

## ИНТЕГРИРОВАННАЯ С СУЗ ВИДЕОСИСТЕМА, КОНТРОЛИРУЮЩАЯ ОТСУТСТВИЕ ЧЕЛОВЕКА В ЗАЛЕ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ЯДЕРНОЙ УСТАНОВКИ

**В. В. Пешков, И. В. Жуков, А. А. Девяткин, М. В. Мочкаев**

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Рассмотрен подход к созданию видеосистемы, осуществляющей независимый от человеческого фактора контроль обстановки в реакторном зале. При обнаружении фактора опасности система формирует тревожный сигнал, направляемый в систему управления и защиты реактора. Сигнал обеспечивает акцентирование внимания оператора и блокировку возможности повышения реактивности реактора.

**Ключевые слова:** автоматизированный контроль, активная зона, тревожная ситуация, алгоритм сравнения, опорная сцена, поле зрения камер.

**INTEGRATED WITH CPS VIDEO SYSTEM AIMED AT CONTROLLING HUMAN ABSENCE IN THE HALL OF RESEARCH NUCLEAR INSTALLATION / V. V. PESHKOV, I. V. ZHUKOV, A. A. DEVYATKIN, M. V. MOCHKAEV** // There is considered the approach to creation of a video system providing independent on human factor monitoring of reactor hall environment. At revealing danger factor the system forms an alarm signal guided to the system of reactor protection and control. The signal provides operator attention focusing and blocking of the possibility of reactor reactivity growth.

**Key words:** computerized testing, core, alarm condition, algorithm comparison, supporting stage, camera coverage.

В настоящее время на всех ИЯР (импульсных ядерных реакторах), эксплуатируемых во ВНИИЭФ установлены системы видеонаблюдения. Это оборудование имеет в своем составе камеры высокого разрешения и видеопанель с гибким мультиэкранном режимом отображения, которые позволяют осуществлять с пульта управления ИЯР эффективный визуальный контроль обстановки в реакторном зале и всех смежных с ним помещениях.

Однако данные видеосистемы непосредственно не связаны с системой управления и защиты (СУЗ) ИЯР, они не способны проводить автоматизированную обработку видеозаписей по индивидуальным для каждого

ИЯР алгоритмам, вырабатывать сигналы предупреждения для операторов за пультом ИЯР или взаимодействия с СУЗ ИЯР. Это означает, что качество применения существующих систем видеонаблюдения, при всех их несомненных достоинствах, напрямую зависит от человеческого фактора, надежность которого достаточно низкая.

Повышение безопасности эксплуатации ИЯР может быть достигнуто установкой автоматизированной системы контроля отсутствия человека (СКОТЧ). Данная система при обнаружении фактора опасности (присутствия человека и т. п.) формирует сигнал в СУЗ реактора, блокирующий изменение его состояния в сторону повышения реактивности.

## Постановка задачи

Задача – силами нескольких интеллектуальных видеодатчиков (ИВД) осуществить автоматизированный контроль отсутствия человека в зале реактора. Для решения задачи контроль отсутствия людей в помещении должен охватывать весь зал. Это решается установкой нескольких ИВД с широким углом зрения. ИВД могут размещаться по всему пространству зала с целью максимального охвата мест возможного пребывания персонала и минимизации «слепых зон».

Следующим шагом является контроль обстановки в зале после того, как доступ в него был прекращен. Эта стадия начинается по сигналу СУЗ о закрытии двери зала реактора. При обнаружении тревожной ситуации (любое подозрение на наличие человека) система формирует сигнал в СУЗ реактора, блокирующий изменение состояния установки в сторону повышения реактивности. Завершение стадии контроля наступает по сигналу поднятия стола по той причине, что работа ИВД без сбоев во время работы реактора не может быть гарантирована.

Дополнительным требованием к системе является ведение журнала событий в виде серии стоп-кадров или видеопоследовательностей, на которых запечатлены нарушения, с одновременным оповещением оператора.

### Разработка алгоритма и его программная реализация

Существует несколько алгоритмов обнаружения объектов в кадре, основанных на использовании опорной сцены. Опорная сцена, в которой объект заведомо отсутствует, запоминается и затем используется для сравнения с текущим кадром. Анализируя их различие, можно сделать вывод о присутствии объекта.

Такой подход подразумевает неизменность опорной сцены и приемлем, например, внутри помещений со стабильным освещением. В процессе анализа стало понятно, большинство объектов в поле зрения: люди, птицы, тени и т. д., за исключением перемещений

самого реактора, являются факторами опасности и требуют немедленного привлечения внимания оператора и блокировки изменения состояния реактора. Для таких условий алгоритм сравнения с опорной сценой подходит наиболее эффективно и позволяет осуществить быстрое обнаружение изменений на его основе.

