

# Запобігання та ліквідація надзвичайних ситуацій

УДК 81.411.1

О.В. Банзак, Г.В. Банзак

Одесская государственная академия технического регулирования и качества, Одесса

## РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА РАДИАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ГЕРМЕТИЧНОСТИ ОБОЛОЧЕК ТВЭЛОВ ОТРАБОТАВШИХ ТЕПЛО ВЫДЕЛЯЮЩИХ СБОРОК

В данной статье предложен двухэтапный потвэльный контроль отработавших тепловыделяющих сборок (ОТВС) с применением методов пассивной томографии и оперативный контроль для выявления дефекта. Отличительной особенностью комплекса является то, что продувка ТВС осуществляется водовоздушным потоком, подаваемым группой инжекторов в нижнюю часть рабочей штанги.

**Ключевые слова:** контроль герметичности оболочек, радиационная безопасность, ядерный реактор, пассивная томография.

### Введение

Ключевая проблема ядерной энергетики – радиационная безопасность – решается путем обеспечения надежности защитных барьеров основных объектов технологического процесса функционирования АЭС: твэлов, тепловыделяющих сборок (ТВС), контуров передачи теплоносителя и др. При повышении мощности реактора одной из основных является задача контроля состояния оболочек твэлов ОТВС. Таким образом, контроль герметичности оболочек (КГО) погружаемых ОТВС фактически является первым этапом организации управления состоянием ядерного топлива. К сожалению, существующие системы КГО для водно-водяного энергетического (ВВЭР) обладают низкой

эффективностью и требуют существенных затрат времени для проведения контроля [1 – 3]. В данной работе предложен двухэтапный потвэльный контроль ОТВС с применением методов пассивной томографии и оперативный контроль для выявления дефекта.

### Основная часть

В данной статье проведены исследования, направленные на повышение эффективности методов КГО за счет применения спектрометрии с помощью CdZnTe-детекторов.

В соответствии со сформулированными выше требованиями для решения такой задачи построена структурная схема системы контроля герметичности оболочки ТВС в реальном времени (рис. 1).

Таблица 1

Основные характеристики устройства детектирования

Параметр	Тип детектора	
	CdZnTe - 1500 квазисферический	CdZnTe - 60 квазисферический
Диапазон регистрируемых энергий (индикаторный режим), кэВ	20-8500	100-2500
Диапазон измеряемых энергий (спектрометрический режим), кэВ	50-7500	150-1500
Максимальная загрузка квантами с энергией 662 кэВ, не менее	50000 с <sup>-1</sup>	100000 с <sup>-1</sup>
Энергетическое разрешение (FWHM) для энергии 662 кэВ, не более	20 кэВ	15 кэВ
Длительность сигнала на выходе, не более, нс	500	500
Полярность выходного сигнала	Отрицательная	Отрицательная
Рабочее напряжение детектора (положительная полярность), не более, В	1500	600
Коэффициент преобразования, мВ/кэВ	0,02...0,05	0,02...0,05
Отношение пик/комpton	4	2
Объем чувствительной области, мм <sup>3</sup>	1500	60

Концепция построения комплекса КГО реального времени основана на следующих основных принципах и средствах: отказ от применения сжатого воздуха для подготовки пробы; одновременный отбор проб воды и воздуха для проведения гамма-

спектрометрического анализа содержания изотопов <sup>133</sup>Xe, <sup>131</sup>I, <sup>134</sup>Cs, <sup>137</sup>Cs в контролируемых пробах.

Технические средства, входящие в состав комплекса, подобны разработанным ранее системам контроля других технологических сред.

Метод пассивной томографии описан ранее. В настоящем разделе проведены исследования, направленные на повышение эффективности методов КГО за счет применения спектрометрии с помощью CdZnTe-детекторов.

Отличительной особенностью комплекса является то, что продувка ТВС осуществляется водовоздушным потоком, подаваемым группой инжекторов в нижнюю часть рабочей штанги. Двухфазный водовоздушный поток обладает, по сравнению с воздушной продувкой, рядом преимуществ. Во-первых, пузырьки в таком потоке дольше сохраняют начальные размеры (более медленно коагулируют); во-вторых, такой поток обладает большей кинетической энергией и, следовательно, большей скоростью.

Указанное решение имеет следующие преимущества:

- нет необходимости применения воздушного компрессора, что существенно снижает стоимость системы, позволяет отказаться от масляных фильтров;
- малые габариты инжектора существенно упрощают проведение работ по доработке рабочей штанги перегрузочной машины (РШ ПМ);
- специально организованный двухфазный мелкодисперсный поток обладает качественно иными свойствами, чем продуваемый воздух, либо иной

газ; это позволяет повысить эффективность «смыывания» с оболочек твэлов продуктов деления;

– возможность регулировки газосодержания в процессе проведения контроля: таким образом можно, в случае необходимости, провести повторный контроль ОЯТ; это позволяет надежно идентифицировать факт контакта теплоносителя с топливной матрицей;

