

СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ТОПЛИВОСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ ОБЪЕКТА «УКРЫТИЕ»

А. А. Кучмагра

Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, Чернобыль

Представлен обзор систем контроля топливосодержащих материалов объекта «Укрытие» с кратким описанием их характерных особенностей.

Получение достоверной информации по состоянию скоплений ядерно-опасных делящихся материалов (ЯОДМ), образовавшихся в результате аварии была одной из основных задач, требующей решения для приведения разрушенного 4-го блока ЧАЭС в контролируемое состояние. Образовавшиеся топливосодержащие материалы (ТСМ) представляли собой, в основном, фрагменты активной зоны реактора и лавообразные ТСМ (ЛТСМ). Во время аварии были разрушены защитные барьеры безопасности, в результате чего радиоактивные ТСМ объекта «Укрытие» находились в прямом контакте с окружающей средой. И в настоящее время, согласно [1], объект «Укрытие» классифицируется как место временного поверхностного хранения (временное хранилище) неорганизованных радиоактивных отходов (РАО).

Сложность получения первичной информации о состоянии ЯОДМ заключалась не только в незнании точных мест локализации ТСМ и ЛТСМ, но и в исключительной трудности размещения в предполагаемые места скоплений ТСМ детекторов нейтронов, гамма-поля, датчиков теплового потока. Это можно понять, ознакомившись с краткой характеристикой состояния объекта «Укрытие» после взрыва, которое было следующим [2]:

активная зона реактора разрушена полностью;

стены и перекрытие центрального зала реактора разрушены и смещены;

разрушены перекрытия и стены помещений барабанов-сепараторов;

помещение северных главных циркуляционных насосов разрушено полностью, помещение южных – частично;

разрушены два верхних этажа деаэрационной этажерки, колонны каркаса смещены в сторону машинного зала.

В возникшей ситуации на 4-м блоке не исключалось возникновение самоподдерживающейся цепной реакции (СЦР). Согласно нормам ядерной и радиационной безопасности при потенциальной опасности возникновения СЦР необходимо создание системы аварийной сигнализации о СЦР [3]. Эту задачу должна была решить стационарная система контроля ТСМ объекта «Укрытие».

Предшествующим этапом работ по разработке и внедрению стационарных систем контроля в штатную эксплуатацию была разведка и уточнение мест скоплений ТСМ на объекте «Укрытие». Такие работы начались сразу же после аварии. Средством доставки блоков детектирования в первое время были вертолеты, и, разумеется, не всегда достигалась нужная точность постановок средств детектирования. В [4] упоминается, что в июле 1986 г. была предпринята попытка доставить и установить с помощью вертолета зонд «Игла». Намечено было доставить этот зонд в середину развала активной зоны. Однако он попал в северный бассейн выдержки отработанного топлива и был поврежден. Значительная часть детекторов зонда вышла из строя.

В течение 1986 г. в различные точки разрушенного 4-го блока было установлено 15 специальных измерительных буев [4, 5], укомплектованных детекторами мощности экспозиционной дозы (МЭД), датчиками температуры воздуха, температуры контакта с поверхностью, плотности теплового потока, скорости движения воздуха. Эта диагностическая аппаратура проработала недолго, но все же сумела предоставить специалистам первичную

информацию о месте нахождения скоплений ТСМ и их состоянии. Полученные данные легли в основу при проектировании и монтаже первых стационарных систем контроля состояния ТСМ.

28 октября 1986 г. Правительственной комиссией было принято решение № 267, в котором на СКТБ с ЭП Института ядерных исследований (ИЯИ) АН УССР (Киев) возлагалась разработка стационарной системы контроля и диагностики аварийного реактора 4-го блока ЧАЭС. Впоследствии система получила название - измерительно-диагностический комплекс «Шатер» (ИДК «Шатер»).

В состав комплекса «Шатер» входили блоки детектирования нейтронного потока, гамма-излучения, датчики температуры, теплового потока, вибрации строительных конструкций, первичные преобразователи, вычислительный комплекс ИВК-6 со специальным программным обеспечением. Блоки детектирования и датчики комплекса были установлены в бассейне-барботере, парораспределительном коридоре, над поверхностью развала. Общее количество информационно-измерительных каналов (ИИК) составило [6]:

52 канала измерения величины теплового потока;

52 канала измерения температуры;

18 каналов измерения величины плотности потока нейтронов (ППН);

18 каналов измерения величины МЭД.

