

# КОНТРОЛЬ ФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ДИНАМИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЯХ ТВЭЛ И ТВС В АВАРИЙНЫХ РЕЖИМАХ НА РЕАКТОРЕ ИГР

В.М.Малинкин, С.Н.Буколов, С.И.Крюков, И.А.Стенбок

*НИКИЭТ*

Ю.М.Казьмин, В.А.Пахниц

*ИАЭ НЯЦ РК*

## MONITORING OF PHYSICAL PARAMETERS DURING DYNAMIC TESTING OF FUEL ELEMENTS AND FUEL ASSEMBLY UNDER EMERGENCY MODES AT IGR REACTOR

V.M.Malinkin, S.N.Bukolov, S.I.Krukov, I.A.Stenbok

*NDIPE*

Y.M.Kazmin, V.A.Pakhnits

*IAE NNC RK*

При реализации программ экспериментальных исследований поведения твэлов и ТВС в переходных и аварийных режимах при ампульных и петлевых испытаниях на импульсном уран-графитовом реакторе ИГР важным является обеспечение надежного контроля гидродинамических, теплофизических и нейтронно-физических параметров. Принципиальной особенностью этих испытаний является быстропротекающий характер процессов и широкий диапазон изменения режимных параметров.

Настоящая работа посвящена проблеме разработки и создания методики нейтронно-физического расчета, методов и средств измерения параметров испытываемых изделий, расчетно-экспериментальному обоснованию и прогнозированию физических параметров и режимов испытаний.

Оперативный нейтронно-физический контроль (определение мощности, выделяемой в твэлах (ТВС), ее формы и амплитуды, интегрального энерговыделения за импульс реактора) основан на использовании сигналов детекторов внутризонного контроля (ДВК) и результатов нейтронно-физического расчета. Получена формула для оценки мощности ТВС по показаниям ДВК:

$$W_{\text{ТВС}} = \alpha_f(X, T_{\text{акт}}) \cdot G^{(5)} \cdot q^{(9)} = \alpha_f(X, T_{\text{акт}}) \cdot G^{(5)} \cdot (1/N) \sum_{i=1}^N J_{\text{двк}i} \cdot K_{\text{св}i},$$

- где:  $\alpha_f(X, T_{\text{акт}})$  - отношение среднего энерговыделения в ТВС и в месте размещения ДВК в единице массы U-235 в зависимости от паросодержания (X) и температуры кладки активной зоны ( $T_{\text{акт}}$ );  
 $G^{(5)}$  - загрузка U-235 в ТВС;  
 $q^{(9)}$  - энерговыделение в единице массы U-235 (определяется экспериментально по показаниям ДВК);  
 $J_{\text{двк}i}$  - сигнал i-го ДВК;  
 $N$  - количество ДВК;  
 $K_{\text{св}i}$  - коэффициент связи сигнала i-го ДВК с энерговыделением в единице массы U-235.

Значения  $\alpha_f(X, T_{\text{акт}})$  и другие основные характеристики реактора и ТВС ( $K_{\text{эф}}$ , радиальные и высотные распределения потоков тепловых и быстрых нейтронов, коэффициенты неравномерности энергораспределения гомогенизированных по составу зон ТВС, отношение мощности ТВС и всего реактора) получены в результате нейтронно-физического расчета для среднего разогрева кладки активной зоны в диапазоне 300...1500 К.

В качестве ДВК использовались малогабаритные высокотемпературные ионизационные камеры типа КТВ и комптоновские эмиссионные детекторы нейтронов. ДВК размещаются в ЦЭК реактора в непосредственной близости от испытываемых изделий. Динамический диапазон работы ДВК каждого типа, их основные характеристики исследованы во всех реализуемых режимах работы реактора ИГР (в диапазоне изменения плотности потока тепловых нейтронов до  $1 \cdot 10^{17}$  н/(см<sup>2</sup>с) с длительностью импульса мощности от 0,1 с и более).

Регистрация сигналов ДВК, сбор и обработка информации осуществлялась с помощью специально разработанной многоканальной автоматизированной быстродействующей системы широкодиапазонного контроля, (система СКЭП), представляющей собой программно-аппаратный комплекс на базе ПЭВМ типа IBM PC/AT. В состав СКЭП входят 3 импульсных и 8 токовых измерительных каналов с камерами КТВ, а также 8 токовых каналов с эмиссионными детекторами. Частота опроса всех каналов до 100 Гц, диапазон непрерывного автоматического контроля потока тепловых нейтронов ( $1 \cdot 10^4$  ...  $1 \cdot 10^{17}$ ) н/(см<sup>2</sup>с).

Система имеет модульную конструкцию с автоматическим контролем исправности. Работоспособность и проектные характеристики системы подтверждены испытаниями на реакторных установках.

Взаимная градуировка измерительных каналов системы, а также определение значений  $K_t$ , выполнялись в методических пусках реактора ИГР по измеренному числу делений в прокалиброванных на содержание U-235 индикаторах-мониторах и интегралов тока детекторов за время реакторного импульса.

Разработанные расчетные методики, метод и средства контроля физических параметров использовались при реализации программ исследований поведения твэл ВВЭР-1000 а также ТВС действующих исследовательских реакторов и вновь проектируемых реакторных установок в переходных и аварийных режимах в ампульных и петлевых испытаниях на ректоре ИГР. Впервые с помощью системы СКЭП были измерены в реакторных пусках форма и амплитуда мощности ТВС (твэлов) в диапазоне 13-ти порядков. Получено согласие в пределах  $\pm 6\%$  между значениями мощности, измеренными предложенным нейтронно-физическим и теплофизическим (по тепловому балансу для стационарных режимов при стабилизации теплофизических параметров) методами.

Система может использоваться для контроля и регистрации физических параметров в стационарных, переходных и аварийных режимах, а также в системах управления и защиты реакторных установок. Система может быть адаптирована под конкретные условия применения.