

Новые функционально-технические возможности автоматизированного диагностического комплекса, основанного на использовании портативной ЭВМ и специального программного обеспечения.

Гранковский К.Э., Алексеев С.В., Конотопов А.Н., Приймак С.В.

Метрологическое обеспечение измерений температуры контактными методами в объектах ядерной энергетики, позволяющее определить истинные значения измеряемых температур, является одним из условий экономичной и безопасной эксплуатации АЭС. Однако традиционно применяемые расчетные методы определения истинной температуры не могут обеспечить требуемую точность, поскольку не обеспечивают адекватный учет дополнительного нагрева термоэлектрического преобразователя интенсивным ядерным излучением при наличии контактного термического сопротивления между чувствительным элементом и объектом. Между тем вариации теплового контакта, например, в канале первого контура ВВЭР в процессе эксплуатации, по данным наших исследований, могут вызывать завышение показаний измерителей температуры до $\sim 2\text{К}$, а в ситуациях некачественного монтажа до $5 \div 6\text{К}$ при требуемой точности измерения 1К . В последние годы разработаны расчетно-экспериментальные динамические методы определения погрешностей, основанные на импульсном тепловом зондировании термопар на измерительных позициях (in situ) [1,2]. Для их реализации по заказу Нововоронежской (НВ) АЭС разработан макет автоматизированного диагностического комплекса (АДК). Его испытания на 3-ем блоке НВ АЭС подтвердили эффективность предложенного метода по диагностике качества теплового контакта термоэлектрического преобразователя. Для оценки технического уровня используются аналогичные разработки, проводимые в VUJE (Словакия).

Краткая характеристика и область применения АДК.

Прибор позволяет получать качественную и количественную информацию о тепловом контакте термодатчиков (например, термоэлектрических преобразователей) с объектом измерения путем импульсного теплового зондирования термопары. Зондирование осуществляется пропусканием нормированного импульса электрического тока через термоэлектрический преобразователь, что вызывает его нагрев, и последующую регистрацию переходного процесса изменения термо-ЭДС (переходной характеристики) при возврате температуры термоэлектрического преобразователя к исходной. Переходная характеристика содержит информацию об условиях теплообмена в радиальном зазоре «рабочий конец термоэлектрического преобразователя - наконечник канала термоконтроля» и в торцевом зазоре «рабочий конец — посадочное гнездо», что позволяет:

– оценить качество (плотность) установки рабочего конца термоэлектрического преобразователя в канале термоконтроля;

- определить методическую (из-за радиационного разогрева) погрешность измерения температуры теплоносителя;
- прогнозировать динамическую погрешность измерения температуры теплоносителя на переходных режимах реактора.

Комплекс предназначен для использования в системах измерения температур теплоносителя энергоблоков ТЭЦ и АЭС контактным методом для повышения точности измерения и повышения КИУМ в границах безопасности реакторов АЭС.

Структурная схема анализатора представлена на рис.1. В состав изделия входят:

- 1) блок термостатирования холодного спая;
- 2) коммутатор измеряемого сигнала;
- 3) предварительный усилитель сигнала термопары;
- 4) компенсационный измерительный усилитель;
- 5) блок компенсации статического сигнала;
- 6) многоканальный аналого-цифровой преобразователь;
- 7) вычислительное устройство;
- 8) коммутатор зондирующих сигналов;
- 9) блок зондирующего сигнала;
- 10) измерительные усилители тока и напряжения;
- 11) задатчик начальных условий;
- 12) индикатор.
- 13)

Принцип работы АДК.

Вычислительное устройство (7) через блок зондирующего сигнала (9) и коммутатор (8) измеряет сопротивление термоэлектрического преобразователя и рассчитывает параметры импульса нагрева. В момент измерения сопротивления измерительный канал сигнала термоэлектрического преобразователя отключен коммутатором (2). Измерение сопротивления и последующее измерение величины импульса нагрева осуществляется с помощью измерительных усилителей тока и напряжения (10) с преобразованием в цифровую форму многоканальным АЦП (6). По величине сопротивления и по типу термоэлектрического преобразователя рассчитываются параметры сигнала нагрева.

