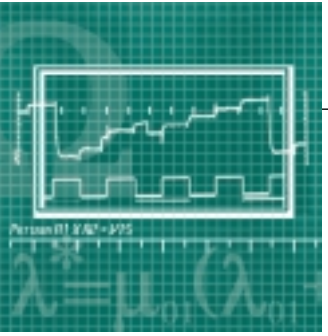


Системы аварийной сигнализации и контроля радиационной обстановки

Виталий Шустов, Юрий Петров, Сергей Шмельков, Сергей Малышев

В статье приводится описание программно-технического комплекса, предназначенного для построения систем аварийной сигнализации о возникновении самопроизвольных цепных реакций и контроля радиационной обстановки. Представлены состав комплекса, структуры систем сигнализации различной конфигурации и видов обеспечения.

Введение

Процессы использования и переработки ядерного топлива на крупных промышленных предприятиях (обогащение урана, изготовление тепловыделяющих элементов, переработка использованных тепловыделяющих элементов, получение плутония и регенерация урана) требуют контроля за состоянием ядерной безопасности. Одна из специфических, требующих решения проблем, которая возникает при обращении с ядерно-опасными делящимися материалами вне реакторов, — предупреждение об аварии, вызванной самоподдерживающейся цепной реакцией (СЦР) деления при случайной критичности технологического процесса. Системы аварийной сигнализации (САС) предназначены для быстрого обнаружения и оповещения персонала о возникновении СЦР в ядерно-опасной зоне (ЯОЗ).

С каждым годом выдвигаются все более жесткие требования к САС, которые регламентируются отраслевыми правилами ПБЯ-06-10-99 [1]. В настоящее время в САС используются технические средства, которые уже не удовлетворяют ряду современных требований. Поэтому приобрела актуальность задача создания новых высокоэффективных, высоконадежных систем сигнализации. При решении этой задачи учитывались следующие моменты:

- однозначное выполнение всех требований ПБЯ-06-10-99;
- системный подход к структуре САС;
- возможность произвольной компоновки САС под любое количество точек контроля и географическое расположение ЯОЗ;
- выполнение дополнительных функций диагностики системы и контроля радиационной обстановки.

Состав программно-технического комплекса

В состав программно-технического комплекса входят средства сбора, преобразования, обработки, хранения, передачи, отображения информации и средства аварийной сигнализации:

- преобразователи;
- средства связи с объектом;
- средства вычислительной техники;
- средства звуковой и световой сигнализации;
- программное обеспечение (ПО).

На основе существующих преобразователей (сигнализаторы ДРГ-1М, СЦР ГНЦ РФ — ФЭИ, СВРД) был разработан блок детектирования (БД) мгновенного гамма-излучения от СЦР типа БДМГ-3504. БД предназначен для преобразования мощности поглощенной дозы (МПД) и поглощенной дозы аномально высокого уровня мгновенного гамма-излучения, сопровождающего СЦР, в единичный импульс, а также для преобразования МПД гамма-излучения, характеризующей радиационную обстановку, в частоту импульсов.

Конструктивно БД состоит из следующих основных элементов: узла счётчика с фильтром, двух плат и кожуха. Для подключения внешних устройств на основании кожуха установлен герметичный соединитель. Схема узла регистрации СЦР, а также элементная база рекомендовались специалистами отдела ядерной безопасности Государственного научного центра РФ — Физико-энергетического института (ОЯБ ГНЦ РФ – ФЭИ). БД прошел испытания по утверждению типа средства измерения, зарегистрирован в Государственном реестре средств измерений под №18960-92 и допущен к применению в Российской Федерации (сертификат RU.C.38.068.A №7131).

Средства связи с объектом обеспечивают:

- сбор и первичную обработку текущих значений контролируемых параметров, позволяющих обнаружить возникновение СЦР с помощью которых можно отслеживать общую радиационную обстановку в ЯОЗ;
- контроль отклонений параметров радиационной обстановки за заданные уставки;
- формирование управляющих сигналов на устройства звуковой и световой сигнализации;
- автоматическую диагностику БД и самодиагностику;
- ведение внутреннего архива событий;
- обмен информацией со средствами вычислительной техники.

В качестве средств связи с объектом применяются программируемые контроллеры (ПК). В ПК используются технические средства серийного про-

© 2000 СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 330-3650 http://www.cta.ru

изводства, являющиеся достаточными для решения всех функциональных задач САС и удовлетворяющие требованиям ГОСТ 21552-84 [2]:

- по устойчивости к внешним воздействиям;
- по параметрам питания;
- по категории исполнения.

