

## ТЕЛЕВИЗИОННАЯ АППАРАТУРА ДЛЯ РАБОТЫ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКИХ РАДИАЦИОННЫХ ПОЛЕЙ

© 2013 г. **В. Н. Сенаторов\***, канд. техн. наук;  
**Е. И. Катунин\*\***, инженер

\* ГП «НИИ строительных конструкций», г. Киев, Украина

\*\* ГСП «Чернобыльская АЭС», г. Славутич, Украина

E-mail: v.senatorov@ndibk.gov.ua; zdb@chnpp.gov.ua

Описан опыт проектирования телевизионной аппаратуры контроля доступа в места хранения отработанного ядерного топлива АЭС. Оценены перспективы ее использования для контроля состояния строительных конструкций АЭС.

*Ключевые слова:* АЭС, телевизионная аппаратура.

Коды OSIC: 230.0230; 230.0040.

*Поступила в редакцию 20.12.2012.*

При выводе из эксплуатации любого блока атомной электростанции (АЭС) действующие требования МАГАТЭ предусматривают необходимость контроля состояния ядерного топлива, которое хранится в бассейнах выдержки центрального зала (ЦЗ), и контроля за доступом лиц в места его хранения. С другой стороны, действующие СНиП предусматривают периодический мониторинг строительных конструкций ответственных объектов, к которым относятся и выведенные их эксплуатации блоки АЭС. Для реализации первой задачи на таких блоках внедряются безлюдные технологии с использованием специальной телевизионной (ТВ) аппаратуры. Вторая задача, как правило, связана с необходимостью посещения ЦЗ и визуального осмотра строительных конструкций с использованием цифровой кинофотоаппаратуры. При этом следует учитывать определенный радиоактивный фон в зале, связанный с периодическим извлечением из бассейна выдержки топливных сборок для периодического осмотра. Далее возникает проблема дезактивации кинофотоаппаратуры и ее дальнейшего использования.

Поэтому исследование возможности использования стационарной специальной ТВ аппаратуры для решения задач мониторинга строительных конструкций – актуальная задача в свете предстоящего вывода из эксплуатации блоков ряда АЭС в СНГ. Рассмотрим решение

этой задачи на примере 1-го блока Чернобыльской АЭС (ЧАЭС).

Автоматизация процесса распознавания объектов, попадающих в контролируемые зоны ЦЗ (входы/выходы из лифтов на высотных отметках, плита реактора и бассейны выдержки), обусловила применение цифровых приемников изображения. С другой стороны, известно, что приемники с зарядовой связью (ПЗС) подвержены влиянию высоких радиационных полей при двух несомненных преимуществах перед вакуумными приборами: прямом переводе оптического сигнала в цифру и малых габаритах. Поэтому при разработке этой аппаратуры искались компромиссы между требованиями к радиационной стойкости ТВ аппаратуры контроля ЦЗ АЭС и требованиями к автоматизации процесса распознавания, а также между необходимостью анализа зоны контроля в широком телесном угле и требованием высокого разрешения.

Анализ пространства ЦЗ-1 ЧАЭС в системе координат  $oxyz$  (рис. 1) показывает следующее. Контролируемые зоны 1–5 (входы/выходы в ЦЗ) размещаются на высотных отметках  $Y$  от 20,2 до 43, т.е. в диапазоне высот около 23 м. Зоны 6–8 (бассейны выдержки отработанного топлива и плита реактора) – на полу, на отметке 20,2 на площади около 860 кв. м. Зоны 6–8 по всей высоте ЦЗ представляют собой потенциальную радиационную опасность для ПЗС. Область, где

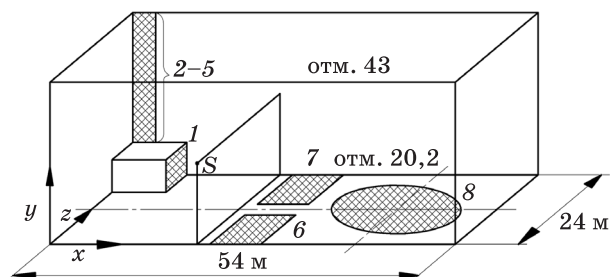


Рис. 1. Схема размещения контролируемых зон в ЦЗ-1 (пояснения в тексте).

может размещаться стационарная ТВ система, с одной стороны ограничивается пространством между зонами 1 и 6 (7), а с другой – высотой точки  $S$  ( $Y = 16$ ), где находится балкон ЦЗ.

