

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ ИНТЕГРИРОВАННОЙ С СУЗ СИСТЕМЫ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ, КОНТРОЛИРУЮЩЕЙ ОТСУТСТВИЕ ЧЕЛОВЕКА В РЕАКТОРНОМ ЗАЛЕ РЕАКТОРА БР-1М

### INVESTIGATION OF SRCP-COUPLED VIDEO SYSTEM CREATION TO CHECK PEOPLE ABSENCE IN BR-1M ROOM

*И. В. Жуков, В. В. Пешков, А. А. Девяткин, М. В. Мочкаев  
I. V. Zhukov, V. V. Peshkov, A. A. Deviatkin, M. V. Mochkaev*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», Саров Нижегородской обл.

Federal Nuclear Center of Russia – All-Russian Research Institute of Experimental Physics

*Рассмотрен рекомендуемый подход к созданию телевизионной системы, осуществляющей независимый от человеческого фактора интеллектуальный 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.*

*The recommended approach is reviewed to video system creation, capable of performing intelligent and free of human factor control over the situation in the reactor room. At detection of danger event the system forms alarm signal and directs it to the System of Reactor Control and Protection. The signal assures operator's attention attraction and locks out the reactivity of reactor increase.*

В соответствии с требованиями п.5.2.10.6 СТО В Росатом 3031-2012 наличие системы оптического наблюдения является обязательным условием эксплуатации импульсных ядерных реакторов (ИЯР). В период с 2010 по 2013 год на всех ИЯР, эксплуатируемых во ВНИИЭФ, произведена замена устаревших как морально, так и физически, систем видеонаблюдения на современные цифровые системы Интеллект, разработанные компанией ITV (Москва). Эти системы, имея в своём составе камеры высокого разрешения и видеопанель с гибким мультиэкраным режимом отображения, предоставляют возможность эффективного визуального контроля с пульта управления ИЯР обстановки в реакторном зале и во всех смежных с ним помещениях.

Однако данные видеосистемы непосредственно не связаны с системой управления и защиты (СУЗ) ИЯР, не способны проводить автоматизированную обработку видеоизображений по индивидуальному для каждого ИЯР алгоритмам, вырабатывать сигналы предупреждения для операторов за пультом ИЯР или взаимодействия с СУЗ ИЯР. Это означает, что эффективность применения существующих систем видеонаблюдения, при всех их несомненных достоинствах, напрямую зависит от так называемого человеческого фактора, надёжность которого достаточно низка.

Повышение безопасности эксплуатации ИЯР может быть достигнуто при внедрении не зависящей от человеческого фактора системы интеллектуального контроля отсутствия людей в реакторном зале. Такая система при обнаружении фактора опасности (присутствия человека и т.п.) будет формировать сигнал в СУЗ реактора, блокирующий изменение состояния реактора в сторону повышения реактивности.

Разрабатываемая система получила проектное название ИСТВИК (интеллектуальная система телевизионного видео контроля).

#### Исходные требования

Во-первых, для решения задачи контроля отсутствия людей в помещении видеоконтроль должен охватывать весь зал. Это принципиально решается установкой нескольких видеокамер с широким углом зрения. Камеры могут размещаться по всему пространству зала с целью максимального охвата мест возможного пребывания персонала и минимизации «слепых зон».

Во-вторых, принципиальным является контроль обстановки в зале после того, как доступ в него был прекращён, т. е. в течение 1,5–2 часов в процессе подготовки импульса или выхода на стационарную мощность и, особенно, в течение 30 минут в режиме «высвечивания» предшествующих запаздывающих нейтронов перед импульсом. С точки зрения обеспечения безопасности допустимо прекращение контроля за короткое время непосредственно перед импульсом делений (величина этого промежутка ~2 с). Этот момент имеет принципиальное значение также по той причине, что бессбойная работа источников видеосигнала (камер) во время импульса не может быть гарантирована.