ПК выполнены на базе комплекса технических средств для промышленного применения фирмы Octagon Systems серии MicroPC.

Средства вычислительной техники обеспечивают интерактивное взаимодействие персонала с системой, обработку и отображение контролируемой информации на экране видеомонитора, архивирование и протоколирование информации, обмен информацией со средствами связи с объектом. Автономность функционирования средств связи с объектом независимо от средств вычислительной техники снимает особые требования к средствам верхнего уровня. Поэтому рабочее место дежурного оператора системы (далее – пульт оператора) выполняется на базе обычного персонального компьютера.

Средства звуковой и световой сигнализации обеспечивают местную аварийную (звуковую и световую) сигнализацию о возникновении СЦР и звуковую и световую сигнализацию о радиационной обстановке в ЯОЗ, а также указывают основные направления эвакуации персонала для выхода из помещений за границы ЯОЗ.

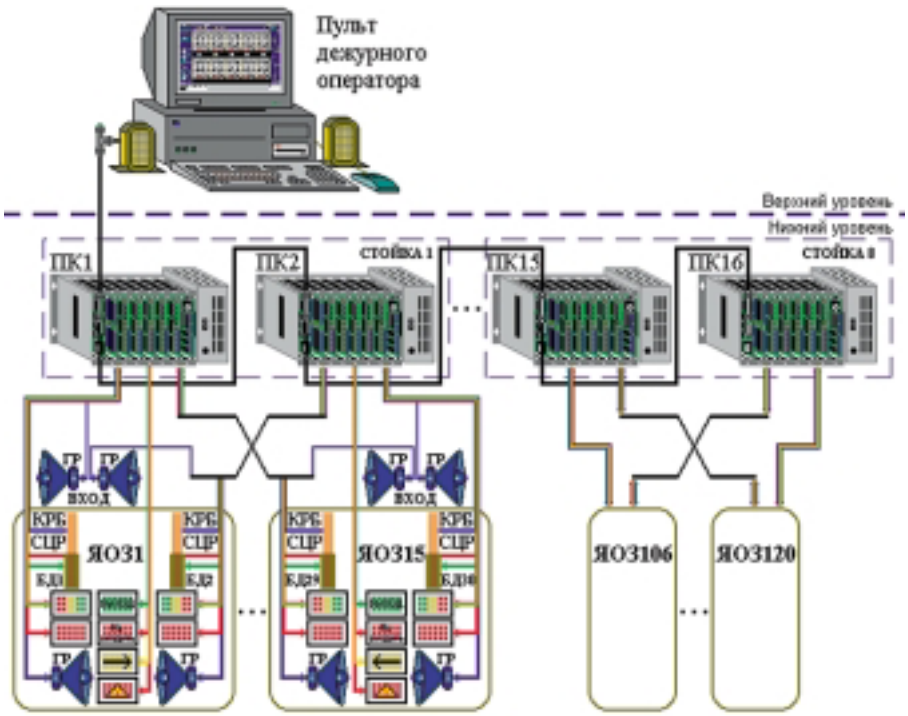
Для звуковой сигнализации применяются громкоговорители типа ГР-1.

Для световой сигнализации разработаны устройства оптической сигнализации типа УОС-142. Конструктивно устройство оптической сигнализации состоит из трех элементов: корпус, печатная плата, оптический экран. На печатной плате в зависимости от исполнения устанавливаются 24 единичных индикатора нужного цвета. Параллельное их включение обеспечивает повышенную надёжность устройства. На оптическом экране выполняется необходимая надпись или транспарант. При возникновении СЦР обеспечивается индикация аварийной обстановки в ЯОЗ включением светового сигнализатора красного цвета, светового сигнализатора красного цвета с указателем НЕ ВХОДИТЬ, световых сигнализаторов желтого цвета с указателем направления эвакуации персонала ➡, светового сигнализатора зеленого цвета с указателем ВЫХОД, световых сигнализаторов красного цвета со знаком радиационной опасности, установленных по периметру ЯОЗ. Устройства оптической сигнализации радиационной обстановки обеспечивают индикацию нормальной обстановки в ЯОЗ включением индикатора зеленого цвета, предаварийной обстановки (предупредительная сигнализация) — включением индикатора желтого цвета и аварийной обстановки — включением индикатора красного цвета.