Для обеспечения жесткости ТВ система должна крепиться к колонне, т.е. координата  $X$  точки  $S$  ( $XYZ$ ) должна быть кратна шагу колонн, равному 6 м. Исходя из описанных ограничений, точка подвеса ТВ системы характеризуется координатами  $S$  (18; 16; 1). В этом месте система доступна для периодического обслуживания.

Для того чтобы все контролируемые зоны находились в поле зрения ТВ системы при ее классическом исполнении [1], необходим широкоугольный объектив с полем зрения  $2\beta \geq 135^\circ$ . При этом оптическая ось объектива будет неизбежно ориентирована в направлении зон 6–8 – источников радиационной опасности для ПЗС. Однако применение зеркала для излома оптической оси при таком большом поле зрения практически невозможно из-за его неприемлемых габаритов. Таким образом, классические принципы построения ТВ систем были неприемлемы для контроля пространственных объектов с учетом ограничения на ориентацию оптической оси, и при проектировании ТВ системы для ЦЗ-1 ЧАЭС был использован иной подход (рис. 2).

Поле зрения ТВ канала 9 с помощью зеркала 10 трапецевидной формы было разделено на два участка и размещено на чувствительной площадке ПЗС 12. Первый участок формировался пучками лучей от контролируемых зон 1–5, которые заполняли апертуру объектива 11, минуя зеркало 10 (линия визирования  $O_1$ ).

Второй участок формировался пучками лучей от контролируемых зон 6–8, которые заполняли апертуру объектива 11 после отражения от зеркала 10 (линия визирования  $O_2$ ). При таком подходе требуемое поле зрения объектива

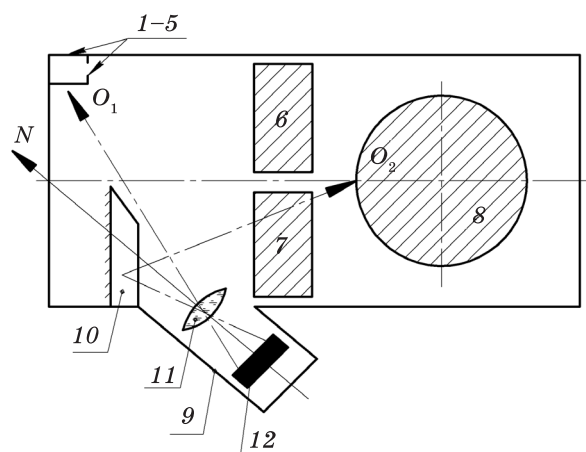


Рис. 2. Схема ориентации осей телевизионного канала в ЦЗ-1. 1–5 – зоны на высотных отметках, 6–8 – зоны на полу, 9 – ТВ канал, 10 – зеркало, 11 – объектив, 12 – ПЗС-матрица.

целиком определяется суммой горизонтальных составляющих угловых размеров зон 1–5 ( $15^\circ$ ) и зон 6–8 на полу ( $62^\circ$ ) при наблюдении из точки  $S$ . То есть при стандартном соотношении сторон чувствительной площадки ПЗС-матрицы, равном 3:4, суммарное поле зрения объектива  $2\beta$  составило лишь  $96^\circ$  (на 29% меньше, чем при классическом построении ТВ системы). При этом нормаль  $N$  к поверхности ПЗС ориентирована в сторону, противоположную области возможных высоких радиационных полей (см. рис. 2), а линейные габариты трапецевидного зеркала 10 оказываются приемлемыми для компоновки ТВ канала. Для защиты ПЗС-матрицы от боковых радиационных засветок была использована свинцовая оболочка с толщиной стенки 20 мм. Для минимизации воздействия радиоактивного излучения на оптические элементы при изготовлении объектива использовалось радиационно стойкое стекло серии 100, а зеркало изготовлено с наружным отражающим покрытием 1И21Е [2].

При использовании (1/3)'' стандартной ПЗС-матрицы (линейные размеры чувствительной площадки  $5,1 \times 6,8$  мм, количество пикселей в столбце 512) для обеспечения суммарного поля зрения, равного  $96^\circ$ , фокусное расстояние объектива должно составлять 4,3 мм. При таком фокусном расстоянии объектива пространственное угловое разрешение ТВ системы составляет 2 мрад (соответствует 48 мм на удалении 24 м). На рис. 3 представлен суммарный вид поля зрения на экране монитора при таких характеристиках системы.

