

3. *Зибров В.А., Румянцев К.Е.* Применение телевизионных датчиков для измерения параметров поперечного сечения труб в прокатно-металлургическом производстве // XIII Всероссийская НТК с участием зарубежных специалистов "Датчик 2001": Тезисы докладов. - Крым, 2001. – С. 34-35
4. *Дьяконов В., Абраменкова И.* MATLAB. Обработка сигналов и изображений. Специальный справочник. – Питер, 2002.
5. <http://matlab.exponenta.ru>
6. <http://mathworks.com>

УДК 621.039.5

**И.А. Каляев, К.Е. Румянцев, В.В. Макеев, С.Л. Балабаев, В.В. Коробкин,
Я.С. Коровин, А.П. Кухаренко, В.Г. Радецкий**

БЕСКОНТАКТНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЗНОВЫСОТНОСТИ ГОЛОВОК ТЕПЛО ВЫДЕЛЯЮЩИХ СБОРОК АТОМНОГО РЕАКТОРА НА ОСНОВЕ РЕКОНСТРУКЦИИ ТРЕХМЕРНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

В соответствии с мероприятиями, принятыми на всех атомных электрических станциях (АЭС) с реакторами типа ВВЭР, во время планово-предупредительных ремонтов проводятся работы по определению разновысотности положения головок тепло выделяющих сборок (ТВС), измерению кривизны направляющих каналов ТВС, характеристик пружинных блоков ТВС и усилий перемещения поглощающих стержней системы управления и защиты (СУЗ) в направляющих каналах. Ежегодная проверка разновысотности положения головок ТВС осуществляется после загрузки активной зоны реактора в соответствии с требованиями «Рабочего технологического регламента безопасности эксплуатации энергоблока АЭС» эксплуатации энергоблока АЭС с целью определения степени искривления ТВС, которое при определенных значениях делает невозможным эксплуатацию активной зоны реактора.

В настоящее время операция по определению (замеру) разновысотности головок ТВС проводится ручным способом с использованием приспособления для измерения расстояния от головок ТВС до головного разъема реактора (рис. 1) и определения разновысотности характеристик пружинных блоков ТВС (рис. 2) [1].

Указанное приспособление после загрузки ТВС в реактор устанавливается на перегрузочную машину ядерного топлива. Машина перегрузочная (МП) переводится в ручной режим и приспособление опускается вниз до механического контакта с головкой ТВС (рис.1). Одновременно приспособление позволяет измерить высоту головок только семи ТВС из 163, находящихся в реакторе типа ВВЭР-1000. На эту операцию вместе с подготовкой уходит 24 часа.

Данный способ требует наличие нештатного оборудования, необходимости механического контакта с ТВС после их установки в реактор, использования в зоне реактора многочисленных кабелей связи с датчиками на штанге приспособления. Кроме того, способ не обеспечивает возможности обработки информации в реальном масштабе времени (совмещение физической инвентаризации и паспортизации установленных ТВС). Все это приводит к высокой стоимости выполняемых работ.