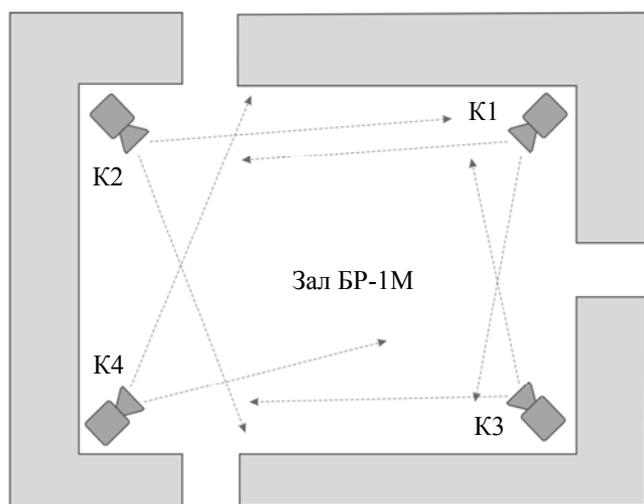
Для этого был выбран классический алгоритм обнаружения изменений в контролируемой сцене с использованием двух порогов ( $T_{ш}$  и  $T_c$ ). На первой стадии алгоритма модуль разности значений яркости каждого пикселя текущего кадра и того же пикселя опорной сцены сравнивается со значением первого порогового значения  $T_{ш}$ . Это пороговое значение задано в количестве градаций яркости и имеет смысл шумового порога. Если разность превышает порог, пиксель считается изменившимся. Оптимальное значение  $T_{ш}$  зависит от условий работы камеры (яркость освещения) и параметров формирования кадра (экспозиция, усиление). Заданное по умолчанию значение  $T_{ш} = 16$  может быть изменено программно при настройке системы. Однажды отрегулированное значение  $T_{ш}$  будет сохранять актуальность, так как условия освещения в реакторном зале неизменны. Для каждой камеры значение  $T_{ш}$  должно назначаться индивидуально. Опорное изображение для каждой камеры хранится в памяти программы.

На второй стадии работы алгоритма подсчитывается полное количество изменившихся пикселей в текущем кадре  $N$ . Если  $N$  превышает порог события  $T_c$ , изменения расцениваются как значимые, другими словами, фиксируется факт обнаружения тревожного события. По умолчанию порог  $T_c$  равен 0,03 % от общего количества пикселей в кадре. Имеется возможность программного управления значением  $T_c$ . Уменьшение  $T_c$  позволяет достичь большей чувствительности по обнаружению, например, получить возможность обнаружения более мелких предметов или деталей контролируемой сцены. Повышение порога  $T_c$  может быть полезным, так как освобождает оператора установки от анализа слишком мелких и потому не значимых для безопасности изменений.

В поле зрения камер попадают элементы, движение которых на стадии предпускового контроля является правомерным (элементы конструкции реактора, стол горизонтальной загрузки). Такие элементы исключены из контроля индивидуальными для каждой камеры масками. Для исключения из контролируемой сцены области, в которой возможно появление двигающихся элементов реактора, была создана индивидуальная маска для каждой камеры. Маска обеспечивает редактирование вручную (используя манипулятор-мышь) – задание каждой камере индивидуальной зоны обнаружения. Изображение с выбранной камеры разделено на квадраты (16×16) зоны обнаружения. Для создания маски необходимо выбрать в главном меню режим редактирования соответствующей маски, при помощи манипулятора-мыши включать и выключать зоны обнаружения и сохранить это изображение.

### Структура СКОТЧ

Основной работы системы является непрерывный контроль наблюдаемых сцен с ис-



пользованием цифровой обработки потока видеоданных в реальном времени. Используется следующий вариант размещения оборудования в помещениях ИЯР БР-1М (рис. 1). В качестве камер наблюдения применены интеллектуальные камеры ИВД [1], имеющие достаточную радиационную стойкость. Цифровая обработка распределяется между несколькими ИВД и сервером системы.

Назначение элементов системы, представленных на рис. 1, следующее: K1 – K4 – видеокamеры контроля объема зала.

### Сеанс контроля и его стадии

Сеанс предпускового контроля СКОТЧ предусматривается только в связи с проведением эксперимента, связанного с облучением, на ИЯР БР-1М. В дни между последовательными экспериментами персонал также выполняет в зале реактора мероприятия по подготовке эксперимента, регламентные работы и т. д. В этих случаях система работает в режиме видеонаблюдения.

