuzov; Editorial board of Journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy, Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2005. – 4 pages, 2 illustrations. – References, 4 titles.

The article presents the contents and results of the integrated work in support of extending the lifetime of standard safety rods 1663.000.00 from 365 to 500 efpd. Taking into account the high cost of the enriched boron carbide and sufficient serviceability margin of the safety rods by the physical characteristics of absorber and on the basis of the successful results of their operation and experimental and theoretical studies it was inferred that the safety rod residence lifetime could be extended up to 500 efpd.

### УДК 621.039

*BN600 Power Unit Safety Evaluation Concept* \N.N. Oshkanov, A.I. Karpenko, P.P. Govorov, A.A. Kuznetsov; Editorial board of Journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy, Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2005. – 7 pages, 3 illustrations. – References, 5 titles.

The article considers the optional concept of the Beloyarsk NPP BN600 power unit safety evaluation. Both the current condition of the unit is proposed to be evaluated (verification of the integrity of physical barriers, surveillance of the limits and conditions of operational safety) and possible changes in the unit condition to be predicted taking into account the current values of the process parameters and equipment operating conditions. The options of the representation of the information both on the current unit condition and its possible change in future are proposed.

### УДК 621.039

*Secondary-to-Primary Sodium Leak Detection in the BN600 Reactor IHX's* \A.A. Kuznetsov, P.P. Govorov, A.I. Karpenko; Editorial board of Journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy, Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2005. – 6 pages, 4 illustrations.

The article considers the BN600 reactor IHX secondary-to-primary sodium leak detection method based on the comparison of the results of the calculation of the sodium weights for various periods of time. The choice of the sodium weight as a monitored value has been stipulated by the advantages of the calculated weight value versus the directly measured values. To monitor the density only two values, i. e. weight of sodium in the reactor and secondary sodium weight, are necessary and sufficient to be known.