В случае обнаружения недопустимой ситуации (любое подозрение на наличие человека в зале и/или появление посторонних движущихся объектов, например птиц, в поле зрения камеры) система должна вырабатывать информационный запрещающий сигнал, подаваемый в СУЗ реактора.

### **Почему ВИДЕО?**

Наиболее убедительным способом решения задачи контроля отсутствия персонала было бы применение элементов систем контроля и управления доступом (СКУД), таких, как полноростовой турникет, персональные радиометки. Однако установка турникета недопустима, так как проход в реакторный зал используется также для перемещения грузов, приборов, образцов, так и самого реактора. Применение радиометок также неприемлемо, потому что регламентируется требованиями защиты информации. Таким образом, в данном конкретном случае возникает необходимость эффективного решения задачи контроля средствами видео технологий.

### **Компетенция видеотехнологий**

Видео технологии незаменимы для наглядного представления сцены. Хороши они также для обнаружения и регистрации многих событий, особенно связанных с оптическими явлениями (вспышками и т. д.). Прекрасно подходят для обнаружения объектов со стойкой световой структурой (автомобильный номер, лицо человека и т. п.). Однако человек как биологический объект не может быть обнаружен одними только видео средствами с достаточно высокой достоверностью. Для видео технологий лежащий человек обычно неотличим от мешка с сыпучим содержимым, стоящий – от манекена, идущий – от его собственной тени. Кроме того, необходимо допускать попадание человека в не просматриваемые зоны, которые хоть и минимизируются выбором размещения камер и углом зрения, но всё же присутствуют. Примерами таких зон могут служить узкие проходы и полости, в которых может оказаться человек (ящик, шкаф, кабельный канал и т.д.).

Самым сложным и ответственным моментом является обнаружение лежащего (неподвижного) человека. Рассматривая возможные сценарии трудно предполагать, что человек будет сознательно стремиться попасть под действие ионизирующего излучения. Более реальным сценарием представляется потеря сознания или потеря возможности двигаться в результате травмы или по медицинским причинам.

Видео технологии (в смысле контроля людей) способны обеспечивать контроль по принципу «с момента начала контроля никто не вошел в помещение» или «вышли столько же человек, сколько вошли».

### **Структура ИСТВИК**

Основой работы системы является непрерывный контроль наблюдаемых сцен с использованием цифровой обработки видеоконтента в реальном времени. Предлагается следующий вариант размещения оборудования в помещениях ИЯР БР-1М (рисунок 1).

В качестве камер наблюдения используются интеллектуальные камеры ИВД [1], имеющие достаточную радиационную стойкость [2]. Цифровая обработка распределяется между несколькими ИВД и сервером системы.

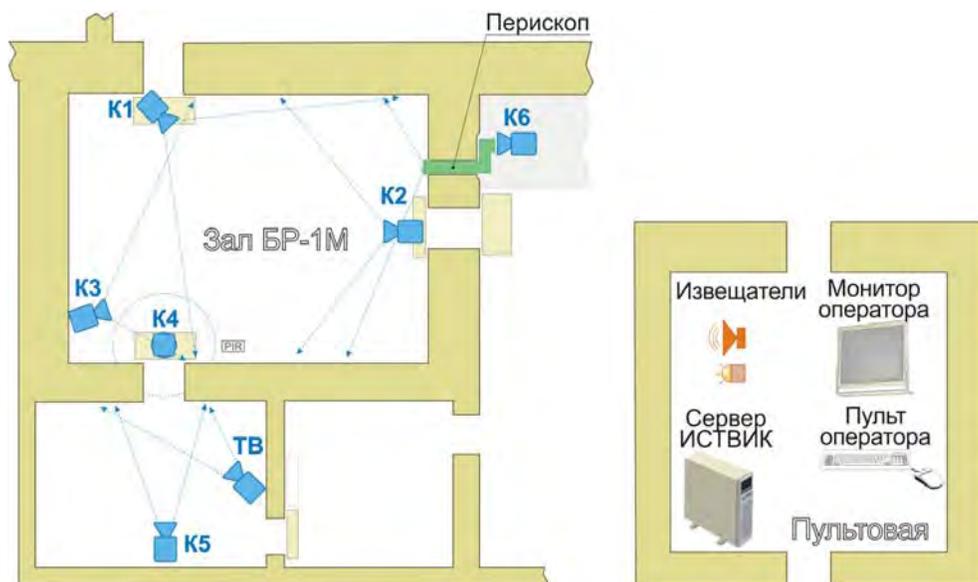


Рис. 1. Размещение оборудования ИСТВИК

Назначение элементов системы, представленных на рис. 1, следующее:

- K1 – K3 – видеокамеры контроля объёма зала;
- K4 – видеокамера учёта персонала;
- K5 – видеокамера детектирования лица человека;
- K6 – видеокамера обзора зала через перископ;
- PIR – пассивный инфракрасный датчик движения;
- ТВ – тепловизор.

Применение PIR и тепловизора позволяет повысить достоверность контроля людей. Периферийное оборудование интегрируется в систему на основе компьютерной сети Ethernet.

### Сеанс контроля и его стадии

Сеанс контроля ИСТВИК предусматривается только в связи с проведением очередного облучательного эксперимента на ИЯР БР-1М. В дни между последовательными экспериментами персонал также выполняет в зале реактора работы, связанные с подготовкой эксперимента, регламентные работы и т. д. Однако в этих случаях контроль за работой выполняется штатными средствами видеонаблюдения и сервер системы ИСТВИК не включается, или его ПО не запускается на выполнение.

Сеанс контроля ИСТВИК состоит из шести последовательных стадий.

#### Стадия инициализации

Стартовым событием для стадии инициализации является включение питания. По включению питания все распределенные вычислительные средства системы (сервер и шесть интеллектуальных камер) автоматически загружают и подготавливают к работе каждый свою собственную программу, необходимую данному элементу для выполнения его системной функции. Далее сервер производит контроль работоспособности всех элементов системы, включая установление сеансов связи со всеми камерами системы (K1-K6 на рис. 1).

Завершением стадии инициализации является отображение на мониторе оператора стартового экрана, информирующего о результате инициализации.

Момент перехода в следующую стадию определяется оператором и производится по нажатию комбинации клавиш на функциональной клавиатуре.

#### Стадия контроля исходной обстановки

Для осуществления процесса контроля исходной обстановки сервер поочередно запрашивает от каждой камеры контроля объёма результат сравнения текущей сцены с опорной сценой,

запомненной в конце предыдущего сеанса контроля и сохранённой на встроенной в ИВД карте памяти. Результат сравнения фильтруется и консолидируется в ограниченное количество масок, характеризующих пространственно разделённые объекты, которые на текущем кадре появились (или, наоборот, исчезли) по отношению к опорной сцене. Наиболее важным результатом проверки исходной обстановки является практически гарантированное выявление неподвижного (лежащего) человека в поле зрения камер контроля объёма.

При отображении на видеопанели оператора для достижения максимально комфортного восприятия отличий предполагается использовать функцию окрашивания обнаруженного объекта плоским цветом, который периодически переключается на естественное полутоновое представление.

Для подтверждения допустимости предъявленного изменения оператор нажимает соответствующую кнопку на функциональной клавиатуре, в результате чего сервер предъявляет ему следующее изменение, если таковое имеется.

Команда перехода в режим основного контроля одновременно является указанием камере о замене старой опорной сцены на текущий кадр.

### Стадия основного контроля

Особенностью работы системы в стадии основного контроля является активный контроль присутствия и действий персонала, так как только эта стадия соответствует открытому проходу в зал и активным действиям персонала по подготовке установки, образцов и всей обстановки зала к проведению эксперимента.

Камера K4 наблюдает зону прохода сверху, идентифицирует объекты и подсчитывает количество входящих и выходящих сотрудников. Минимизации возможных ошибок способствует датчик PIR, надёжно подтверждающий факт прохода персонала в зал.

Датчик лица человека, реализованный в камере K5, служит датчиком выходящего из реакторного зала персонала.