Вторичная аппаратура находилась в помещении 216 блока ВСРО ЧАЭС. Текущая информация выводилась на монитор в цифровом и графическом виде и записывалась на магнитную ленту и магнитные диски. При превышении установленных уставок цвет графиков менялся (применялись зеленый, желтый и красный цвета). ИДК «Шатер» работал круглосуточно. Был организован канал передачи данных в Чернобыле и в СКТБ с ЭП ИЯИ АН УССР в Киеве, что позволило достаточно достоверно интерпретировать данные измерительных каналов, анализировать текущее состояние ТСМ. ИДК «Шатер», к сожалению, не имел средств внешней аварийной сигнализации для оповещения об эвакуации персонала, проводящего работы в ядерно-опасных зонах объекта «Укрытие». Это одно из основных требований к системам аварийной сигнализации о возникновении СЦР [3]. ИДК «Шатер» был введен в штатную эксплуатацию с января 1987 г.

По разным причинам детекторы и датчики со временем выходили из строя и в 1999 г. в работе ИДК «Шатер» находились четыре канала измерения ППН и три канала измерения МЭД [7].

Проводившиеся разведывательные работы на объекте «Укрытие» обнаруживали новые скопления ТСМ и ЛТСМ, поэтому информация с ИДК «Шатер» была недостаточна для специалистов. В то же время статус ИДК «Шатер», определенный как штатная система контроля объекта «Укрытие», не позволял использовать ее измерительные каналы для проводимых исследований.

Дальнейшим логическим продолжением изучения состояния разрушенного 4-го блока ЧАЭС была работа по созданию информационно-измерительной системы «Финиш» (ИИС «Финиш»), которая началась с 1987 г. В Техническом задании на проектирование системы предусматривалось постановка детекторов и датчиков во вновь осваиваемые помещения. Первоначально система получила название «Подкритичность», впоследствии она была переименована в ИИС «Финиш». Эта система была задумана как исследовательская, поэтому в проектных основах для нее предусматривалась работа только три раза в сутки (съем показаний с ИИК). В ее состав вошли ИИК нейтронного потока, ИИК МЭД, ИИК теплового потока, ИИК измерения температуры, блоки обработки сигналов с индикацией о превышении установленных порогов, однако в ее состав не входили узлы внешней аварийной сигнализации об оповещении персонала о эвакуации при обнаружении СЦР. Блоки детектирования нейтронов, как и в ИДК «Шатер», были выполнены на основе импульсных камер деления КНТ-31 (КНТ 31-1). Общее количество измерительных каналов в 1999 г. составило 58 [7]. Следует отметить, что уже в это время у специалистов формировалось мнение о

довольно глубокой подкритичности скоплений ТСМ и о механизме возникновения СЦР, которая в свою очередь могла быть вызвана, в основном, медленно протекающими процессами, а именно медленным заливом водой ТСМ. Эти идеи были положены в основу проектирования ИИС «Финиш». В дальнейшем часть системы была переведена в статус регламентного контроля, а другая часть выполняла исследовательские функции. Совместная работа систем ИИС «Финиш» и ИДК «Шатер» позволяла исключать сбои и метрологические отказы в системах из рассмотрения и анализа, повышала достоверность получаемой информации о состоянии ТСМ.

К 1994 г. ИИС «Финиш» и ИДК «Шатер» морально устарели, технические средства в основном выработали свой ресурс. Остановки систем в связи с выводом их в ремонт стали настолько частыми, что возникла реальная угроза необеспечения контроля состояния ТСМ. Ситуация осложнялась отсутствием достаточной номенклатуры запасных радиоэлементов для замены. В связи с вышеизложенным системы контроля ИДК «Шатер» и ИИС «Финиш» не позволяли гарантировать надежность и качество проводимых измерений и не обеспечивали в достаточном объеме выполнение функции контроля состояния ТСМ.

