

сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

P13-84-338

А.К. Попов

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ
МОЩНОСТНОЙ ОБРАТНОЙ
СВЯЗИ РЕАКТОРА ИБР-2

1984

$\beta^{1/}$ вычислены параметры мощностной обратной связи реактора ИБР-2, работавшего в режиме 25 имп. мощности в секунду. Для этого был использован частотный анализ переходных процессов мощности и реактивности мощностной обратной связи, обусловленных преднамеренным изменением уровня реактивности реактора путем смещения ручного органа управления. Переходный процесс мощности регистрировался как последовательность чисел, каждое из которых пропорционально энерговыделению соответствующего импульса мощности. Переходный процесс реактивности мощностной обратной связи определялся путем вычислений.

В отличие от $\beta^{1/}$, где использован достаточно трудоемкий частотный анализ, в настоящей работе вычисление постоянной времени обратной связи сведено к вычислению простейшей интегральной оценки качества переходного процесса /оценки по "площади" процесса с учетом знака переменной/ $\beta^{2/}$, т.е. использован временной анализ. Ниже под мощностью и реактивностью понимаются отклонения их от первоначальных уровней, в качестве которых приняты среднеарифметические значения, вычисленные по 50 импульсам, непосредственно предшествовавшим началу переходных процессов. За единицу реактивности принималась эквивалентная доля запаздывающих нейтронов при импульсном режиме работы реактора $\beta_{\text{имп.}}$, являющаяся аналогом эффективной доли запаздывающих нейтронов в реакторе непрерывного действия.

Переходный процесс задающей реактивности, вносимой путем перемещения ручного органа управления, не регистрировался. Регистрировались лишь начальное и конечное положения органа управления. Поэтому делались допущения как относительно характера переходного процесса, так и его начального момента. Предполагалось, что переход задающей реактивности с начального /нулевого/ уровня на установившийся происходит с постоянной скоростью. Для оценки этой скорости, а также установившегося значения реактивности анализировались, как и в $\beta^{1/}$, вспомогательные переходные процессы мощности при малых ее уровнях, при которых влиянием мощностной обратной связи можно было пренебречь. Импульс, принимаемый в качестве начального для переходного процесса, выбирался следующим образом. Предварительно отыскивался импульс, соответствующий экстремуму реактивности. Затем определялся ближайший из предшествующих ему импульсов, при котором усредненная по трем импульсам реактивность не превышала по модулю 0,01 $\beta_{\text{имп.}}$, т.е. примерно в десять раз была меньше экстремального значения. Этот последний и принимался в качестве начального.

Чтобы по возможности ослабить влияние медленного "ухода" переменных, длительность переходных процессов ограничивалась примерно 100 импульсами /принималось, что окончанию переходного процесса соответствует импульс, номер которого больше номера импульса, соответствующего экстремуму реактивности, на 100/. Далее процессы полагались установившимися. В качестве установившихся значений мощности $P_{уст.}$ и реактивности реактора $\epsilon_{уст.}$ принимались среднеарифметические значения, вычисленные по последним 50 импульсам переходных процессов.

Реактивность мощностной обратной связи ϵ_p представлялась как разность задающей реактивности ϵ_0 и реактивности реактора ϵ : $\epsilon_p = \epsilon_0 - \epsilon$. Реактивность ϵ вычислялась по известным /зарегистрированным/ значениям мощности из уравнений кинетики реактора. В первом приближении передаточная функция мощностной обратной связи представлялась передаточной функцией инерционного звена $W(p) = \epsilon_p(p) / P(p) = k / (T_p + 1)$, где $k = \epsilon_{уст.} / P_{уст.}$ - коэффициент передачи, T - постоянная времени, p - комплексная переменная преобразования Лапласа, т.е. зависимость ϵ_p от P аппроксимировалась дифференциальным уравнением $T(d\epsilon_p(t)/dt) + \epsilon_p(t) = kP(t)$, где $P(t) = \sum_{n=1}^{\infty} E_n \delta(t - nT_n)$ - последовательность импульсов с периодом T_n , E - энерговыделение n -го импульса мощности, δ - дельта-функция, t - время.

Для вычисления постоянной времени осуществлялась замена переменных и рассматривалась нормированная обратная связь с передаточной функцией

$$W^*(p) = \frac{W(p)}{k} = \frac{\epsilon_p^*(p)}{P^*(p)} = \frac{1}{T_p + 1},$$

где $\epsilon_p^*(p) = L\{\epsilon_p(t) / \epsilon_{уст.}\}$, $P^*(p) = L\{P(t) / P_{уст.}\}$ - соответственно лапласовы изображения реактивности обратной связи и мощности в долях от их установившихся значений, L - символ преобразования Лапласа.