Основное требование к параметрам этого сигнала – максимально возможный подогрев термоэлектрического преобразователя для получения измеряемого

сигнала подогрева. При этом напряжение сигнала нагрева ограничено как конструкцией термоэлектрического преобразователя, так и правилами техники безопасности, величина тока зондирующего сигнала ограничена сечением электродных проводов, а время нагрева показателем тепловой инерции термоэлектрического преобразователя. После нагрева термоэлектрического преобразователя отключается блок зондирующего сигнала (9) и через коммутатор (2), термоэлектрический преобразователь подключается к предварительному усилителю (3) и измерительному усилителю (4). На компенсационный вход усилителя (4) подается сигнал компенсации равный сигналу с предварительного усилителя (3) до момента подачи импульса нагрева. Это позволяет измерять даже незначительную величину подогрева термоэлектрического преобразователя на фоне высокой температуры объекта. Алгоритм обработки полученной информации подробно приведен в главе «Особенности программного обеспечения».

Показатели назначения.

– диагностируемые термоэлектрические преобразователи	-ХА, ХК, ППР, ВР и др.;	
– напряжение сигнала преобразователя в момент зондирования	термоэлектрического	не более 30 мВ
– частота опроса	10 Гц	
– напряжение зондирующего сигнала	до 200 В	
– ток зондирующего сигнала	0,1 – 5,0 А	
– длительность зондирующего сигнала	1 ÷ 50 с	
– питание	от сети переменного тока 220 В	

Коэффициент подавления помех нормального вида частотой (50,0/-0,5) Гц и (100+/-1) Гц, при амплитуде помехи не более 30мВ, не менее 80 дБ. Коэффициент подавления помех общего вида, при разбалансе внешних измерительных цепей, равном 1 кОм, для помехи переменного тока частотой (50,0+/-0,5) Гц и амплитудой не более 100В, не менее 140 дБ.