Тепловизор ТВ также позволяет значительно повысить достоверность подсчёта как входящего персонала, так и выходящего.

Принципиально важной является способность системы ответить на вопрос: «остался ли кто-либо из персонала в зале?» в тот момент, когда работы по подготовке к эксперименту закончены и пришло время закрыть проход в зал. Этот момент является завершением работы системы ИСТВИК в стадии основного контроля.

Разработка ПО детектирования лиц для ИВД к настоящему времени завершена. Проведено тестирование этого метода в реальных условиях на выходе из зала БР-1М. Пример обнаружения лиц в этом режиме показан на рис. 2.



Рис. 2. Обнаружение лица при выходе из зала БР-1М.

Результаты тестирования таковы, что из 23 выходящих из зала лица зафиксированы у всех 23 человек. Имеется одно ложное срабатывание.

Видимость с помощью ИВД человека и ширина поля зрения камеры на позиции К1 иллюстрируется на рис. 3.



Рис. 3. Человек в поле зрения камеры контроля объёма зала К1

Сервер использует всю полноту получаемых им данных для повышения достоверности учета нахождения персонала в реакторном зале. Тревожные сигналы, связанные с пересечением границ запрещенных зон не выносятся на монитор оператора по ходу их возникновения. По завершении цикла работ по подготовке эксперимента в зале (перед закрытием шибера) на мониторе оператора имеется результат в форме числа, характеризующего численность персонала, находящегося в зале. Если не ноль – от системы с помощью функциональной клавиатуры может быть запрошена информация о событиях, зарегистрированных в стадии основного контроля. Если ноль – шибер закрывается и даётся команда серверу на переход к работе системы ИСТВИК в режиме предупредительного контроля.

### Стадия предупредительного контроля

Стадия предупредительного контроля характеризуется тем, что в зале реактора нет персонала и проход в зал закрыт. Подготовку к эксперименту в 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 с точки зрения видео контроля задача упрощается – камерам контроля объёма зала К1–К3 необходимо проверять неизменность обстановки в поле их зрения. Обнаружение любого изменения или любого движения должно говорить о возникновении нештатной ситуации. О любом обнаруженном изменении камера информирует сервер, сопровождая сообщение о тревоге пакетом информации (изображение, маска, метаданные).

Сервер в стадии предупредительного контроля любое тревожное событие выводит на монитор оператора для визуального оценивания и принятия решения. Дополнительно к отображению на экране монитора может озвучиваться информационное сообщение, например «Зарегистрировано непредвиденное движение в зале реактора. Ситуация отображена на мониторе системы ИСТВИК». Сообщение должно озвучиваться с психологически выверенной интонацией, мягким, без панических нот голосом.

Только при работе системы в стадии предупредительного контроля помимо предъявления оператору для оценивания «портрета» обнаруженного события, сервер вырабатывает блокирующий пуск реактора сигнал, направляемый в СУЗ БР-1М.

Крайним случаем, в котором может быть выявлено непредвиденное движение, является активность забытого в зале сотрудника, или полёт птицы. Обнаружение человека в зале на этой стадии позволяет гарантированно предохранить его от радиационного воздействия.

В поле зрения камер К1, К2, К3, К6 попадают элементы, движение которых на стадии предпускового контроля является правомерным (элементы конструкции реактора, стол горизонтальной загрузки). Такие элементы будут исключены из контроля индивидуальными для каждой камеры масками.

### 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 (раздел 1) работа системы ИСТВИК на этой стадии не предусматривается. Желательно, чтобы переход из режима предпускового контроля в режим контроля эксперимента происходил автоматически, не требуя от оператора установки иных действий, кроме тех, которые он в этот момент выполняет по управлению самой установкой. Пока этот вопрос не рассмотрен в деталях, предполагается использование оператором для этой цели функциональной клавиатуры не позднее, чем за 2 секунды до импульса.

