

В. А. Анищенко, В. В. Петров

(Белорусский филиал Энергетического института
им. Г. М. Кржижановского)

ВЕРОЯТНОСТНЫЙ АНАЛИЗ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ МОЩНОСТИ РЕГУЛИРУЮЩЕЙ ТЭС

ТЭС, участвующие в автоматическом регулировании частоты и перетоков мощности по межсистемным связям, находятся в неблагоприятных условиях работы. С улучшением качества регулирования частоты и перетоков мощности экономичность и надежность работы регулирующих станций ухудшаются.

Переменный режим работы особенно сильно сказывается на экономичности паровых котлов. При быстрых изменениях нагрузки возникает несоответствие между избытком воздуха и нагрузкой, что приводит к

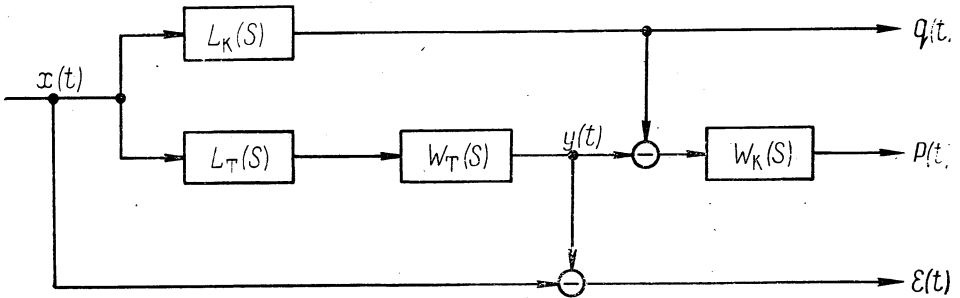


Рис. 1. Блок-схема постановки задачи.

дополнительным потерям топлива. Наименьшие потери бывают при жидком и газообразном топливе, а наибольшие — при низкокалорийном, многозольном и влажном твердом топливе. Они могут достигать 1—2% [1, 2].

Необходимо также учитывать отрицательное влияние переменного режима работы на надежность паросилового оборудования. Термические и механические напряжения накладываются друг на друга и могут превосходить предел текучести, в результате чего возникают и развиваются микротрещины. При осмотре турбин зарубежных фирм [3], а позже и в СССР были обнаружены трещины во многих корпусных деталях, а также в роторах, причиной которых в большинстве случаев являлись температурные напряжения, возникающие при переменном режиме работы [4].

В настоящей статье рассматривается задача вероятностного анализа системы регулирования перетока мощности совместно с системой регулирования расхода топлива. Целью анализа является сравнение существующих типовых законов регулирования перетока мощности и расхода топлива и выбор наилучшего их сочетания с точки зрения качества регулирования.

На рис. 1 представлена блок-схема математической модели задачи анализа. Приняты следующие обозначения: $x(t)$ — внеплановая составляющая колебаний нагрузки энергообъединения, соответствующая

колебаниям нерегулируемого перетока активной мощности; $y(t)$ — внеплановая составляющая колебаний турбинной мощности; $q(t)$ — внеплановая составляющая колебаний положения регулирующего органа топлива; $\varepsilon(t)$ — внеплановая составляющая колебаний перетока мощности относительно заданного значения; $p(t)$ — внеплановая составляющая колебаний давления пара на входе турбины; $W_T(S)$ — передаточная функция турбоагрегата; $W_K(S)$ — передаточная функция котлоагрегата; $L_K(S)$ — передаточная функция регулятора расхода топлива; $L_T(S)$ — передаточная функция регулятора перетока мощности.

С учетом случайного характера колебаний нагрузки энергосистемы качество регулирования перетока мощности и расхода топлива целесообразно оценивать согласно следующему вероятностному критерию [5]:

$$F = Dq' + \lambda_1 D_\varepsilon + \lambda_2 D_p = \min, \quad (1)$$

где Dq' — дисперсия случайных колебаний скорости изменения положения регулирующего органа топлива; D_ε — дисперсия случайных колебаний перетока мощности; D_p — дисперсия случайных колебаний давления пара на входе турбины; λ_1, λ_2 — неопределенные множители Лагранжа.

Критерий (1) обеспечивает минимум дополнительных потерь топлива в переменном режиме работы при ограничениях, накладываемых на дисперсии случайных колебаний перетока мощности и расхода топлива.

Неопределенные множители Лагранжа выбираются таким образом, чтобы дисперсии D_ε и D_p не превосходили допустимых значений $D_{\varepsilon \text{ доп}}$ и $D_{p \text{ доп}}$.

Анализ законов регулирования проводился при помощи методов спектральной теории стационарных случайных функций [6]. Согласно рис. 1, будем иметь:

$$D_\varepsilon = D_y - 2D_{yx} + D_x; \quad (2)$$

$$D_y = \int_{-\infty}^{\infty} \Phi_x(\omega) |L_T(i\omega) W_T(i\omega)|^2 d\omega; \quad (3)$$

$$D_{yx} = \int_{-\infty}^{\infty} \Phi_x(\omega) L_T(i\omega) W_T(i\omega) d\omega, \quad (4)$$

где D_{yx} — взаимная дисперсия случайных процессов $y(t)$ и $x(t)$; $\Phi_x(\omega)$ — спектральная плотность входного сигнала $x(t)$; $L_T(i\omega)$ — частотная функция регулятора перетока; $W_T(i\omega)$ — частотная функция турбоагрегата.