Структура САС

Структура САС любой конфигурации представляет единый комплекс программно-технических средств с функциональным и структурным резервированием. САС выполняется в виде интегрированной децентрализованной двухуровневой системы с объединением ее компонентов в локальную вычислительную сеть. В зависимости от количества БД структура САС может изменяться. САС может иметь различную конфигурацию, от минимальной до максимальной. Минимальная конфигурация САС состоит из двух взаимно

© 2000 СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 330-3650 http://www.cta.ru



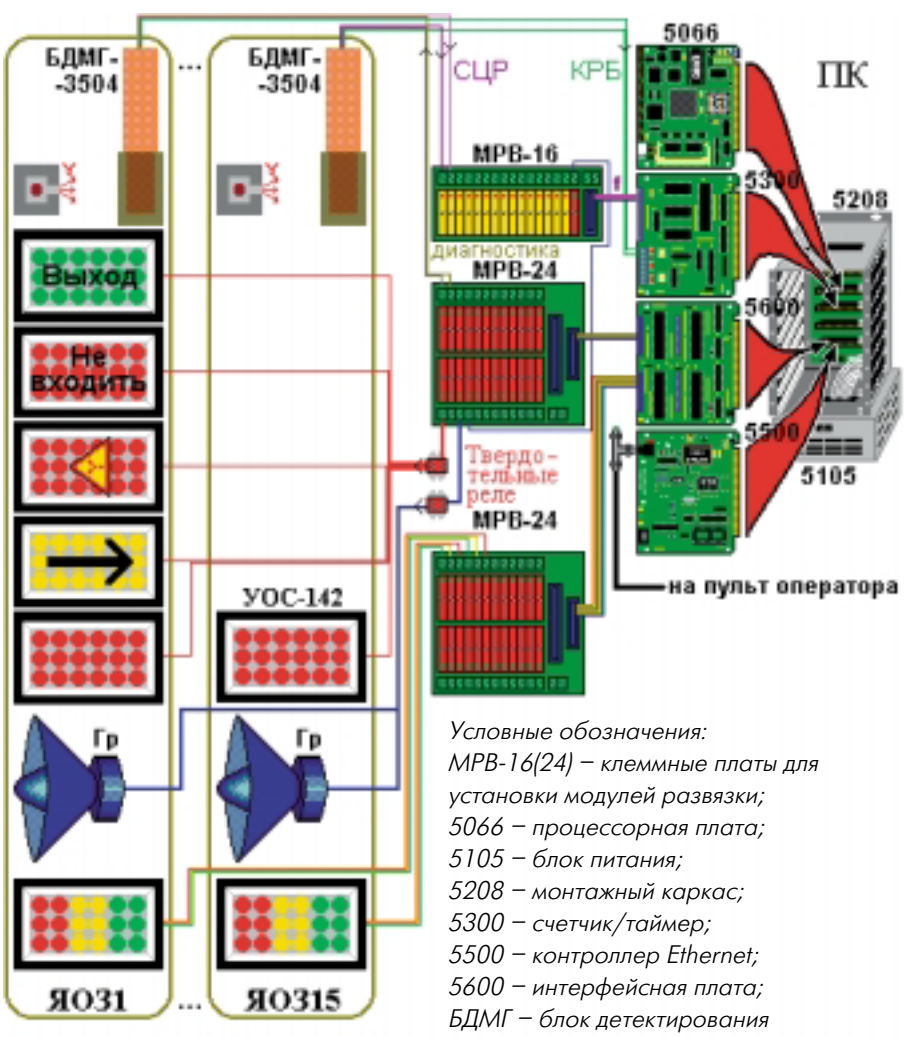
Условные обозначения:
ГР – громкоговоритель;
КРБ – контроль радиационной безопасности;
ПК – программируемый контроллер;
БД – блок детектирования;
ЯОЗ – ядерно-опасная зона;
СЦР – самоподдерживающаяся цепная реакция

***Рис. 1.** Структура системы аварийной сигнализации*

дублирующих ПК. Каждая взаимно дублирующая пара ПК обслуживает от 2 до 30 БД (от 1 до 15 ЯОЗ). При увеличении количества БД и ЯОЗ (больше 15 ЯОЗ, больше 30 БД) увеличивается количество взаимно дублирующих пар ПК. Максимальная конфигурация САС поддерживает 8 взаимно дублирующих пар, или 16 ПК. Структура максимальной конфигурации приведена на рис. 1.