– многократная циркуляция по замкнутому контуру (внутри РШ ПМ и трубопроводами), подготовки пробы за время подъема ТВС в транспортное положение; это фактически приводит к концентрированию «смытых» с оболочек твэлов продуктов деления в верхней части РШ ПМ, что в совокупности с постоянным контролем во время подъема ТВС повышает качество выполнения задач КГО;

– структура сформированного двухфазного мелкодисперсного потока такова, что, в отличие от методов с продуванием газа, омываются и внутренние твэлы, так как очевидно, что гидравлические характеристики указанного потока более совершенны: газовый, точнее воздушный, поток, полностью теряет всю свою энергию еще на участке до нижней решетки, и отразившись от хвостовика ТВС будет перемещаться между внешними рядами твэлов и рабочей штангой, таким образом, внутреннее пространство ТВС останется не контролируемым.

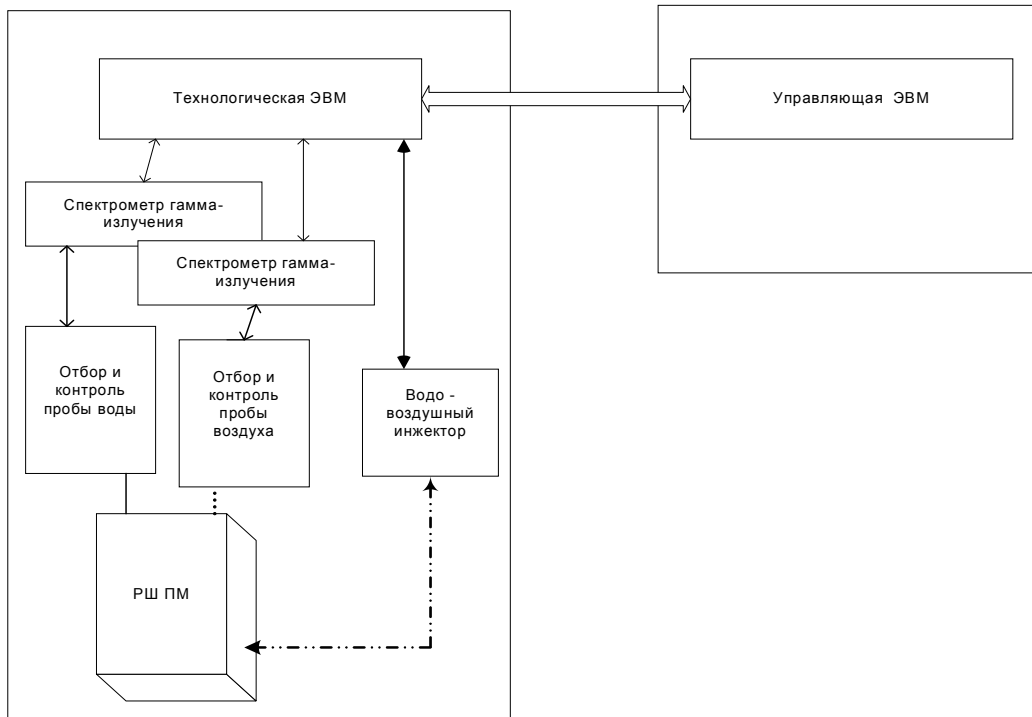


Рис. 1. Структурная схема системы контроля герметичности оболочки ТВС в реальном времени

На основании изложенного предложена технологическая схема комплекса КГО реального времени (рис. 2).

На рис. 2: 1 – центробежный насос; 2 – пусковая емкость; 3 – обратные клапаны; 4, 18 – запорные клапаны; 5 – коллектор воздушный; 6 – коллектор водя-

ной; 7 – инжекторная группа; 8 – эжектор измерительный; 9 – дроссель; 10 – измерительная емкость; 11 – уровень воды; 12 – линия забора воздуха; 13 – линия забора воды; 14 – линия подачи воды; 15 – шнек-распылитель; 16 – насос для забора чистой воды; 17 – бассейн выдержки.

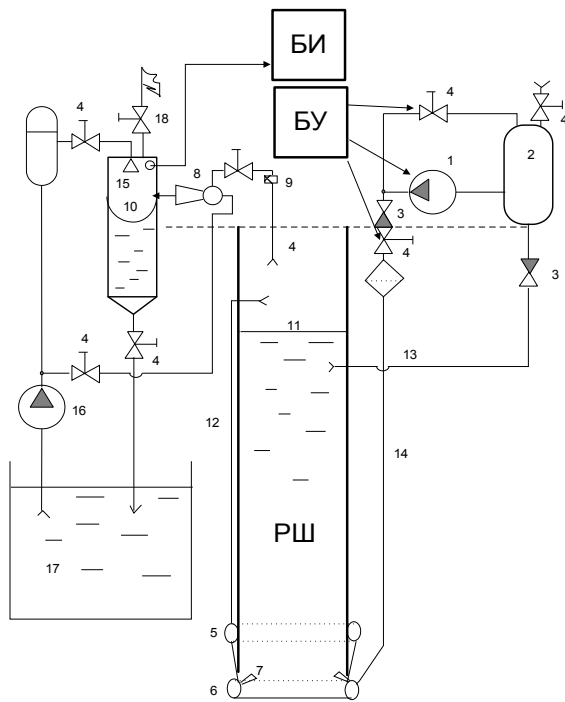


Рис. 2. Технологическая схема комплекса оперативного контроля герметичности оболочек ТВС в рабочей штанге перегрузочной машины

При этом требования, предъявляемые к применяемому насосу, невелики: расход около  $1 \text{ м}^3/\text{час}$ , напор около 6 ат.

