

Структура АЦП . . .	В каждом корпусе	В каждом канале
Измерительная схема . . .	Тензо-, полу-, четвертьмост.	Тензо-, полу-, четвертьмост.
	Измерение напряжения	Измерение напряжения,
	термопар	частоты
Корректировка нуля . . .	Во всем диапазоне	Во всем диапазоне
Интерфейс . . .	S-Net, Ethernet	RS232, LPT, Ethernet
Рабочая температура, °C . . .	–20—70	–10—60

Вычислительная система основана на базе современных персональных компьютеров, объединенных в локальную сеть, через которую осуществляется связь с вторичными измерительными усилителями, а также с другими системами и комплексами, контролирующими оборудование. Программное обеспечение позволяет проводить индивидуальную настройку каждого измерительного канала, непрерывный параллельный, а также выборочный сбор данных с одновременной визуализацией и сохранением, многосторонний анализ полученных данных, включающий в себя фильтрацию сигнала, спектральный и корреляционный анализ.

Подобные многоканальные измерительные системы были внедрены при проведении специальных пусконаладочных динамических измерений на 1-м энергоблоке Тяньваньской (Китай), 2-м Хмельницкой, 4-м Ровенской (Украина) и 3-м Калининской АЭС. Опыт разработки даст возможность в дальнейшем использовать комплекс для решения задач эксплуатационного контроля.

УДК 621.039.55

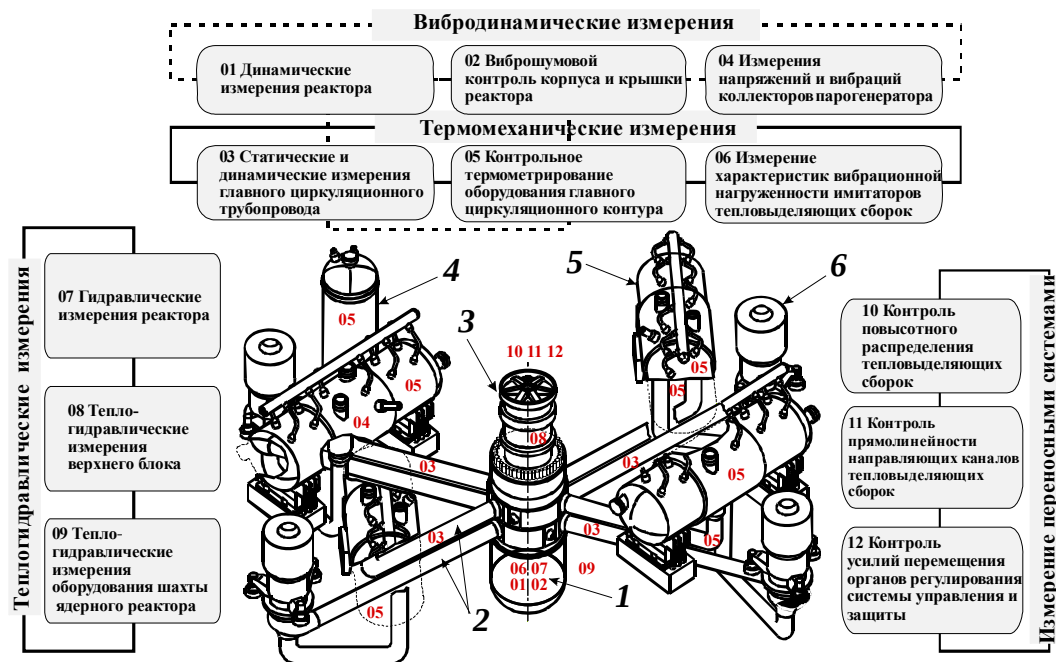
РАЗРАБОТКА И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПЕЦИАЛЬНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОБОРУДОВАНИЯ АЭС С ВВЭР

Селезнев А.В., Хайретдинов В.У., Падеров М.М., Тарханов В.В., Вахрушев П.А.

Одним из направлений деятельности ОКБ «Гидропресс» является разработка, изготовление и использование специальных измерительных средств для пусконаладочного и эксплуатационного контроля оборудования АЭС с ВВЭР. Типовые измерения, проводимые на контролируемом оборудовании реакторной установки АЭС с ВВЭР-1000, приведены на рисунке.