Нижний уровень системы состоит из БД, ПК и устройств звуковой и световой сигнализации. Структура каналов измерения и управления приведена на рис. 2. Для обеспечения требований безопасности каждая ЯОЗ контролируется минимум двумя независимыми БД. Аварийная сигнализация срабатывает от любого из двух БД. Взаимно дублирующая пара ПК (ПК1 и ПК2) обеспечивает сбор информации с БД, их диагностику и управление устройствами звуковой и световой сигнализации. ПК1 и ПК2 принимают импульсные сигналы о возникновении СЦР и число-импульсные сигналы преобразования МПД в ЯОЗ с 15 первых БД и выдают сигналы управления устройствами звуковой и световой сигнализации во всех 15 ЯОЗ. Состав ПК1 и ПК2 идентичен и зависит от количества обслуживаемых БД и устройств сигнализации.

Верхний уровень системы обеспечивает отображение местоположения ЯОЗ с цветовой индикацией зарегистрированных СЦР, отображение текущих значений контролируемых параметров, ведение архива, протоколирование информации, ручную и автоматическую диагностику БД и ПК. При нормальном рабочем режиме вмешательства дежурного оператора в работу системы не требуется. Пульт оператора автоматически выполняет функции, предписанные управляющей программой. С помощью видеомонитора и клавиатуры дежурный оператор имеет возможность наблюдать за состоянием контролируемых ЯОЗ и оборудования, а также получать текстовые и звуковые сообщения.



Условные обозначения:
МРВ-16(24) – клеммные платы для установки модулей развязки;
5066 – процессорная плата;
5105 – блок питания;
5208 – монтажный каркас;
5300 – счетчик/таймер;
5500 – контроллер Ethernet;
5600 – интерфейсная плата;
БДМГ – блок детектирования мгновенного гамма-излучения;
УОС-142 – устройство оптической сигнализации

***Рис. 2.** Структура каналов измерения и управления контроллера*

© 2000 СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 330-3650 http://www.cta.ru

Структура программного обеспечения

Структура ПО САС включает в себя общее и специальное ПО.

Общее ПО ПК включает операционную систему ROM-DOS 6.22. Обмен данными с пультом оператора производится с использованием сетевого протокола NETBIOS. Для этого в состав общего ПО входит клиент сети Windows для MS-DOS.

Специальное программное обеспечение представлено управляющей программой ПК, разработанной на языке C++ и записанной во внутреннюю флэш-память программируемого микроконтроллера 5066.

Управляющая программа состоит из нескольких функциональных блоков:

- подпрограммы конфигурации ПК;
- основного блока программы с набором сервисных подпрограмм;
- подпрограммы обработки прерывания по аппаратному таймеру;
- подпрограммы ведения архива событий;
- подпрограммы обмена данными по сети.

Подпрограмма конфигурации ПК анализирует состояние поля перемычек и настраивает параметры программы, соответствующие количеству и адресации подключенных БД, а также сетевые адреса контроллера в общем сетевом адресном пространстве САС.

Основной блок программы реализует принцип управляющего микроядра, следящего за работой программных таймеров и состоянием программных флагов и запускающего в необходимые моменты времени сервисные подпрограммы.

Процедура обработки аварийных сигналов от БД по каналам контроля СЦР и радиационной обстановки реализуется в подпрограмме обработки прерывания по аппаратному таймеру. Применение аппаратного таймера и работа по его прерываниям гарантирует выполнение процедуры определения наличия аварийных сигналов о возникновении СЦР от БД и их обработки в строго определенные промежутки времени, вне зависимости от того, какие операции в данный момент производятся в основном блоке программы.

Подпрограмма ведения архива ведет внутренний архив для каждого ПК и регистрирует основные события с привязкой по времени. Архив событий ПК по команде оператора может быть скопирован на пульт оператора и просмотрен с помощью специальной программы-конвертора.

Подпрограмма обмена данными по сети реализует открытый сетевой протокол для мониторов Trace Mode версии 4.25.

Общее ПО пульта оператора включает операционную систему Windows NT Workstation (SP5), Microsoft Office 97 и монитор реального времени Trace Mode версии 5.x (RTM350).

Специальное ПО пульта оператора представлено управляющей программой пульта оператора и Universal OPC-сервера версии 1.0 фирмы Fastwel. Управляющая программа пульта оператора может изменяться и дорабатываться с учетом конкретных требований и условий применения САС.