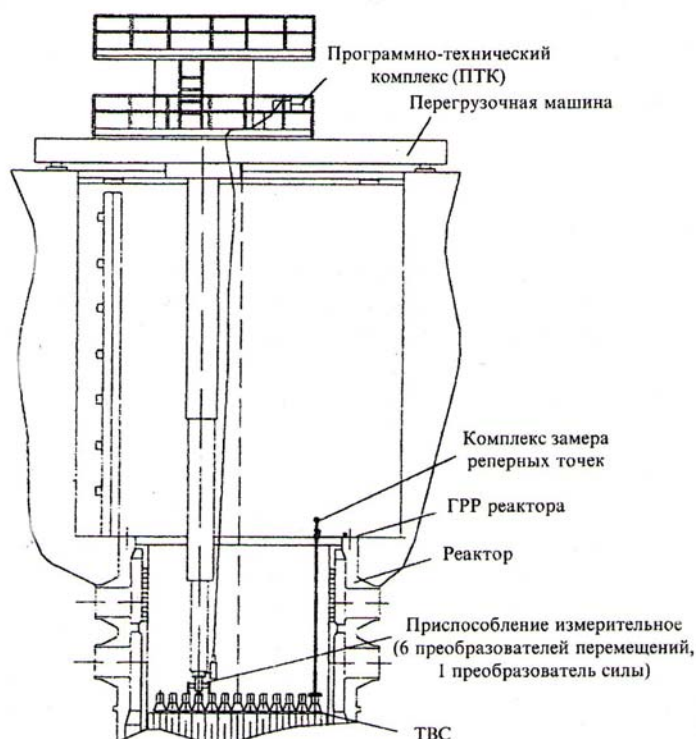


Рис.1. Существующая система контроля повысотного распределения тепловыделяющих сборок

Для повышения безопасности проводимых ядерноопасных работ и с целью удовлетворения требованиям «Рабочего технологического регламента безопасной эксплуатации энергоблока № 1 И-00-01» сотрудниками ЮНЦ РАН совместно с сотрудниками НИИ многопроцессорных вычислительных систем имени академика А.В. Каляева Южного федерального университета (НИИ МВС ЮФУ), кафедры радиоэлектронных средств защиты и сервиса Технологического института ЮФУ, Волгоградской АЭС, разработана бесконтактная система определения разновысотности головок ТВС на основе метода обработки телевизионного изображения, полученного специальной телевизионной системой, являющейся компонентом машины перегрузочной (МП).

В представленном проекте на основе полученных результатов фундаментальных исследований разработан метод и алгоритмы бесконтактного оперативного определения разновысотности головок ТВС атомного реактора типа ВВЭР-1000.

В основе предлагаемого метода бесконтактного определения разновысотности головок ТВС в активной зоне реактора лежат следующие принципы:

- контроль разновысотности основан на реконструкции трехмерной сцены по серии изображений, полученной одной видеокамерой СТС (далее в тексте камерой) с разных ракурсов;
- контроль разновысотности головок ТВС осуществляется последовательно в пределах «сот», включающих семь головок ТВС, расположенных в вершинах и в центре правильного шестиугольника. Высота установки центральной головки ТВС в «соте» предполагается заранее известной и считается исходной (эталонной);

- после определения разновысотности головок ТВС в пределах одной «соты», осуществляется переход к следующей «соте»;
- при выборе очередной «соты» предполагается, что эталонной будет выбрана одна из головок ТВС, высота которой определена на предыдущем этапе.

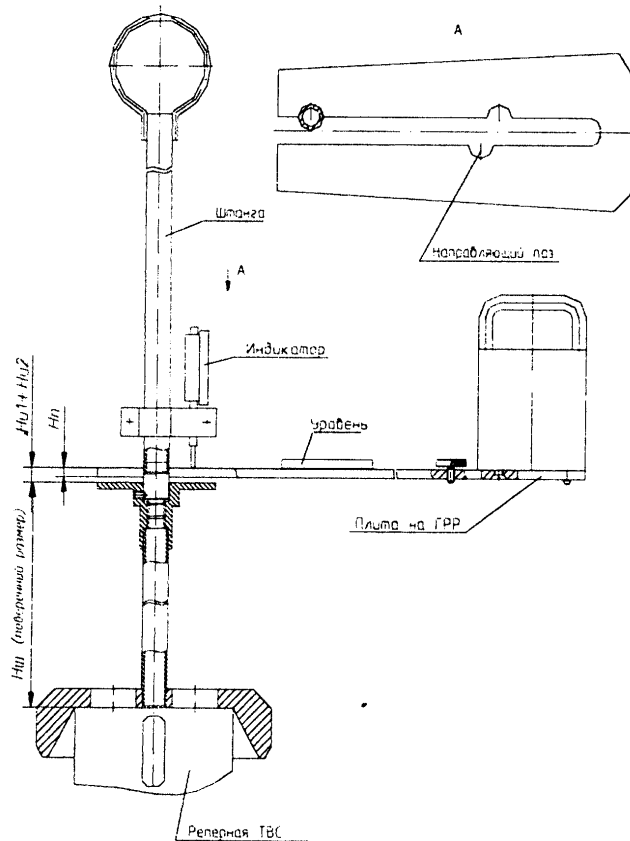


Рис. 2. Комплекс для измерения расстояния от головок реперных ТВС до главного разъема реактора (ГРП)