Создалась ситуация, когда отсутствие надежных технических средств предупреждения и обнаружения СЦР и отсутствие соответствующих организационных мероприятий привели к невыполнению основного принципа ядерной безопасности – недопущения возникновения неконтролируемой СЦР и ограничения ее последствий. Поэтому требовалось создание новой системы контроля на новой элементной базе и имеющей в своем составе технические средства аварийной сигнализации.

В целях выполнения требований по ядерной и радиационной безопасности для радиационно-опасных объектов в 1994 г. началась разработка подсистемы аварийной сигнализации о возникновении СЦР на объекте «Укрытие». В дальнейшем, после ее развития и усовершенствования, она получила название - система контроля ТСМ «Сигнал» (СК ТСМ «Сигнал»). Эта система воплотила в себя все лучшие технические наработки созданных перед ней систем контроля. В 2000 г. система СК ТСМ «Сигнал» введена в промышленную эксплуатацию, а ИДК «Шатер» полностью выведен из эксплуатации и демонтирован.

В систему СК ТСМ «Сигнал» входят:

- 1) аппаратный комплекс первичных преобразователей (АКПП), который состоит из: блоков детектирования (камеры деления КНТ-31-1, термопары, термометры сопротивления);
- блоков предварительной обработки сигналов (БПОС);
- линий связи (РК-75-2-13, КУГВЭВ);
- 2) комплексы обработки сигналов (КОС-1, КОС-2);
- 3) автоматизированный комплекс сигнализации, сбора и обработки информации (АКСО-01);
- 4) комплекс аварийной сигнализации и предупреждения (КСП);
- 5) комплекс контроля технологических параметров (ККТП);
- 6) устройство архивирования и документирования информации.

Характерной технической особенностью системы являются:

- измерение ППН и МЭД в одной точке;
- наличие двух независимых каналов измерения ППН, МЭД и температуры в одном блоке детектирования;
- наличие в разных помещениях блоков выключения внешней аварийной сигнализации (требование нормативного документа [3];
- ведение архива данных как текущих значений ИИК, так и усредненных за часовой и суточный период.

В процессе создания системы были разработаны программа и методика метрологической аттестации ИИК, программа и методика испытаний технических средств системы на стойкость к воздействию вибрации, ударных нагрузок, температуры, влажности, электриче-

ского и магнитного полей. Программы и методики прошли экспертизу в органах УкрЦСМС, получили положительное заключение. Испытание технических средств системы было проведено в «Испытательном центре «Арсенал». По утвержденным УкрЦСМС программам и методикам проводится метрологическая аттестация ИИК после капитального ремонта в процессе авторского сопровождения системы контроля СК ТСМ «Сигнал».

Технические характеристики СК ТСМ «Сигнал»

Количество точек контроля	8
Количество ИИК ППН	16
Количество ИИК МЭД	16
Количество ИИК температуры	24
Количество блоков аварийной сигнализации	7
Диапазон измерения ППН, н/см ² ·с	от 10 до 1·10 ⁴
Диапазон измерения МЭД γ -излучения, Р/ч	от 50 до 1·10 ⁴
Диапазон измерения температуры, °С	от минус 40 до плюс 150
Чувствительность или коэффициент преобразования к нейтронному потоку и γ -излучению (индивидуально для каждого ИИК)	по метрологическому аттестату
Предел основной погрешности измерения ППН, %	не более 38
Предел дополнительной погрешности измерения ППН, вызванный влиянием одновременного воздействия γ -поля, %	не более 20
Предел основной погрешности измерения МЭД, %	не более 35
Предел дополнительной погрешности измерения МЭД, вызванный влиянием одновременного воздействия потока нейтронов, %	не более 15
Предел дополнительной погрешности измерения ППН и МЭД, вызванный влиянием изменения температуры на каждые 10 ⁰ С в пределах рабочей области	не более $\pm 0,5$ % основной погрешности
Предел основной погрешности измерения температуры, °С	не более $\pm 2,5$
Периодичность контроля при измерении ППН и МЭД	непрерывно, круглосуточно
Время измерения ППН и МЭД, с	10,15
Периодичность контроля при измерении температуры	непрерывно, циклично
Время измерения температуры (один канал), с	не более 0,5
Время установления рабочего режима, мин	не более 30
Напряжение питания АКСО, КОС, ККТП	220 \pm 22
Частота питающего напряжения, Гц	50 \pm 1
Питающее напряжение БПОС, В	$\pm 24 \pm 0,5$

Условия эксплуатации блоков детектирования

Температура окружающей среды, °С .	от минус 25 до плюс 55
Атмосферное давление, кПа	от 80 до 120
Относительная влажность при температуре 25 °С, %	до 95
Допускаемая вибрация:	
частота, Гц	от 10 до 55
амплитуда, мм	до 0,1

Приведенные основные технические характеристики СК ТСМ «Сигнал» соответствуют [8]. Точное место расположения блоков детектирования приведено в табл. 1, а блоков аварийной сигнализации - в табл. 2.