Universal OPC-сервер обеспечивает обмен данными между ПК и пультом оператора и создает условия для быстрой разработки OPC-серверов различных нестандартных устройств. OPC-сервер функционирует в паре со специально разработанной динамической библиотекой (DLL) доступа к данным.

DLL доступа к данным содержит часть кода OPC-сервера, которая осуществляет периодическое обновление массивов значений переменных (тегов), видимых OPC-сервером, и реализует сетевой обмен с ПК по протоколу NETBIOS. OPC-сервер обеспечивает «публикацию» этих тегов, открывая их для доступа со стороны OPC-клиента – управляющей программы пульта оператора. Количество ПК (от 2 до 16), с которыми OPC-сервер способен поддерживать сетевой обмен, зависит от конфигурации САС.

При запуске OPC-сервера сначала производится конфигурирование DLL доступа к данным (рис. 3). При этом настраивается количество ПК, с которыми будет происходить обмен данными, период опроса сети и период обновления данных для OPC-сервера.

Далее настраивается сам OPC-сервер (рис. 4). Конфигурирование сервера (обрабатываемые сигналы, выбор контрольных точек) может быть произведено как автоматически, так и по желанию оператора выборочно.

OPC-сервер асинхронно получает от ПК и передает управляющей программе пульта оператора данные о возник-

© 2000 СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 330-3650 http://www.cta.ru