Активный контроль на этой стадии осуществляет только камера К6, установленная на окуляре перископа. Имея обзор большей части объёма зала (рис. 4), камера позволит зарегистрировать любые изменения, происходящие в момент импульса и сразу после него. Обнаруженные изменения, которые будут записаны в архив и в журнал событий, имеют скорее статус технологического контроля, чем контроля безопасности персонала, однако могут быть полезными в аспекте фиксации признаков импульса делений (фиксация световой вспышки в зале реактора).

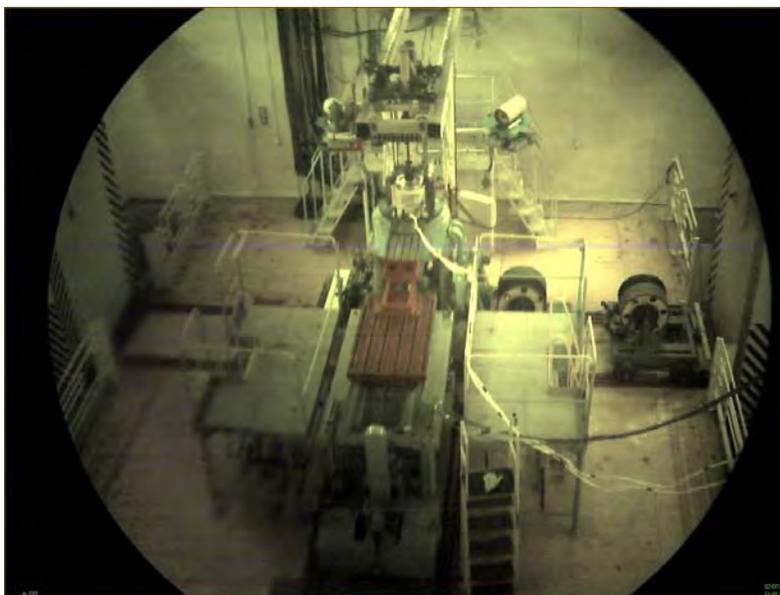


Рис. 4. Обзор зала камерой, установленной на перископе

Перевод системы на стадию финализации сеанса контроля производится по инициативе оператора с помощью функциональной клавиатуры.

### Стадия финализации сеанса контроля

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

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

### Глобальные события

Помимо событий, связанных с разбором содержания наблюдаемых сцен (появление лица в поле зрения камеры К5, изменение обстановки в поле зрения камер К1–К3, и т. д.), могут происходить глобальные события, которые подрывают возможность продолжения контроля или недопустимо снижают достоверность получаемых в ходе контроля результатов. Наглядным примером такого рода событий является перегорание лампы освещения. Это событие приведёт к возникновению отличий в текущем кадре по отношению к опорному на большой, если не на всей площади кадра. Такое событие должно предъявляться оператору для оценивания в специальной форме, отличающейся от формы предъявления «обнаруженного отличия» или «появившегося объекта», чтобы избежать неправильной интерпретации изменений, охватывающих целые зоны, содержащие множество объектов.

Глобальные события обнаруживаются и интерпретируются программным обеспечением ИВД по отдельному алгоритму [3], работающему параллельно с основным алгоритмом контроля. Предполагается реализация обнаружения следующих видов глобальных событий:

- полное пропадание освещения;
- погасание одной или группы ламп освещения;
- мигание одной или нескольких ламп;
- ослепление камеры;
- зашторивание камеры (накинут колпачок или платок на объектив);
- камера перенацелена (сдвинута).

При возникновении глобального события во время стадии предпускового контроля вырабатывается сигнал блокировки пуска реактора, так как достоверный контроль отсутствия персонала в этом случае невозможен.

### 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.
2. Жуков И. В., Елисеев И. А., Эляш С. Л. и др. Применение интеллектуального визуального датчика для измерения дозовых характеристик тормозного излучения электрофизических установок. // Тезисы докладов на 15 Всероссийской научно-технической конференции «Стойкость-2012». 5–6 июня 2012. С. 197–198.
3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. № 2008615151. Детекция радикальных изменений в кадре / И. В. Жуков, М. М. Леплявкина и др.