В настоящее время система находится в круглосуточной работе, состав и количество ИИК не изменилось. На рисунке приведена динамика показаний ИИК модуля 1 СК ТСМ «Сигнал». На обложке сборника помещена фотография процесса монтажа блоков БПОС сотрудниками ИПБ АЭС НАН Украины.

Таблица 1. Расположение блоков детектирования СК ТСМ «Сигнал»

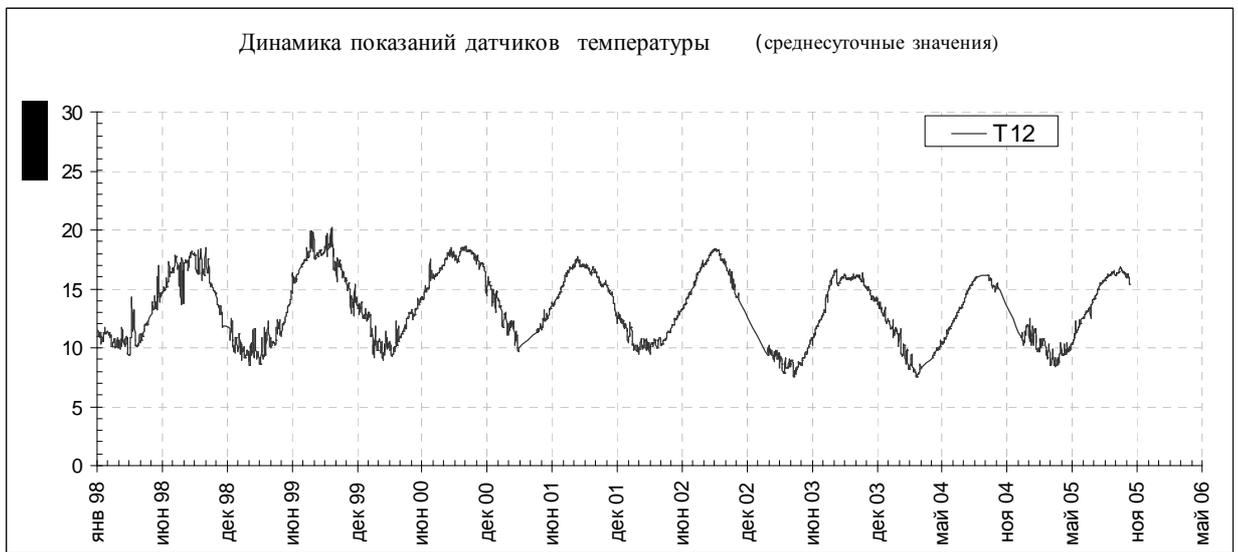
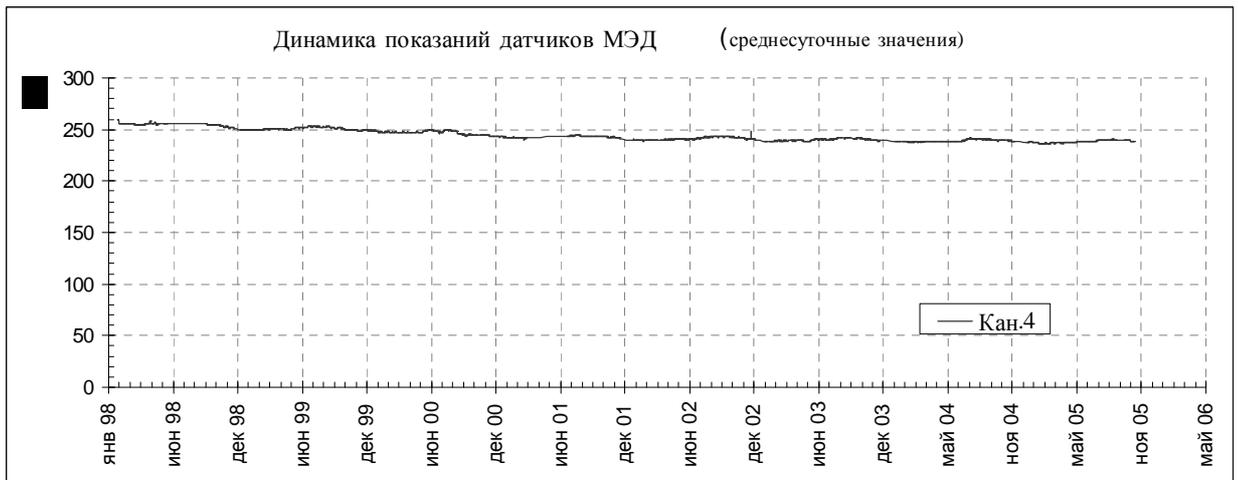
Модуль	ИИК			Координаты			
	ППН	МЭД	Температура	Помещение	Отметка	Ряд	Ось
М1	1, 2	3, 4	T11, T12	210/6	+6.00	И+1.5	47-0.4
М2	5, 6	7,8	T21, T22	304/3	+9.70	И-2.0	47-1.5
М3	9, 10	11, 12	T31, T32	305/2	+9.10	К-1.0	47+2.5
М4	13, 14	15, 16	T41, T42	ЦЗ	+49.00	Л+3.8	47+1.5
М5	17, 18	19, 20	T51, T52	ЦЗ	+39.00	Л+3.8	46+1.7
М6	21, 22	23, 24	T61, T62	ЦЗ	+35.5	Л+0.3	48-1.8
М7	25, 26	27, 28	T71, T72	ЦЗ	+39.00	Л+0.0	47-2.92
М8	29, 30	31, 32	T81, T82	ЦЗ	+39.00	К+0.0	43+2.98