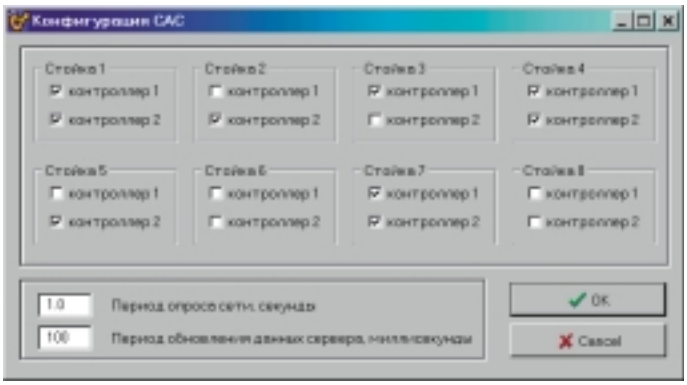


Рис. 3. *Конфигурирование DLL доступа к данным*

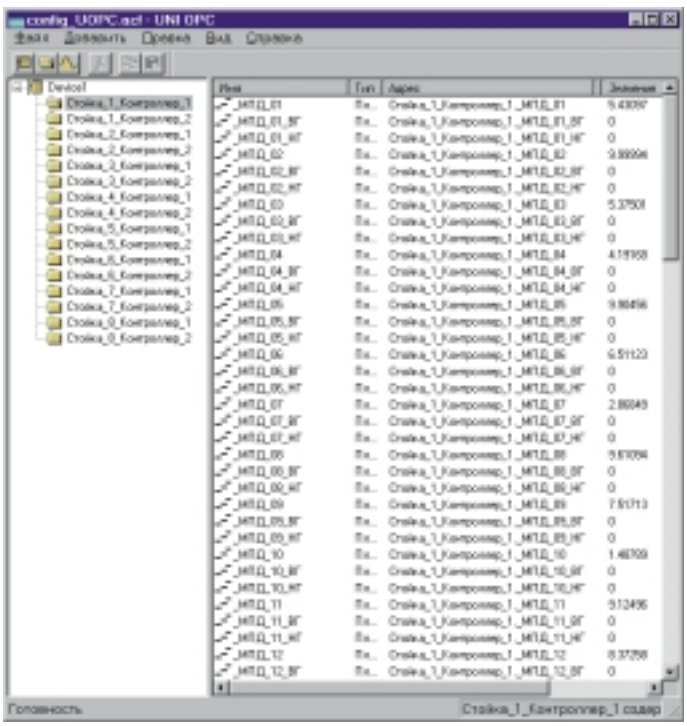


Рис. 4. *Конфигурирование OPC-сервера*

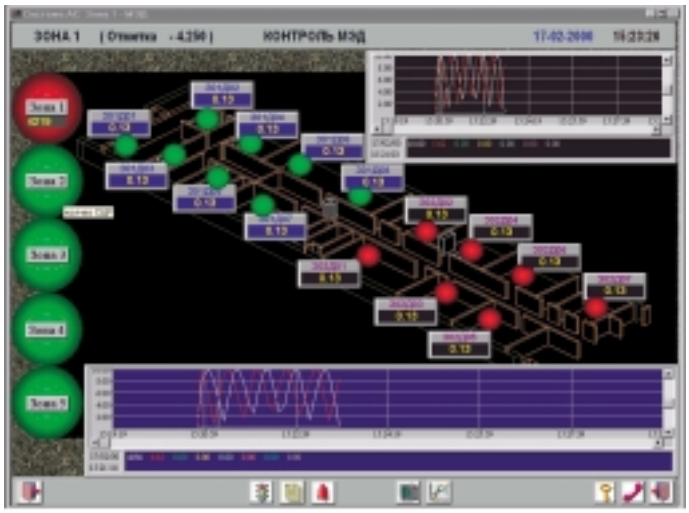


Рис. 5. *Видеограмма расположения ЯОЗ с цветовой индикацией обстановки*

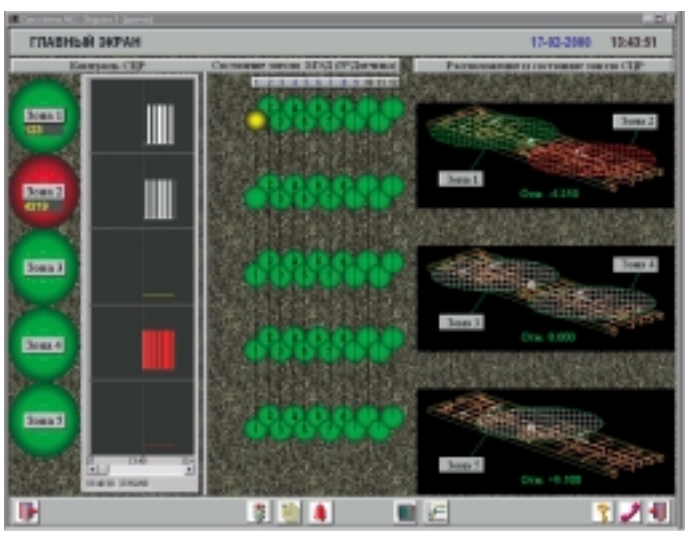


Рис. 6. *Экран радиационной обстановки на объекте контроля*

новении СЦР, радиационной обстановке и состоянии аппаратных средств. В ПК синхронно передаются значения аварийной и предаварийной границ контроля радиационной обстановки, команды оператора на проверку САС или отключение сигнализации. Через фиксированные промежутки времени OPC-сервер производит синхронизацию системного времени на всех ПК, посылая соответствующую команду на определенный групповой сетевой адрес.

При работе САС на экране видеомонитора пульта оператора отображаются:

- объемные многоуровневые и разномасштабные видеограммы с местоположением ЯОЗ и цветовой индикацией возникновения СЦР и радиационной обстановки (рис. 5);
- подробная информация о состоянии каждого БД в ЯОЗ и о радиационной обстановке на объекте контроля (рис. 6) — тренды, отражающие текущие и предельные значения контролируемых параметров и их изменения за данный промежуток времени.

Управляющая программа пульта оператора позволяет перемещаться по планам объектов контроля с возможностью дополнительной детализации, просматривать состояние оборудования. При нормальной обстановке цвет ЯОЗ и БД — зеленый. Изменение радиационной обстановки на объекте контроля сопровождается автоматическим изменением цвета фона на желтый или красный в поле соответствующих ЯОЗ и БД. В случае возникновения СЦР фон соответствующих ЯОЗ окрашивается в красный цвет.

Помимо видеоинформации применяется голосовая и тональная сигнализация о возникающих отклонениях с использованием Sound Blaster.

По запросу оператора на экране видеомонитора отображается информация из архива (рис. 7).

В архиве фиксируется каждое изменение контролируемого параметра с точностью до 1 мс. Глубина архивирования определяется заданным размером и интенсивностью потока данных. Данные из архива экспортируются в электронные таблицы и базы данных Microsoft Office 97 для подготовки отчетов.

Кроме архива данных, система предусматривает ведение архива тревог. Архив тревог служит для записи в ASCII-файл на жестком магнитном диске информации об изменении значений контролируемых параметров с регистрацией времени возникновения отклонений и номера контрольной точки или обозначения устройства, а также сообщений, содержащих тексты из словаря событий.

