

## О статистически оптимальном регулировании энергии импульсов быстрого реактора

А. К. ПОПОВ

УДК 621.039.562

Ставится задача определить оптимальный в статистическом смысле алгоритм управления системой автоматического регулятора (АР), обеспечивающий минимум среднеквадратичного отклонения  $e_k$  от заданного уровня энергии  $E^*$  для будущего импульса, на основании полученной в предыдущих импульсах информации:

$$e_k = \exp \{s_k + B(u_k + \mu)\} - 1,$$

где  $e_k$ ,  $u_k$ ,  $s_k$  — соответственно относительные отклонения энергии, реактивности, обусловленной АР, и интенсивности источников запаздывающих нейтронов от их базовых значений  $E^*$ ,  $e_m^*$ ,  $S^*$ . Причем  $s_k$  выражается через значения энергий предыдущих импульсов, а  $\mu$  — приведенный к реактивности обобщенный случайный шум, обусловленный флуктуациями реактивности, статистическим характером ядерных процессов, нестабильностью скорости вращения подвижного элемента и т. д. Вероятностные характеристики  $\mu$  можно задать лишь априорно с тем, чтобы уточнять их уже в процессе работы по мере накопления информации. Кроме того, вводится случайная величина  $\eta$ , характеризующая ошибку при оценке реактивности. Считается, что плотность вероятности для  $\eta$  и априорная плотность вероятности для  $\mu$  распределены по нормальному закону, причем для общности вводится связь между дисперсиями  $\eta$  в импульсах  $j$  и  $k$  ( $j \leq k$ ):  $\sigma_{\eta j}^2 = \sigma_{\eta k}^2 / a_{k-j}^2$ , где  $a_{k-j} > 0$  — коэффициент, зависящий от разности  $k - j$ .

В результате получен оптимальный алгоритм управления

$$u_k^* = -\frac{1}{B} s_k - \frac{\sum_{j=0}^{k-1} a_{k-j}^2 \left[ \frac{1}{B} \ln(1 + e_j) - \frac{1}{B} s_j - u_j \right]}{\sum_{j=0}^{k-1} a_{k-j}^2}$$

(нулевой индекс относится к началу отсчета), где первый член в правой части компенсирует отклонение интенсив-

ности источников, а второй — оценку шума  $\mu$  для  $k$ -го импульса. Причем  $s_j = C \sum_{n=1}^{\infty} e_{j-n} \sum_{i=1}^6 \lambda_i \beta_i \exp \{-\lambda_i n T\}$ , где  $C$  — коэффициент;  $T$  — период импульсов;  $\lambda_i$ ,  $\beta_i$  — параметры запаздывающих нейтронов.

Если принять  $a_{k-j}^2 = 1$  для всех  $j$ , то приращение реактивности от АР между соседними импульсами определяется лишь изменениями  $s$  и регулятор получается чрезмерно инерционным, что мешает обрабатывать регулярные возмущения по реактивности.

Лучшие результаты можно получить, если  $a_{k-j}^2 = 1$  при  $k - m \leq j \leq k - 1$  и  $a_{k-j}^2 \rightarrow 0$  при  $0 \leq j < k - m$ . Оценка шума  $\mu$  при этом производится усреднением не всех, а только  $m$  импульсов; более ранняя информация полностью стирается. При малом  $m$  величина  $s$  в течение этих импульсов практически не меняется и  $u_k^*$  становится функцией лишь усредненных по  $m$  значений энергий и положений АР.

Если  $a_{k-i}^2 / a_{k-j}^2 < 1$  ( $0 \leq l < j \leq k$ ), то это означает, что информация более давнего происхождения придается меньший вес, т. е. помимо накопления новой происходит постепенная деградация устаревшей информации. В частности, при  $a_{k-(j-1)}^2 / a_{k-j}^2 = \exp \{-T/T_0\}$ , где  $T < T_0 = \text{const}$ , начиная уже с  $k > 5T_0/T$ , АР должен действовать как инерционное звено с постоянной времени  $T_0$  и коэффициентом усиления  $\sum_{j=0}^{k-1} a_{k-j}^2$ .

на вход которого подаются с частотой  $1/T$  импульсные величины, определяемые энергиями и положениями АР в прошедших импульсах. Таким образом, нет необходимости добиваться как можно меньшей инерционности исполнительного двигателя АР.

(№ 523/5894. Поступила в Редакцию 25/V 1970 г., в окончательной редакции 26/III 1974 г. Полный текст 0,5 а. л., 2 рис., 2 библиографические ссылки.)