

в  $k$ -ю. Очевидно,

$$\varphi_{kj}(t) \geq 0, \quad \int_0^{\infty} \varphi_{kj}(t) dt = 1. \quad (2)$$

Связь между зонами предполагалась слабой, т. е. принималось, что  $\alpha_{kj} = \text{const}$ , а реактивность  $\rho_k$  не зависит от переменных, описывающих  $j$ -ю активную зону ( $j \neq k$ ).

Для исследования устойчивости стационарного режима:

$$N_k = N_{k0}, \quad C_{ik} = C_{ik0}, \quad \rho_k = \rho_{k0}, \quad k=1, 2; \quad i=1, \dots, m, \quad (3)$$

уравнения (1) были линеаризованы и дополнены линеаризованными уравнениями обратной связи каждой зоны. Последние были представлены в интегральной форме:

$$\frac{\rho_k - \rho_{k0}}{l_k} = - \int_0^t f_k(t-\tau) \frac{N_k(\tau) - N_{k0}}{N_{k0}} d\tau, \quad (4)$$

причем вид ядер  $f_k$ , зависящий от вида уравнений обратной связи, не конкретизировался. Было составлено характеристическое уравнение линеаризованной системы, анализ которого позволил получить следующий критерий устойчивости.

Состояние равновесия (3) асимптотически устойчиво при любых положительных коэффициентах связи, если

$$\text{Re } w_1(p) > 0 \text{ и } \text{Re } w_2(p) > 0 \text{ при } \text{Re } p \geq 0, \quad (5)$$

где

$$w_k(p) = p + \frac{\beta_k}{l_k} + F_k(p) - \sum_i \frac{\beta_{ik}}{l_k} \frac{\lambda_{ik}}{p + \lambda_{ik}}, \quad k=1, 2, \quad (6)$$

$F_k(p)$  — коэффициент передачи обратной связи к  $k$ -й активной зоне [преобразование Лапласа ядра  $f_k(t)$ ].

Функции комплексного переменного  $p$ , подчиняющиеся неравенствам (5), являются положительными действительными функциями [3], а неравенства (5) эквивалентны [3] условиям: 1)  $\text{Re } w_1(j\omega) > 0$ ,  $\text{Re } w_2(j\omega) > 0$  при всех  $\omega \geq 0$ ; 2) функции  $w_1$  и  $w_2$  не имеют полюсов справа от мнимой оси и на самой мнимой оси (исключение составляет случай, когда на мнимой оси имеются только простые полюсы и только с положительными вычетами).

Показано, что условие

$$\text{Re } w(p) = \text{Re} \left[ p + \frac{\beta}{l} + F(p) - \sum_i \frac{\beta_i}{l} \frac{\lambda_i}{p + \lambda_i} \right] > 0 \quad \text{при } \text{Re } p \geq 0, \quad (7)$$

записанное для отдельного («точечного») критического реактора, является достаточным условием асимптотической устойчивости стационарного режима этого реактора.

(№ 474/5866. Статья поступила в Редакцию 11/V 1970 г., аннотация — 26/X 1970 г. Полный текст 0,45 а. л., 17 библиографических ссылок.)

#### ЛИТЕРАТУРА

1. S. Gage et al. In: Neutron Dynamics and Control, 1966 (Proceedings of the Symposium on Nuclear Engineering at the University of Arizona, Tucson, April 5-7, 1965).
2. H. Plaza, W. K ö h l e r. Nucl. Sci. and Engng., 26, 419 (1966).
3. Б. В. Булгаков. Колебания. М., Гостехиздат, 1954.

## Оптимальная остановка высокопоточного реактора

Т. С. ЗАРИЦКАЯ, А. П. РУДИК

УДК 621.039.56

Рассматривается задача об оптимизации остановки реактора, обеспечивающей максимум выделения энергии в переходном процессе. В качестве варьируемой функции — управления — выбирается мощность реактора. Для решения задачи используется математический аппарат неклассического вариационного исчисления в форме принципа максимума Л. С. Понтрягина, из которого следует, что возможны лишь четыре типа управления: 1) максимальная мощность; 2) полная остановка реактора; 3) мощность, изменяющаяся во времени таким образом, что концентрация ксенона равна максимально допустимой; 4) мощность, определяемая классическим вариационным исчислением.

Используя принцип Л. С. Понтрягина\*, состоящий в том, что каждый участок оптимальной траектории есть также оптимальная траектория, путем численных срав-

нений различных комбинаций допустимых типов управления можно найти общий вид оптимальной траектории в рассматриваемой задаче. Оказывается, что оптимальный переходный режим в данном случае имеет следующий трехступенчатый вид:

- 1) нулевую мощность реактора (до тех пор пока концентрация ксенона не достигнет максимально допустимого значения);
- 2) мощность, изменяющуюся так, что концентрация ксенона остается постоянной и равной максимально допустимой;
- 3) максимальную мощность, на которой реактор работает до момента плановой остановки.

Приведены количественные оценки выигрыша в выделяемой энергии при оптимальном переходном режиме.

(№ 475/5610. Поступила в Редакцию 29/IX 1969 г., в окончательной редакции 21/IX 1970 г. Полный текст 0,7 а. л., 11 рис., 13 библиографических ссылок.)

\* Л. С. Понтрягин и др. Математическая теория оптимальных процессов. М., Физматгиз, 1961.