Необходимость создания специальных измерительных средств связана с условиями их работы, большим числом и разнообразием измеряемых параметров. К параметрам и характеристикам, которые контролируются специальными измерительными средствами, относятся:

- пульсации давления и статическое давление теплоносителя;
- вибрационные ускорения, скорость и перемещение оборудования;
- статические и динамические напряжения и деформации оборудования;
- температура теплоносителя и оборудования;
- расход теплоносителя и охлаждающего воздуха;
- параметры каналов регулирования реактивности (высотное положение головок ТВС, прямолинейность направляющих каналов тепловыделяющих сборок и усилия перемещения органов регулирования системы управления и защиты);
- частота оборотов главных циркуляционных насосов.



Типовые измерения при проведении пусконаладочного и эксплуатационного контроля: 1 — корпус реактора; 2 — главный циркуляционный трубопровод; 3 — верхний блок; 4 — компенсатор давления; 5 — парогенератор; 6 — главный циркуляционный насос

Специальные измерительные средства включают в себя первичные измерительные средства — в их состав входят измерительные преобразователи (датчики) и крепежную оснастку, защитные сегменты, направляющие каналы, блоки разъемов.

В результате проведенных в последние годы работ были разработаны, изготовлены, испытаны и задействованы при работах на АЭС датчики следующего типа: индуктивные, индукционные, тензометрические, пьезоэлектрические, пьезорезистивные и др.

В табл. 1 приведены краткие характеристики первичных преобразователей, используемых при пусконаладочном и эксплуатационном контроле. В табл. 2 представлено краткое описание элементов измерительных средств, выполняющих вспомогательные функции при проведении измерений, такие, как крепление, защита, герметизация и вывод измерительных сигналов первичных преобразователей.

Разработка специальных измерительных средств включает выбор типа и конструктивных решений чувствительных элементов на основе расчетно-экспериментальных проработок, оптимизацию конструкции и материалов, технологию изготовления, а также испытания и метрологическое обеспечение. Использование названных измерительных средств в ходе натурных исследований и при стендовых испытаниях показало их высокую эффективность в части получения достоверной информации об особенностях теплогидравлических, термомеханических и вибродинамических процессов, сопровождающих эксплуатацию АЭС с ВВЭР. Применение систем пусконаладочного и эксплуатационного контроля позволило подтвер-

Таблица 1. Характеристики первичных преобразователей

Преобразователь (элемент)	Внешний вид, назначение	Особенности и технические характеристики
1	2	3
Преобразователь пульсаций давления	Измерение пульсаций давления в потоке теплоносителя, а также абсолютного давления применительно к рабочим условиям АЭС с ВВЭР	Чувствительный элемент — пьезорезистивный (кремний на сапфире) Основные параметры Рабочее давление (давление гидроиспытаний), МПа . . . До 25 Измеряемые пульсации давления, МПа . . . 0,001—1 Частота, Гц . . . 0—300 Допускаемое отклонение коэффициента преобразования в статическом режиме ($\Delta k/k$)-100, % . . . $\pm 0,5$ Допускаемое отклонение коэффициента преобразования в динамическом режиме ($\Delta k/k$)-100, % . . . ± 4 Предел допускаемой дополнительной погрешности при влиянии температуры, %/10 °C . . . $\pm 0,2$ Гистерезис, %, не более . . . $\pm 0,2$
Датчик пульсаций давления ДПД-814	Измерение пульсаций давления в потоке теплоносителя	Чувствительный элемент — тензометрический Основные параметры Рабочее давление, МПа . . . 5—25 Измеряемые пульсации давления, МПа . . . 0,001—1 Рабочая частота измерительного канала, Гц . . . 0—50 Коэффициент преобразования $\Delta R/R/P$, 1/МПа . . . $(7—9) \cdot 10^{-4}$ Рабочая температура, °C . . . 350 Нелинейность амплитудной характеристики, % . . . 5 Неравномерность частотной характеристики, % . . . 5
Датчик пульсаций давления	Измерение пульсаций давления в потоке теплоносителя	Чувствительный элемент — тензометрический Основные параметры Измеряемое давление, МПа . . . До 25 Измеряемые пульсации давления, МПа . . . 0,005—0,1 Частота, Гц . . . 0—500 Допускаемая основная относительная погрешность преобразователя: статическая, % . . . 2 динамическая, % . . . 6 Давление гидроиспытаний, МПа . . . 25
Преобразователь термотензорирования на базе тензорезисторов типа НМТ-450	Измерение статических и динамических деформаций реакторного оборудования	Чувствительный элемент — тензометрический Основные параметры Чувствительность . . . $1,87 \pm 0,04$ Измеряемые деформации, млн^{-1} . . . ± 2500 Ползучесть тензорезистора при $\epsilon = 1000 \text{ млн}^{-1}$, $T = 25 \text{ °C}$, % . . . 0,1 Сопротивление изоляции при $T = 430 \text{ °C}$, МОм . . . 10 Часовой дрейф выходного сигнала при $T = 430 \text{ °C}$, млн^{-1} . . . 200 Максимальная сила тока питания, мА . . . 30

