

В. П. Кузнецов (Самара, СГУПС). Математическая модель системы регулирования силовых установок тепловозов с параллельным включением дизелей.

Для повышения экономичности работы и ремонтоспособности тепловозов при проектировании их силовых установок широко используются схемы, основанные на параллельном включении нескольких дизелей. При частичной нагрузке — при выполнении вспомогательных работ, например, формировании составов такая установка может работать в режимах с минимальным расходом топлива. Кроме того, подобная схема позволяет со значительно меньшими потерями поддерживать тепловозы в прогретом состоянии в зимних условиях.

Особое значение при регулировке таких установок имеет процесс синхронизации работы дизелей, особенно на этапе переходного режима. Как известно, в наиболее простой схеме параллельной работы двух кинематически жестко связанных дизелей уравнение движения системы с автоматическими регуляторами прямого действия имеет пятый порядок и при неизменной нагрузке системы и постоянной настройке регуляторов имеет вид [1]

$$a_5 \frac{d^5 \varphi(t)}{dt^5} + a_4 \frac{d^4 \varphi(t)}{dt^4} + a_3 \frac{d^3 \varphi(t)}{dt^3} + a_2 \frac{d^2 \varphi(t)}{dt^2} + a_1 \frac{d\varphi(t)}{dt} + a_0 \varphi(t) = 0,$$

где $\varphi(t)$ — относительное отклонение угловой скорости.

Процесс выхода силовой установки на равновесный режим сопровождается различными колебательными явлениями, связанными с перераспределением нагрузки между двигателями. Эти процессы могут значительно усиливаться из-за переходных режимов работы регуляторов.

Появляется задача дополнения математической модели. Так как одной из основных причин возникновения неустойчивости является наличие запаздывания как при работе дизелей, так и регуляторов, то предлагается следующая модель с учетом запаздывания τ :

$$\begin{aligned} a_5 \frac{d^5 \varphi(t)}{dt^5} + a_4 \frac{d^4 \varphi(t)}{dt^4} + a_3 \frac{d^3 \varphi(t)}{dt^3} + a_2 \frac{d^2 \varphi(t)}{dt^2} + a_1 \frac{d\varphi(t)}{dt} + a_0 \varphi(t) + b_5 \frac{d^5 \varphi(t-\tau)}{dt^5} \\ + b_4 \frac{d^4 \varphi(t-\tau)}{dt^4} + b_3 \frac{d^3 \varphi(t-\tau)}{dt^3} + b_2 \frac{d^2 \varphi(t-\tau)}{dt^2} + b_1 \frac{d\varphi(t-\tau)}{dt} + b_0 \varphi(t-\tau) = 0. \end{aligned} \quad (1)$$

Кроме того, модель дополнена условием (обеспечивающим асимптотическую устойчивость решения уравнения (1)) минимума интеграла

$$I = \int_0^\infty \varphi^2(t) dt. \quad (2)$$

Начальные условия задаются в виде

$$\varphi^{(r)}(\theta) = \begin{cases} 0, & -\tau \leq \theta < 0, \\ 1, & \theta = 0, \end{cases}$$

где $i = 0, 1, \dots, 5$. Такая формулировка модели накладывает более жесткие условия на устойчивость системы. В этой постановке модели сведением (1) к счетной системе обыкновенных дифференциальных уравнений получено аналитическое выражение для интегрально-квадратического функционала (2) в предположении, что корни квазиполинома уравнения простые. Анализ этого функционала позволяет указать оптимальные значения технологических параметров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Крутов В.И.* Автоматическое регулирование двигателей внутреннего сгорания. М.: Машиностроение, 1968.