© 2000 СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 330-3650 http://www.cta.ru

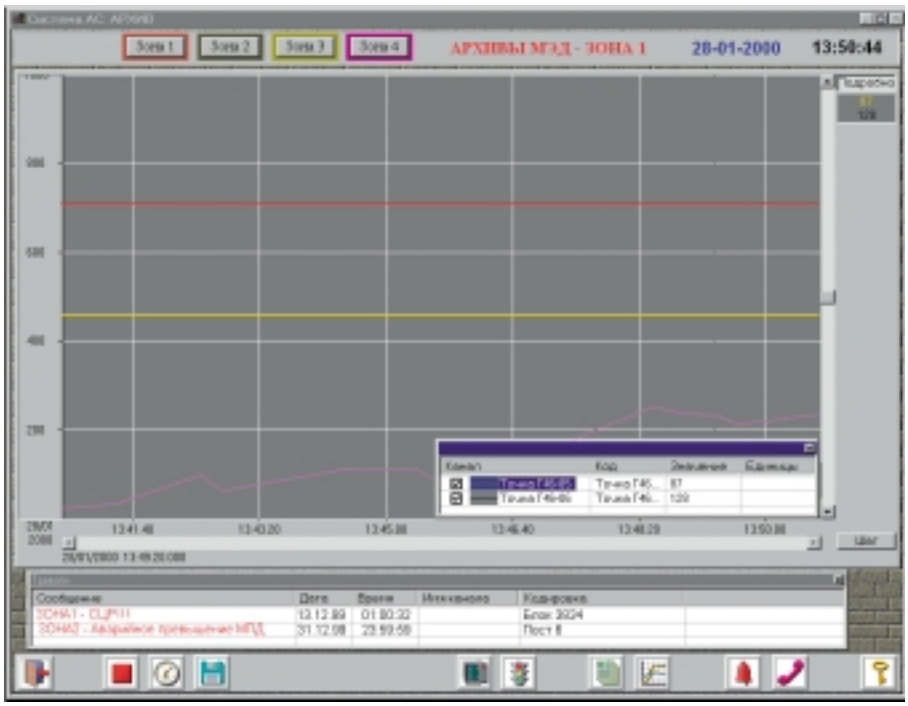


Рис. 7. *Просмотр архивной информации по зонам*

В функции оператора входят следующие действия:

- наблюдение за состоянием объектов;
- фиксация и отбой аварийных сигналов;
- корректировка границ срабатывания БД.

Все оперативные воздействия внутри управляющей программы пульта оператора разрешены только при наличии у оператора соответствующих прав доступа.

Заключение

Описанный программно-технический комплекс прошел испытания в ОЯБ ГНЦ РФ — ФЭИ на соответствие требованиям ПБЯ-06-10-99 и получил положительное заключение о его применении.

Использование в САС совмещения каналов контроля СЦР и радиационной обстановки существенно расширяет потребительские свойства комплекса. Кроме выполнения основной функции — регистрации СЦР, САС позволяет контролировать радиационную обстановку до и после возникновения СЦР и вести постоянный контроль за исправностью технических средств регистрации СЦР.

Приборная комиссия по методам и средствам контроля параметров ядерной безопасности Министерства по атомной энергии Российской Федерации дала положительный отзыв и своим решением рекомендовала программно-технический комплекс для применения в отрасли.

На ПО «Маяк» создан первый промышленный образец САС, эксплуатация которого должна подтвердить положительные результаты испытаний программно-технического комплекса, предназначенного для построения многоканальных САС о возникновении СЦР.

Авторы статьи выражают благодарность Борису Рязанову, Владимиру Литицкому, Юрию Юшину за предоставленную техническую информацию и оказанную помощь в разработке и испытаниях комплекса.

Литература

1. ПБЯ-06-10-99. Правила проектирования и эксплуатации систем аварийной сигнализации о возникновении самоподдерживающейся цепной реакции и организации мероприятий по ограничению ее последствий.

2. ГОСТ 21552-84. Средства вычислительной техники. Общие технические требования, правила приемки, методы испытаний, маркировка, упаковка, транспортирование и хранение.

**Авторы —
сотрудники ОКБ КИП и А
ПО «Маяк»
456780, г. Озерск,
Челябинской области,
ул. Ленина, 31
Телефон/факс: (35171) 441-89**

© 2000 СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 330-3650 http://www.cta.ru