Комплекс работает следующим образом (рис. 2).

Насос центробежный 1 через пусковую емкость 2 и систему обратных 3 и запорных 4 клапанов забирает воду из рабочей штанги (РШ) и подает ее в раздающий водяной коллектор 6, откуда вода подается в группу инжекторов 7 на их рабочие сопла. Смешиваемый с водой воздух подсасывается из коллектора 5, куда он попадает из воздушного пространства рабочей штанги (т.е. объема, содержащего радиоактивные газы) по линии 12. В этом случае обеспечивается замкнутый режим многократной прогонки воздуха, используемого для продувки ТВС, и увеличение цикл за циклом концентрации радиоактивных изотопов в нем. Для баланса воды в системе, т.е. для сохранения уровня воды в рабочей штанге и снижения потери находящейся в воде активности, ее забор на инжекторы осуществляется также из внутренней полости РШ. Для измерения активности система через заданный промежуток

времени переключается в режим измерений. При этом закрывается линия подачи воды на группу инжекторов и открывается линия на эжектор измерительный 8. Эжектор 8 формирует заданную концентрацию водовоздушного потока и подает его тангенциально в измерительную емкость 10, где под действием центробежных сил происходит разделение воды и воздуха. Дроссель 9, установленный перед эжектором 8, формирует оптимальное для измерений газосодержание.

После проведения измерений возможно радиоактивное загрязнение измерительной емкости 10. Для ее отмывки предназначен дроссельный шнек-распылитель 15, установленный на оси измерительной емкости 10. Это позволяет провести отмывку внутренней поверхности емкости 10 высокоскоростным закрученным потоком воды. Подача воды на отмывку осуществляется насосом 16 с забором чистой воды из бассейна выдержки 17.

## Выводы

Предлагаемые способ и устройство дают возможность применения одновременного контроля активности водной и газовой проб, а также увеличения эффективности процесса отбора, позволяют идентифицировать твэлы с дефектами типа «контакт топлива с теплоносителем» и «газовая неплотность» за счет избирательного контроля продуктов деления методами гамма-спектрометрии. Эффективность применения последних, а с ними и всей системы КГО, обеспечивается использованием созданных в работе CdZnTe-детекторами.

## Список литературы

1. Зверков В.В. Эксплуатация ядерного топлива на АЭС с ВВЭР / В.В. Зверков. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 96 с.
2. Надежность и контроль герметичности твэлов и совершенствование топливного цикла. Информация // Атомная энергия. – 1992. – Т. 72. – № 2. – С. 197-202.
3. Патент України на корисну модель G21C 17/00 № 45290: Бюл. № 21 10.11.2009. Пристрій для виявлення дефектних тепловиділяючих зборок реактора / Маслов О.В., Королев О.В., Максимов М.В.

Поступила в редколлегию 2.11.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.В. Ленков, Военный институт Киевского национального университета имени Тараса Шевченко, Киев.

## РОЗРОБКА КОМПЛЕКСУ РАДІОЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО КОНТРОЛЮ ГЕРМЕТИЧНОСТІ ОБОЛОНОК ТВЕЛІВ ВІДПРАЦЮВАНИХ ТЕПЛОВІДІЛЯЮЧИХ ЗБОРОК

О.В. Банзак, Г.В. Банзак

Запропонований двоетапний потвельний контроль тепловиділяючих зборок, що відробили, (ТВЗВ) із застосуванням методів пасивної томографії й оперативний контроль для виявлення дефекту. Відмінною рисою комплексу є те, що продувка ТВЗ здійснюється водо-повітряним потоком, що подається групою інжекторів у нижню частину робочої штанги.

**Ключові слова:** контроль герметичності оболонок, радіаційна безпека, ядерний реактор, пасивна томографія.

## DEVELOPMENT OF COMPLEX RADIATIONALLY-TECHNOLOGICAL CONTROL OF IMPERMEABILITY OF TVELS' SHELLS OF WORKED-OUT FUEL ASSEMBLIES

O.V. Banzak, G.V. Banzak

In given clause it is offered two stage intwels the control fulfilled warm distinguishing assembling (FWDA) with application methods of a passive tomography and the operative control over revealing defect. Distinctive feature of a complex is that purge WDA is carried out by the water-air stream submitted by group injectors in the bottom part of a working bar.

**Keywords:** control of tightness environments, radiating safety, a nuclear reactor, a passive tomography.