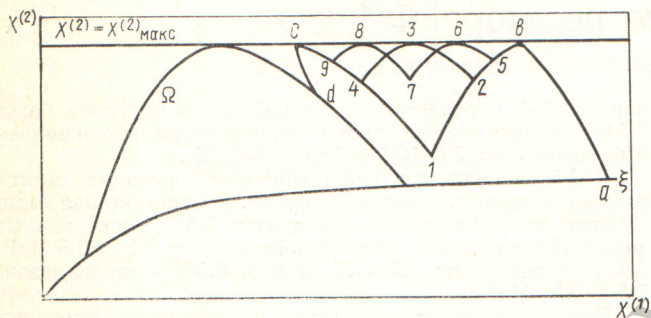


Аппроксимация граничного управления при оптимизации ксеноновых переходных процессов

ПАВЛОВ В. И., СИМОНОВ В. Д.

Траектория $abcd$ на рисунке иллюстрирует характер нестационарного ксенонового процесса при трехфазном оптимальном управлении мощностью реактора перед ее снижением [1]. Участки ab и cd — это фазы допустимой минимальной U_{\min} и номинальной $U_{\text{ном}}$ мощности реактора. В точках b и c мощность скачком повышается от U_{\min} до U_b и от U_c до $U_{\text{ном}}$. Участок bc — это фаза граничного управления, где мощность непрерывно уменьшается от U_b до U_c по закону, обеспечивающему удержание концентрации ^{135}Xe на предельном разрешенном уровне, который задает прямая $X^{(2)} = X_{\text{макс}}^{(2)}$. Очевидно, что такое граничное управление практически осуществить трудно.



Изменение концентрации йода $X^{(1)}$ и ксенона $X^{(2)}$ при трехфазном управлении мощностью реактора: ξ — кривая равновесных состояний; Ω — кривая изменения отравления при $U(t) = U_K$ (касательная к $X^{(2)} = X_{\text{макс}}^{(2)}$)

Увеличение продолжительности фазы граничного управления при ступенчатой аппроксимации, %

$\rho, \%$	$U_K/U_{\text{ном}}$	Число ступенек мощности			
		1	2	3	4
0,9	0	95,2	8,2	3,0	1,8
	0,1	82,3	5,4	1,9	1,2
	0,2	35,7	3,2	1,4	0,9
1,3	0,3	6,6	1,5	0,8	0,4
	0	12,2	2,5	1,1	0,6
	0,1	6,3	1,2	0,7	0,3
1,7	0,2	2,1	0,5	0,2	0,1
	0,3	0,8	0,2	0,1	< 0,1
	0	3,2	0,7	0,3	< 0,2
	0,1	1,1	0,2	0,1	< 0,1
	0,2	0,2	0,1	< 0,1	< 0,1
	0,3	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1

Известна попытка аппроксимировать непрерывное управление релейным [2]. Чтобы увеличение продолжительности граничного управления не превысило 8%, приходится не менее 16 раз переключать мощность от номинальной до минимальной и обратно с интервалом ~ 5 мин. Такое управление едва ли проще непрерывного.

Существенного упрощения можно добиться заменой непрерывного управления кусочно-непрерывным, или ступенчатым, если при этом сохранить неизменными координаты, соответствующие начальному и конечному состояниям реактора на граничной прямой. Тогда фазы ab и cd оптимального управления не претерпят никаких изменений, а граничное управление будет заключаться в ступенчатом снижении мощности от U_b до U_c .

Поскольку исходящая из точки b соответствующая управлению $U(t) = U_b$ траектория и входящая в точку c траектория с управлением $U(t) = U_c$ касаются прямой $X^{(2)} = X_{\text{макс}}^{(2)}$ в точках b и c соответственно, при одноступенчатой аппроксимации граничного управления переключение мощности с U_b на U_c в точке пересечения этих траекторий предотвращает недопустимое переотравление реактора. Аналогичные рассуждения позволяют найти траектории для любого числа ступенек. На рисунке в качестве примера схематически изображены траектории граничного управления, аппроксимированного одной ($b1c$), двумя ($b234c$) и тремя ($b56789c$) ступеньками мощности.

При числе ступенек n можно использовать, например, такую последовательность управления мощностью реактора: $U_m = U_b - \frac{U_b - U_c}{n} m$ ($m = 0, 1, \dots, n$). Выбор

числа ступенек мощности в каждой конкретной ситуации определяется необходимой точностью аппроксимации. Увеличение продолжительности фазы граничного управления вследствие замены непрерывного управления кусочно-непрерывным зависит не только от числа ступенек мощности, но и от свойств реактора, оперативного запаса реактивности ρ и уровня U_K , до которого должна быть снижена мощность реактора.

Как следует из данных таблицы, полученных расчетным путем для реактора типа ВВЭР [3], при $\rho \geq 0,9\%$ и трех ступеньках мощности увеличение продолжительности фазы граничного управления составит не более 3% даже при подготовке к останову реактора. Запас реактивности выше 1,5% позволяет ограничиться для этого одноступенчатой аппроксимацией.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рудик А. П. Ядерные реакторы и принцип максимума Понтрягина. М., Атомиздат, 1971.
2. Герасимов А. С. «Атомная энергия», 1978, т. 44, вып. 5, с. 452.
3. Васильев С. А. и др. «Kernenergie», 1978, Bd 21, N 3, S. 72.

Поступило в Редакцию 26.06.79