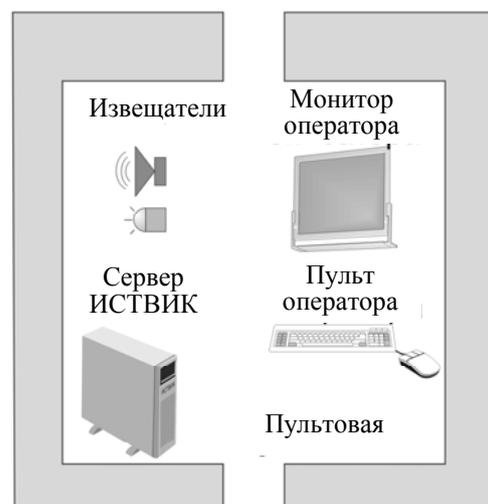


Рис. 1. Размещение оборудования СКОТЧ

## Стадия инициализации

Стартовым событием для стадии инициализации является включение питания. При включении питания все распределенные вычислительные средства системы (сервер и четыре интеллектуальных камеры) автоматически загружают и подготавливают к работе программы, необходимые данному элементу для выполнения его системной функции. Далее сервер производит контроль работоспособности всех узлов системы, включая установление сеансов связи со всеми камерами (К1–К4 на рис. 1). Завершением стадии инициализации является отображение на мониторе оператора стартового экрана, информирующего о результате инициализации.

## Стадия подготовительного контроля

Этап подготовительного контроля характеризуется наблюдением за действиями персонала, так как только эта стадия соответствует открытому входу/выходу в зал и подготовке установки к проведению эксперимента. Видимость человека с помощью ИВД иллюстрирует рис. 2.

Сервер отображает перемещения персонала в реакторном зале. Тревожные сигналы, в силу отсутствия опасности, на подготовительном этапе не вырабатываются. Завершение стадии подготовительного контроля происходит по сигналу из СУЗ о закрытии шибера.

## Стадия предпускового контроля

Стадия предпускового контроля характеризуется тем, что в зале реактора нет персонала и проход в зал закрыт. Подготовку к эксперименту на этой стадии проходит сам реактор, который, в частности, может находиться в состоянии предварительного высвечивания источников запаздывающих нейтронов.

В нормальной ситуации на этом этапе в зале не должно быть никаких изменений обстановки, никакого передвижения объектов. Это означает, что на этой стадии контроля задача камер К1–К4 фиксировать отсутствие движения по всему объему зала. Обнаружение любого изменения или перемещения объектов должно говорить о возникновении нештатной ситуации. При любом обнаруженном изменении ИВД информирует сервер, подавая сигнал тревоги.



Рис. 2. Человек в поле зрения камеры контроля объема зала

Пример обнаружения тревожного события на стадии предпускового контроля представлен на рис. 3. Такое событие выводится на монитор оператора для визуального оценивания и принятия решения (фигура человека подсвечивается красным цветом). При появлении внештатной ситуации информация о дате ее возникновения и сама тревожная сцена автоматически сохраняются в журнале событий системы.

Кроме фиксирования на мониторе оператора обнаруженного в зале человека или иного движущегося объекта (например, летящей птицы) сервер выработывает блокирующий пуск реактора сигнал, направляемый в СУЗ БР-1М. Обнаружение движущегося объекта в зале на этой стадии позволяет гарантированно предохранить его от радиационного воздействия.

Переход из режима предпускового контроля в режим контроля эксперимента происходит автоматически, по сигналу поднятия стола реактора, не требуя от оператора установки иных действий, кроме тех, которые он

в этот момент выполняет по управлению самой установкой.

### Стадия контроля эксперимента

Стадия контроля эксперимента соответствует периоду времени, когда реактор выходит на мощность в стационарном, квазиимпульсном или импульсном режимах. В соответствии с исходными техническими требованиями к интеллектуальной видеосистеме работа СКОТЧ на этой стадии предусматривается в режиме наблюдения без выдачи сигналов блокировки.

В силу значительного радиационного воздействия на камеры, их работа в этот момент времени не гарантируется.

Перевод системы на стадию завершения сеанса контроля производится по инициативе оператора с помощью манипулятора «компьютерная мышь».



Рис. 3. Тревожное событие: человек в поле зрения камеры контроля объема зала К1

## Стадия завершения сеанса контроля

Получив команду о переходе к завершению контроля, сервер предпринимает действия, необходимые для правильной структуризации и сохранности накопленных им по ходу эксперимента данных (заккрытие открытых файлов, оформление индексированных списков, оформление журнала событий и итогового протокола сеанса).

Через несколько секунд после перехода в режим завершения сеанса контроля, сервер и все периферийные устройства готовы к тому, чтобы отключение питания было безопасным как для аппаратуры, так и для сохранности данных.

## Список литературы

1. Жуков И. В., Городнов А. А., Леплявкина М. М. и др. Интеллектуальный визуальный датчик событий // Труды РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2010, вып. 15, с. 506–513.

Контактная информация –

Пешков Владислав Владимирович,  
ведущий инженер-программист ИЯРФ,  
РФЯЦ-ВНИИЭФ,  
e-mail: otd4@expd.vniief.ru

Статья поступила в редакцию 20.06.18.

Вопросы атомной науки и техники. Сер. Физика ядерных реакторов, 2018, вып. 4, с. 102–107.