Методика контроля разновысотности головок ТВС предусматривает следующую последовательность решения задачи (см. рис. 3):

1. Калибровка параметров видеокамеры.
2. Получение и обработка изображений, включающие:
 - а) проведение взаимного ориентирования (расположение видеокамеры для получения серии изображений);
 - б) оценку качества изображения по гистограмме;
 - в) удаление мелких элементов изображения;
 - г) селекция фрагментов изображения цилиндров;
 - д) выделение границ верхней поверхности цилиндров;
 - е) аппроксимация верхней цилиндрической поверхности эллипсом.
3. Нахождение сопряженных точек.
4. Определение трехмерных координат и разновысотности.
5. Запись результатов и изображений в базу.
6. Повторение действий 0 – 0 для следующей "соты".0

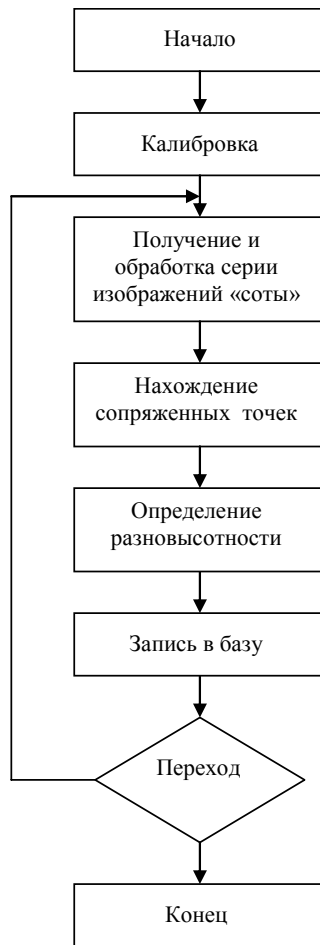


Рис. 3. Последовательность определения разновысотности головок ТВС

Контроль разновысотности в пределах “соты” осуществляется по серии изображений, полученных с разных ракурсов. Для получения такой серии изображений камера движется по окружности радиусом 800 мм с центром, совпадающим с осью центральной головки ТВС, наблюдая “соту” сверху под некоторым углом.

Каждое изображение сцены регистрируется с помощью одной камеры, оцифровывается и передается для анализа и обработки в ЭВМ. При этом обработка полученного изображения разбивается на две самостоятельные задачи:

- задача фильтрации полученного изображения с целью выделения границ;
- задача измерения параметров полученного в результате фильтрации изображения.

Сотрудниками ЮНЦ РАН и ТТИ ЮФУ разработан алгоритм обработки изображения и соответствующее программное обеспечение. Исходными для алгоритма обработки изображения являются цифровые данные, полученные с помощью СТС (“Диаконт”) и представленные в виде файлов полутоновых изображений с разрешением 768×576 пикселей при 256 градациях яркости.

Полутоновое изображение состоит из пикселей, которые могут принимать одно из 256 значений градаций яркости. Это один из наиболее распространенных типов изображений. В большинстве случаев используется глубина яркости 8 бит на элемент изображения.

Следующий этап предполагает выделение на изображении множества точек, соответствующих верхним краям цилиндров головок ТВС. Для этого осуществляется преобразование изображения к бинарному и выделение на нем контуров.

Для определения разновысотности необходимы только линии, соответствующие верхним краям цилиндров головок ТВС. Разработанный алгоритм предусматривает удаление “лишних” фрагментов.

Поскольку верхние края цилиндров головок ТВС на изображении, в общем случае, представлены кривыми линиями второго порядка, алгоритмом предусмотрен поиск на изображении множеств точек (пикселей), для описания которых используются уравнения кривых второго порядка. Все точки, не удовлетворяющие указанному критерию, также исключаются из дальнейшего рассмотрения. В результате этого, на изображении остаются только пиксели, соответствующие эллипсам.

Для дальнейшей обработки каждому такому эллипсу ставится в соответствие уравнение, описывающее множество его точек на изображении.

Уравнение каждого эллипса позволяет определить центр, полуоси, угол наклона и другие параметры.