Для нормированной обратной связи справедливы следующие соотношения. Для входного сигнала P^* произвольного вида:

$$\epsilon_p^*(p) = \frac{1}{p} - \Delta\epsilon_p^*(p) = W^*(p) P^*(p) = W^*(p) \left(\frac{1}{p} - \Delta P^*(p) \right),$$

для входного сигнала P_1^* в виде единичного скачка

$$\epsilon_{1P}^*(p) = \frac{1}{p} - \Delta\epsilon_{1P}^*(p) = W^*(p) P_1^*(p) = W^*(p) \frac{1}{p}.$$

Здесь ΔP^* , $\Delta\epsilon_p^*$, $\Delta\epsilon_{1P}^*$ - отклонения переменных от их установившихся значений, равных единице. Из этих соотношений следует равенство

$$\Delta\epsilon_{1P}^*(p) = \Delta\epsilon_p^*(p) - W^*(p) \Delta P^*(p),$$

которое при $p = 0$ переходит в интегральное уравнение с действительными переменными:

$$\int_0^{\infty} \Delta\epsilon_{1P}^*(t) dt = \int_0^{\infty} \Delta\epsilon_p^*(t) dt - \int_0^{\infty} \Delta P^*(t) dt.$$

Здесь учтено, что $W^*(p=0) = 1$. Постоянная времени T , численно равная левой части интегрального уравнения, вычислялась из приближенного соотношения, вытекающего из этого уравнения:

$$T \approx T_n \left[\sum_{J=J1}^{J2} \left(1 - \frac{\epsilon_{PJ}}{P_{уст.}} \right) - \sum_{J=J1}^{J2} \left(1 - \frac{E_J}{E_{уст.}} \right) \right],$$

где $J1$ и $J2$ - номера импульсов, принятых в качестве начального и конечного для переходных процессов, E_J , $E_{уст.}$ - текущее и установившееся значения энерговыделений импульсов мощности.

Результаты расчетов сведены в таблицу. Они относятся к режиму работы ИБР-2 с частотой 5 имп./с при начальном уровне средней мощности 1 МВт. На рисунке представлены переходные процессы, соответствующие эксперименту 1 /см. таблицу/. Там показаны задающая реактивность ϵ_0 , реактивность мощностной обратной связи ϵ_p и реактивность ϵ_{pA} , соответствующая вычисленным параметрам аппроксимирующей передаточной функции обратной связи. Степень близости аппроксимирующего и исследуемого процессов оценивалась их среднеквадратическим отклонением

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{J=J1}^{J2} (\epsilon_{PJ} - \epsilon_{pA})^2},$$

где $N = J2 - J1 + 1$ - число импульсов переходного процесса. Как видно из таблицы, принятые допущения оказались более оправданными для номинального расхода теплоносителя, которому соответствуют существенно меньшие значения σ .

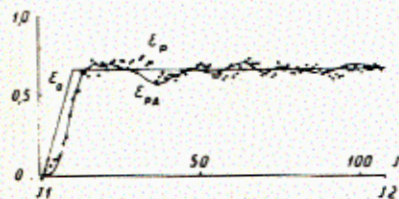
Вычисление параметров обратной связи строилось на ряде допущений. Для иллюстрации влияния одного из них, а именно - принятой скорости изменения задающей реактивности, в таблице в скобках приведены значения T и σ , соответствующие меньшей /на 25%/ скорости.

Поскольку переходные процессы задающей реактивности не регистрировались, а зарегистрированные переходные процессы мощности, строго говоря, не стремились к установившемуся значению, вычисленные значения параметров мощностной обратной связи можно рассматривать лишь как грубые оценки.

Таблица

Исходные и расчетные величины

		8.06.83			
Дата экспериментов					
Номер эксперимента	1	2	3	4	
Расход теплоносителя в долях от номинального	1	1	0,6	0,6	
Смещение ручного органа управления, мм:					
- компенсирующего органа	2,1	-	2,1	-3,3	
- промежуточного регулятора	-	10	-	-	
Установившееся значение задающей реактивности, $\beta_{\text{имп.}}$	0,67	0,6	0,67	-1,06	
Установившаяся мощность /отклонение/ $P_{\text{уст.}}$, кВт	66	70	64	-109	
Коэффициент передачи мощностной обратной связи k , $\beta_{\text{имп.}}/\text{кВт}$	0,0102	0,0086	0,0105	0,0097	
Постоянная времени T , с	9,7 /10,1/	10,2	9,5 /9,8/	9,4 /9,9/	
Среднеквадратическое отклонение исследуемого переходного процесса от аппроксимирующего σ	0,04 /0,06/	0,07	0,12 /0,12/	0,15 /0,1/	



Переходные процессы реактивности при смещении компенсирующего органа на 2,1 мм. Начальный уровень мощности 1069 кВт, расход теплоносителя номинальный/100 м³/ч. J - номер импульса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пепельшев Ю.Н., Попов А.К., Рогов А.Д. ОИЯИ, P13-83-471, Дубна, 1983.
2. Красовский А.А., Поспелов Г.С. Основы автоматики и технической кибернетики. Госэнергоиздат, М., 1962.

Рукопись поступила в издательский отдел
17 мая 1984 года.

Попов А.К.
Оценка параметров мощностной обратной связи
реактора ИБР-2

P13-84-338

Для реактора ИБР-2 с помощью временного анализа зарегистрированного переходного процесса мощности и вычисленного переходного процесса реактивности обратной связи определены параметры мощностной обратной связи, представленной в виде линейного звена первого порядка. Для определения параметров использованы интегральные оценки переходных процессов. Вычисления выполнены для частоты 5 имп. мощности в секунду при средней мощности реактора 1 МВт.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1984

Перевод О.С.Виноградовой

Popov A.K.
The Estimate of Power Feedback Parameters
of IBR-2 Reactor

P13-84-338

The transfer function parameters of IBR-2 power feedback are estimated by time analysis of record power transient and power feedback reactivity transient. Integral estimates of transients were used. Calculations were performed for 1 MW mean power of reactor and 5 pps. The power feedback is approximated by a simple lag.

The investigation has been performed at the Laboratory of Neutron Physics, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1984