Очевидно, что для решения задачи распознавания объекта такого разрешения недостаточно. Поэтому такой ТВ канал может быть использован лишь в качестве датчика движения, т.е. выполнять функции “сторожа”, регистрируя изменение спектра сигнала в контролируемых зонах 1–8. Для решения задач распознавания объектов в состав системы введен второй ТВ канал “распознавания” в классическом исполнении – на базе сканирующего зеркала, вариобъектива и цветной (1/3)” ПЗС-матрицы. Меньшее значение фокусного расстояния вариобъектива было выбрано из условия полного наблюдения самой большой контролируемой зоны – плиты реактора 8, угловой диаметр которой при визировании из точки  $S$  достигает  $37,5^\circ$ . При этом фокусное расстояние  $f'_{\min}$  составило 8 мм. Большее значение фокусного расстояния вариобъектива выбрано экспериментально из условия распознавания объекта, попадающего в контролируемую зону, с вероятностью 0,97. При этом фокусное расстояние  $f'_{\max}$  составило 80 мм. При таком диапазоне кратности фокусного расстояния объектива поле зрения канала “распознавания” варьируется в диапазоне от  $30^\circ \times 22,5^\circ$  до  $3^\circ \times 2,2^\circ$ , а пространственное разрешение – от 0,77 до 0,075 мрад (соответствует линейному разрешению от 18,5 до 1,8 мм на удалении 24 м). При размещении этого канала вблизи точки  $S$  нормаль к поверхности ПЗС направлена коллинеарно оси  $y$ , одна из осей поворота зеркала совпадает с осью  $y$ , а вторая ось ей ортогональна и лежит в плоскости зеркала. Возникающий при сканировании поворот изображения компенсируется вращением ПЗС-матрицы, чему способствуют ее малые габариты.

Взаимодействие ТВ каналов “сторожа” и “распознавания” может происходить автоматически или в ручном режиме. В первом случае оптическая ось канала “распознавания” автоматически наводится на центр той контролируемой зоны, где произошло изменение спектра сигнала в канале “сторожа”, и полученное изображение объекта передается в банк данных для анализа. Во втором случае оператор, который наблюдает картину, изображенную на рис. 3, наводит ТВ канал “распознавания” на

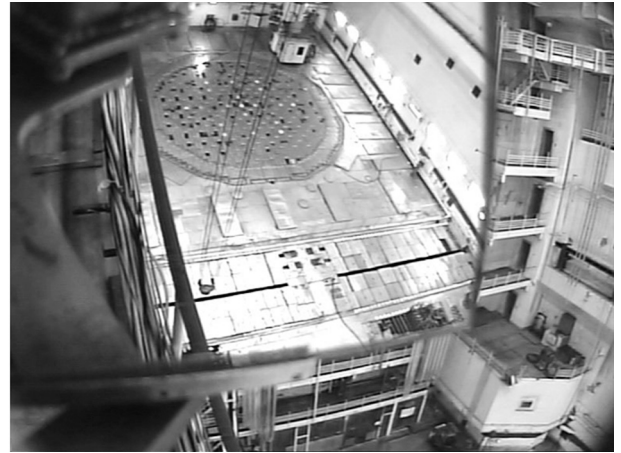


Рис. 3. Вид поля зрения ТВ канала “сторожа” (зоны на отметках видны справа).

обнаруженный объект и осуществляет трансфокацию объектива вручную.

Достигнутые показатели качества описанной выше аппаратуры – использование цифровых приемников изображения, высокое пространственное разрешение и получение изображения объектов в цвете – создали предпосылки для расширения области применения аппаратуры ТВ контроля ЦЗ. В частности, система с такими характеристиками способна проводить пространственный и спектральный анализ состояния строительных конструкций с определенной периодичностью, без необходимости посещения ЦЗ персоналом и без вноса–выноса дорогостоящей кинофотоаппаратуры.

**Выводы.** Предложенный специфический подход к проектированию телевизионной системы позволил украинским предприятиям создать уникальную аппаратуру, опыт эксплуатации которой на протяжении 10 лет подтвердил ее высокие эксплуатационные характеристики и показал возможность расширения круга решаемых ею задач. Примененный подход может быть заимствован при создании технологии и аппаратуры для телевизионного контроля состояния строительных конструкций других АЭС и при создании ряда других перспективных систем, предназначенных для работы в высоких радиационных полях.

\* \* \* \* \*

## ЛИТЕРАТУРА

1. Мирошников М.М. Теоретические основы оптико-электронных приборов. Л.: Машиностроение, 1977. 600 с.
2. Справочник конструктора оптико-механических приборов. Под ред. Кругера М.Я., Панова В.А. Л.: Машиностроение, 1977. 760 с.