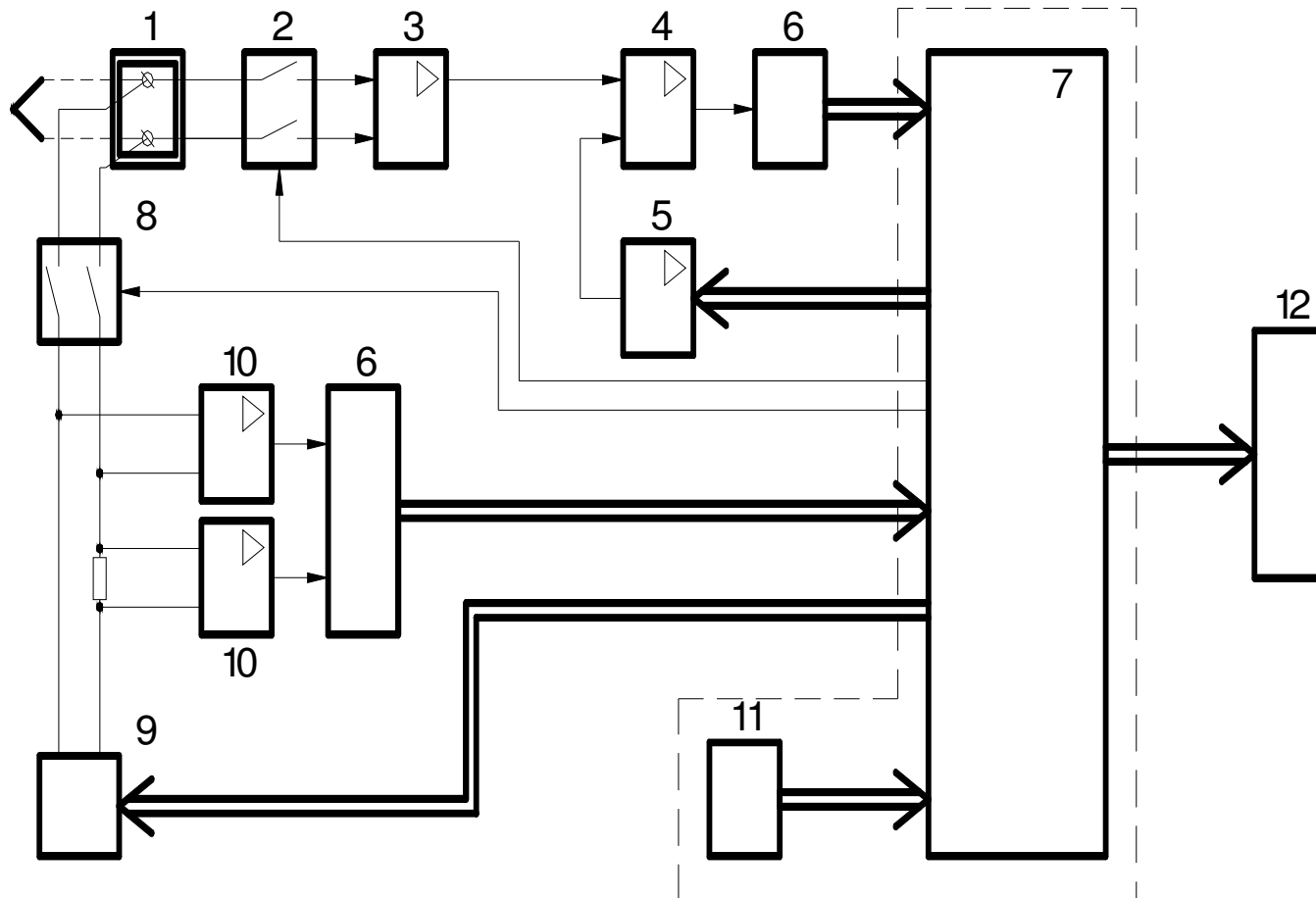


Рис.1. Структурная схема АДК.

Особенности метрологического обеспечения измерений.

Постоянная времени спада сигнала охлаждения термопары τ , то есть время за которое величина сигнала уменьшается в e раз после отключения зондирующего сигнала, рассчитывается по формуле:

$$\tau = \frac{t_2 - t_1}{\ln \frac{T(t_1)}{T(t_2)}} \quad (3.1)$$

где, t_1, t_2 – моменты времени, в которые производится измерение сигнала подогрева; $T(t_1), T(t_2)$ значения температуры подогрева, в данные моменты времени (см. рис 2).

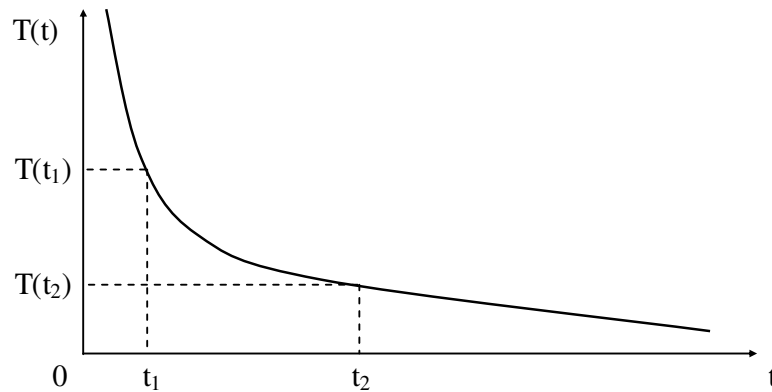


Рис.2. Изменение температуры термоэлектрического преобразователя после отключения зондирующего сигнала.