Таблица 2. Расположение блоков аварийной сигнализации

Тип	Помещение	Расположение	Координаты
БС-12	206/2	Коридор, стена	Отметка 6 00, ось В1, ряд 50
БС-12	208/9 208/10	Над входом	Отметка 9 00, ось Е+2.00, ряд 48
БС-12	402/3	Над входом в помещение 406/2	Отметка 12.5, ось И, ряд 43.0
БС- 12	515/3	При входе на стене	Отметка 19.5 , ось Е - 2.00, ряд 44
БС-12	Г353	Помещение начальника смены блока, перед входом	
БС-12	Г353	Помещение начальника смены блока, перед выходом из помещения	
БС-220	227 блока ВСПО	Помещение начальника смены блока, над дверным проемом	

Проект по разработке «Системы ядерного мониторинга» (в последствии система была названа «Пилот») был начат в ноябре 1996 г. в рамках двухстороннего соглашения между руководством Объекта «Укрытие» и Международной программой по ядерному мониторингу, проводимой Тихоокеанской Северо-западной лабораторией (PNNL) департамента энергетики США. За время до сентября 1997 г. PNNL спроектировала систему, смонтировала, испытала и отправила в октябре 1997 г. в Украину. В июне 1998 г. система прошла входной контроль в МНТЦ «Укрытие» (ИПБ АЭС НАН Украины). Сотрудники PNNL совместно с сотрудниками МНТЦ «Укрытие» и Объекта «Укрытие» проверили работоспособность системы, а также провели подготовку украинского персонала, отвечающего за монтаж и эксплуатацию системы. Выявленные несущественные недостатки были устранены, и система была признана годной для монтажа на объекте «Укрытие».

Отличием данной системы от разработанных и уже внедренных систем на объекте «Укрытие» было следующее:



Показания ИИК модуля 1 СК ТСМ "Сигнал" (помещение 210/6).

в одном блоке детектирования находились два нейтронных детектора, один детектор гамма-излучения, термопара, датчик влажности;

один детектор нейтронов был помещен в кадмиевый экран, что позволило, сопоставляя сигнал со второго детектора нейтронов, оценивать энергетический спектр нейтронов;

в шести блоках детектирования монтировались нейтронные пропорциональные счетчики на фториде бора, экранированные свинцом. Для сравнения с их работой в двух других блоках детектирования применялись камеры деления.