Окончание табл. 1

1	2	3
Прямоугольная розетка из двух полумостов термостойких тензорезисторов 	Определение напряженного состояния в измерительной точке при известном направлении главных деформаций	То же
Равноугольная розетка из трех полумостов термостойких тензорезисторов 	Определение напряженного состояния в измерительной точке при неизвестном направлении главных деформаций	То же
Преобразователь термоэлектрический 	Контрольное термометрирование элементов оборудования	Чувствительный элемент — термопара Основные параметры Измеряемая температура, °C . . . -40 — +40 Номинальная температура применения, °C . . . 250—350 Предел допускаемой основной погрешности, % . . . ± 1
Преобразователь линейных перемещений 	Измерение статических и динамических перемещений	Чувствительный элемент — индуктивный Основные параметры Измеряемое перемещение, мм . . . ±60 Частота виброперемещений, Гц . . . 0—100 Допускаемое отклонение коэффициента преобразования $(\Delta k/k) \cdot 100$, % . . . ±4 Допускаемая дополнительная погрешность коэффициента преобразования, вызванная изменением температуры окружающего воздуха, %/10 °C . . . ±0,2

дить правильность основных проектно-конструкторских решений, а также выявить аномальные события и состояния с оперативной выработкой рекомендаций по их устранению. Опыт разработки, изготовления и применения датчиков на высокие рабочие параметры позволяет в дальнейшем значительно расширить их области использования.

Т а б л и ц а 2. Элементы систем

Преобразователь (элемента)	Назначение и особенности
Крепежная оснастка	Для оперативного и надежного закрепления преобразователей на элементах внутрикорпусных устройств Особенности — включает в себя набор установочных втулок, защитных колпаков, крышек, ниппелей и желобов, существенно сокращает время монтажа непосредственно во внутриреакторном объеме
Защитные сегменты	Для защиты измерительных трасс при их прокладке в зоне перфорации внутрикорпусной шахты Особенности — представляет собой коррозионно-стойкие диски и сегменты, диаметр которых соответствует диаметру отверстий в перфорированной части шахты, устанавливаются сваркой по нескольким образующим шахты в осях прокладки измерительных трасс
Направляющие каналы	Для прокладки измерительных трасс по обечайке блока защитных труб Особенности — представляют собой защитные трубы, ввариваемые в верхнюю и среднюю плиты обечайки, существенно облегчают установку блока защитных труб с помощью полярного крана
Блок выводов	Для вывода и уплотнения измерительных трасс на выходе из внутриреакторного объема Особенности — представляет собой разъемную эллиптическую трубную доску с отверстиями под измерительные трассы, устанавливается на период испытаний на чехол привода СУЗ вместо датчика перемещений системы СУЗ, снабжен нижним фланцевым разъемом, аналогичным разъему датчика перемещений, и уплотняется по штатной технологии, измерительные трассы протягиваются через отверстия трубной доски и уплотняются с использованием прокладок из расширенного графита
Герметизирующие наконечники	Для уплотнения защитных трубок измерительных преобразователей. Исключают протечки теплоносителя из реактора при повреждении защитной трубки при сборке реактора Особенности — представляют собой цилиндрические стаканы, привариваемые к свободным концам измерительных трасс после окончания монтажных работ, заливаются эпоксидной смолой для герметизации соединительных линий по внутренней поверхности защитных трубок
Блок разъемов	Для соединения измерительных трасс с вторичным кабелем Особенности — представляет собой клеммное устройство, устанавливаемое на верхнем блоке реактора вблизи от блока выводов, оснащен согласующими электронными блоками для снижения электрических помех и повышения качества измерений, схемы распайки вторичного кабеля обеспечивают 6-проводную связь датчика с вторичной аппаратурой

УДК 621.039.53

МОДЕРНИЗАЦИЯ УПЛОТНИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ПАРОГЕНЕРАТОРОВ АЭС С ВВЭР-440, -1000

Геронтьев А.Е., Страхов А.А., Конюшков А.Г., Алексеев Д.Е.

Многолетний опыт эксплуатации уплотнительных устройств разъемных соединений оборудования реакторных установок, в том числе парогенераторов с прутковыми никелевыми прокладками выявил недостатки, которые со временем усугубляются. Из-за повреждаемости уплотнительных поверхностей фланцев вследствие