Из формулы 3.1 получаем формулу для относительной погрешности измерения постоянной времени спада $\delta\tau$:

$$\delta\tau = \frac{\Delta t_1 + \Delta t_2}{t_2 - t_1} + \frac{1}{\ln \frac{T(t_1)}{T(t_2)}} \left[\frac{\Delta T(t_1)}{T(t_1)} + \frac{\Delta T(t_2)}{T(t_2)} \right] \quad (3.2)$$

где, Δt_1 и Δt_2 – погрешность измерения времени, $\Delta T(t_1)$ и $T(t_2)$ – погрешность измерения температуры в данные моменты времени.

Как показала практика, τ для реакторных термопар составляет несколько десятков секунд. Положив $\Delta T(t_1) = \Delta T(t_2) = \Delta T$, $\Delta t_1 = \Delta t_2 = \Delta t$, $t_2 - t_1 = 20$ сек и $T(t_1)/T(t_2) = e$, получим упрощенную формулу для $\delta\tau$, из которой рассчитываются

требования к величине подогрева, точности измерения промежутков времени и температуры.

$$\delta\tau = \frac{2\Delta t}{20} + \left[\frac{\Delta T}{T(t_1)} + \frac{\Delta T}{T(t_2)} \right] \quad (3.3)$$

Для того, чтобы получить $\delta\tau = (10 \div 15)\%$ необходимо иметь:

– величину подогрева термопары $T(t)$	3 – 6 К
– разрешающая способность измерения времени, Δt	не хуже 0,1с
– разрешающая способность измерения температуры подогрева ΔT	не хуже 0,1 К

Для термопары типа ХА точность измерения сигнала подогрева, не хуже 0,005 мВ.

Особенности программного обеспечения АДК.

Программное обеспечение АДК обеспечивает:

- 1) измерение сопротивления контролируемого термоэлектрического преобразователя, определение его характеристики, рекомендации по режимам зондирования;
- 2) ввод параметров зондирующего сигнала, расчет и выдачу необходимых управляющих воздействий для блока зондирующего сигнала и блока компенсации статического сигнала;
- 3) проведение процесса зондирования и регистрации сигнала подогрева термоэлектрического преобразователя;
- 4) расчет постоянной времени спада τ по формуле 3.1 и вывод ее величины на индикатор;
- 5) создание базы данных по результатам полученных измерений для последующего анализа изменения теплового контакта в процессе эксплуатации.

Задачи, решаемые с помощью автоматизированного комплекса:

- регистрация измеряемой температуры;
- определение показателя тепловой инерции термопары на измерительной позиции при перемонтаже и в рабочем режиме энергоблока;
- определение методической погрешности измерения температуры;
- определение динамической погрешности измерения температуры;
- вычисление истинной температуры;
- сравнение результатов текущего зондирования с предыдущими

результатами.

Автоматизированный комплекс является прототипом широкой номенклатуры анализаторов теплового сопротивления различного конструктивного исполнения с любым требуемым набором функциональных возможностей для применения на исследовательских стендах, пультах управления и т.п.

Объектом применения комплекса в соответствующем варианте его исполнения могут быть: ядерные установки - сооружения и комплексы с ядерными реакторами, в том числе атомные станции; суда; космические аппараты; сооружения и комплексы с промышленными, экспериментальными и исследовательскими реакторами и ядерными стендами; системы контроля и учета тепла для теплоцентралей и теплотрасс и др., где применяются контактные методы измерения температуры.

Автоматизированный комплекс вместе с комплектом методик его применения может быть экспортируем в первую очередь в страны ближнего и дальнего зарубежья, в которых функционируют АЭС с ВВЭР.

Литература.

1. Приймак С.В. Методическая погрешность измерения температуры теплоносителя ВВЭР: Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика, 5,71 (2000).
2. Приймак С.В., Алексеев С.В., Олейников П.П., Козаченко К.С., Шаповалов Ю.Л., Шикалов В.Ф. . Динамическая погрешность измерения температуры теплоносителя ВВЭР: Атомная энергия, т. 94, вып. 3, март 2003.