Дисперсии D_p и Dq' определяются из уравнений:

$$D_p = \int_{-\infty}^{\infty} \Phi_x(\omega) |L_K(i\omega) - L_T(i\omega) W_K(i\omega)|^2 d\omega; \quad (5)$$

$$Dq' = \int_{-\infty}^{\infty} \Phi_x(\omega) |L_K(i\omega) W_D(\omega)|^2 d\omega, \quad (6)$$

где $L_K(i\omega)$ — частотная функция регулятора расхода топлива; $W_K(i\omega)$ — частотная функция котлоагрегата; $W_D(\omega)$ — частотная функция оператора дифференцирования.

Интегрируя функции (3) — (6) при помощи теории вычетов, получим аналитические зависимости, связывающие дисперсии выходных параметров с вероятностными характеристиками нерегулируемого перетока мощности при разных законах регулирования.

Спектральная плотность входного сигнала $x(t)$ была получена в результате вероятностной обработки колебаний нерегулируемого перетока мощности и аппроксимировалась выражением, соответствующим дифференцируемому случайному процессу [7]:

$$\Phi_x(\omega) = \frac{\alpha(\beta^2 - \alpha^2)D_x}{\pi(\omega^2 + \alpha^2)(\omega^2 + \beta^2)},$$

где α и β — коэффициенты, характеризующие быстроту затухания автокорреляционной функции рассматриваемого случайного процесса.

Турбоагрегат и котлоагрегат эквивалентировались инерционными звеньями первого порядка.

Результаты вероятностного анализа в относительных единицах для схемы, при которой сигнал об отклонении давления пара поступает на регулятор топлива, представлены на рис. 2. По оси абсцисс отложены значения среднеквадратичного отклонения давления пара $\sigma_p = \sqrt{D_p}$, а по оси ординат — значения среднеквадратичного отклонения производной случайного процесса колебаний регулирующего органа топлива $\sigma_{q'} = \sqrt{D_{q'}}$. При этом были приняты среднеквадратичные отклонения нерегулируемого и регулируемого перетоков мощности $\sigma_x = \sqrt{D_x} = 1,0$ о. е. и $\sigma_s = \sqrt{D_s} = 0,1$ о. е., коэффициенты $\alpha = 0,005 \text{ сек}^{-1}$ и $\beta = 1,0 \text{ сек}^{-1}$, постоянные времени турбоагрегата и котлоагрегата соответственно 10 и 150 сек.

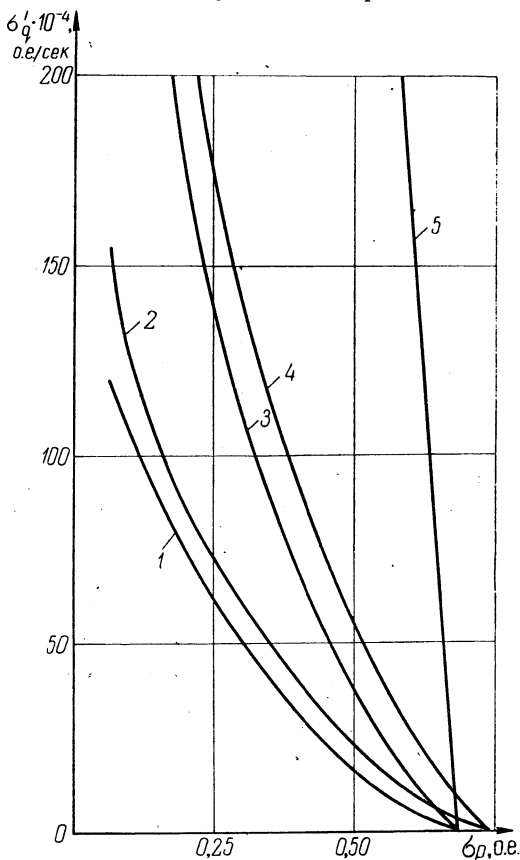


Рис. 2. Результаты вероятностного анализа системы регулирования перетока мощности и расхода топлива.

Кривые на рис. 2 расшифрованы в табл. 1.

Минимум расхода топлива и максимальная надежность работы паросилового оборудования соответствуют пропорциональным законам регулирования перетока мощности и расхода топлива.

Таблица 1

Кривая	1	2	3	4	5
Закон регулирования перетока мощности	П	И	П	И	П
Закон регулирования расхода топлива	П	П	И	И	Д

Литература

1. Рабинович С. М. и др. Эффективность автоматического регулирования процессов горения.— «Электрические станции», 1959, № 12. 2. Kreisl L. Beeinflussung der Wirtschaftlichkeit von Dampfkraftwerken durch die Frequenz-und Übergabeleistungsregelung.— „Energietechnik“, 1966, № 8. 3. Тимо Д. Предупреждение термоусталостных трещин в роторах мощных паровых турбин. Экспресс-информация. Сер. «Теплоэнергетика», № 42. М., 1968. 4. Арсеньев Г. В. Термические напряжения в элементах блока 300 Мвт при работе в регулирующем режиме. — В кн.: «Докл. на науч.-техн. конф. по итогам науч.-иссл. работ за 1968—1969 гг.» МЭИ. Секц. теплоэнергетики. Подсекц. тепловых электрических станций. М., 1969. 5. Анищенко В. А. Статистический расчет регуляторов межсистемных перетоков активной мощности.— В сб.: «Примечание автоматики и вычислительной техники для повышения надежности и экономичности работы энергосистем». Минск, 1971. 6. Пугачев В. С. Теория случайных функций и ее применение к задачам автоматического управления. М., 1962. 7. Петров В. В., Анищенко В. А., Семашко П. С. Вычислительное устройство для экстраполяции случайных колебаний активной нагрузки между системой линии электропередачи. — В кн.: «Мат-лы II Респ. научн.-техн. конф. по применению вычислит. техники в энергетике». Минск, 1968.