Используя систему параметров, определенных для каждой верхней поверхности цилиндров головок ТВС в каждом из изображений серии, и выделяя сопряженные точки, можно реконструировать трехмерную сцену.

На основании разработанного метода разработано программное обеспечение, позволяющее:

- формировать трехмерное представление верхней горизонтальной цилиндрической поверхности, рассматриваемой активной зоны;
- осуществлять измерение разновысотности головок ТВС в активной зоне реактора;
- совмещать физическую инвентаризацию и проверку правильности загрузки активной зоны.

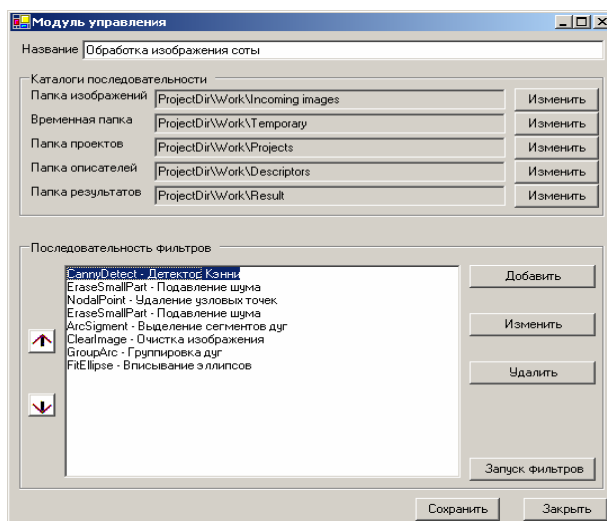


Рис. 4. Модуль управления параметрами

При разработке данного программного комплекса было принято решение об использовании модульной архитектуры. Выбранная архитектура позволила как изменять параметры этапов обработки изображения, так модифицировать последовательность описанных этапов. Эти возможности способствовали модификации рассматриваемого алгоритма, что повлияло на значительное улучшение работы программного комплекса при анализе изображений.

В настоящее время аналогов разработанной бесконтактной системы не имеется, что делает предлагаемый подход к определению разновысотности ТВС ядерного реактора типа ВВЭР-1000 конкурентоспособным.

Внедрение результатов, полученных в проекте, позволит:

- исключить механический контакт с изделием (ТВС);
- повысить точность определения разновысотности головок ТВС;
- повысить безопасность при эксплуатации ядерного реактора;
- накапливать, обрабатывать, сохранять и предоставлять базы изображений ТВС;
- получить экономический эффект не менее 24,0 млн. руб. в год на один реактор [2].

Разработанный метод будет использован при создании систем бесконтактного определения разновысотности головок ТВС на энергоблоках АЭС с реактором типа ВВЭР России, стран СНГ и за рубежом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Макеев В.В., Поваров В.П., Коробкин В.В., Лебедев О.В.* Система бесконтактного определения разновысотности головок тепловыделяющих сборок в активной зоне реактора // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2006. Прил. № 16. С.37-41.
2. *Каляев И.А., Коробкин В.В., Кухаренко А.П., Макеев В.В., Поваров В.П., Румянцев К.Е.* Инновационные разработки Южного научного центра РАН в области создания систем управления для атомной энергетики // Инновации. – 2006. № 10. С. 62-66.

УДК 621.391

В.И. Марчук, В.В. Воронин

ОБРАБОТКА ЧЕРНО-БЕЛЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ДВУХМЕРНОГО МЕТОДА РАЗМНОЖЕНИЯ ОЦЕНОК ПОЛЕЗНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ

В работе разработан метод двумерной обработки черно-белых изображений с градацией серого при ограниченном объеме априорных данных. Показана возможность обработки изображений при наличии аддитивной шумовой составляющей, а так же представлен сравнительный анализ результатов обработки с известными методами.

Наличие аддитивной шумовой составляющей при обработке черно-белых изображении приводит к ухудшению резкости, и как следствие, размытию его границ. Наряду с ухудшением резкости, наблюдается появление ложных точек, отсутствующих на исходном изображении. Для ослабления аддитивной шумовой составляющей используются пространственные (частотные) методы обработки. Пространственная фильтрация основана на перемещении маски фильтра по каждой