Ожидаемые преимущества системы:

более высокая чувствительность борных детекторов к тепловым нейтронам (в 10 - 30 раз выше по сравнению с камерами деления);

возможность оценивать энергетический спектр нейтронов;

меньшая стоимость по отношению к камерам деления (в два - пять раз).

Следует отметить и присущие недостатки борных детекторов – это значительно более высокая чувствительность к гамма-излучению (для уменьшения чувствительности применялся свинцовый экран), более высокое напряжение питания, меньший рабочий ресурс. Система была смонтирована на объекте «Укрытие» в конце 1998 г. К сожалению, в настоящее время в работе находятся всего несколько измерительных каналов на основе камер деления. Измерительные каналы на основе борных детекторов вышли из строя.

В рамках работ по Плану осуществления мероприятий на объекте «Укрытие» запланирована разработка интегрированной автоматизированной системы контроля. В ее состав должны войти:

система контроля ядерной безопасности;

стационарная система радиационного контроля;

система контроля состояния строительных конструкций;

система сейсмического контроля.

В настоящее время большинство систем спроектировано, разработаны технические проекты, готовятся рабочие проекты. Документация проходит согласование с ГКЯР. Отдельные блоки и узлы систем проходят испытания согласно требованиям по ядерной и радиационной безопасности к информационным и управляющим системам, важным для безопасности АЭС. Начало монтажа отдельных систем планируется в 2007 г.

Автор благодарит В. Н. Щербина за обсуждение и помощь в написании статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Нормы радиационной безопасности Украины. Дополнение: Радиационная защита от источников потенциального облучения (НРБУ-97/Д-2000). Государственные гигиенические нормативы. ГГН 6.6.1.-6.5.000-2000. - К., 2000. - С. 60.*
2. *Описание объекта “Укрытие” и требования к его преобразованию. Исходные данные для выполнения конкурсной работы на проект и технические решения по преобразованию ОУ в экологически безопасную систему. - К.: Наук. думка, 1992. - С. 50.*
3. *ПБЯ-06-10-91. Правила проектирования и эксплуатации систем аварийной сигнализации о возникновении самоподдерживающейся цепной реакции и организации мероприятий по ограничению ее последствий. - М., 1991. - С. 18.*
4. *Боровой А.А., Ибраимов Г.Д., Огородников С.С. Состояние 4 блока ЧАЭС и ядерного топлива, находящегося в нем (по результатам исследований 1988 – 1989 гг.). - Чернобыль, 1990. - 72 с. - (Препр. / Ин-т атомной энергии им. И. В. Курчатова).*
5. *Иванов В.Е. Информационно-измерительная система «Финиш» на объекте «Укрытие» // Проблемы Чернобиля. – 2002. - Вып. 9. - С. 34 - 37.*
6. *Герасько В.Н., Ключников А.А., Корнеев А.А. и др. Объект “Укрытие”. История, состояние и перспективы. – К.: Интерграфик, 1997. – С. 224.*
7. *Атрощенко А.Ф., Балюн В.А., Высотский Е.Д. и др. Системы контроля состояния топливосодержащих материалов объекта «Укрытие». - Чернобыль, 1999. - 39 с. - (Препр. / НАН Украины. МНТЦ «Укрытие»; 99-3).*
8. *Техническое описание системы контроля ТСМ «Сигнал». ГдВ 16.00.000.000 ТО. Инв. № 0789 МНТЦ «Укрытие». - С. 29.*

Поступила в редакцию 14.03.06

15 СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ПАЛИВОВМІСНИХ МАТЕРІАЛІВ ОБ'ЄКТА «УКРИТТЯ»**О. А. Кучмагра**

Подано огляд систем контролю паливовмісних матеріалів об'єкта «Укриття» з коротким описом їх характерних особливостей.

15 FSM MONITORING SYSTEMS IN «UKRYTTYA» ОБ'ЄКТ**A. A. Kuchmagra**

The review of the monitoring systems of FSM materials of the object «Ukryttya» with short description of their characteristic features is represented in the article.



