СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНОЙ ПО БЫСТРОДЕЙСТВИЮ САР НАГРУЗКИ УГЛЕДОБЫВАЮЩЕЙ МАШИНЫ С УЧЕТОМ СЛУЧАЙНОГО ХАРАКТЕРА ВОЗМУЩЕНИЙ

Н. Г. Попович, М. А. Дубровина

Киев

В работе [1] отмечалось, что автоматический регулятор нагрузки угледобывающей машины при определенной величине быстродействия может выполнять функции защиты двигателя от опрокидывания [2].

Исследование процесса технологических перегрузок и опрокидывания двигателей горных машин позволило установить исходные данные для синтеза оптимальной по быстродействию САР [3]. Для получения необходимого быстродействия САР требуется введение корректирующих звеньев. Решение этой задачи усложняется необходимостью учета случайного характера возмущений, действующих на объект. Синтез оптимальной по быстродействию САР нагрузки комбайна осуществляется по методу Винера—Колмогорова использованием теории случайных функций.

Критерием оптимальности служит минимум среднеквадратической ошибки. Специфика данной задачи заключается в следующем: так как синтезируется САР, а не следящая система, то начало координат системы переносится в точку номинального режима, и рассматривается САР по ошибке; объект регулирования имеет входной сигнал в виде нестационарного случайного процесса; вводится дополнительное условие — требование астатизма системы; при синтезе должны использоваться функционально необходимые звенья САР.

В процессе исследований было установлено, что при опрокидывании асинхронного короткозамкнутого двигателя комбайна нестационарный входной сигнал, приведенный к выходу объекта, можно представить в виде суммы низкочастотного и высокочастотного случайных сигналов, стационарных в определенной области. Стационарность низкочастотной

составляющей приведенного к выходу объекта сигнала обосновывается в случае, когда объект регулирования представляется в виде «белого ящика». Стационарность высокочастотной составляющей можно доказать, представив объект регулирования в виде «черного ящика» и проанализировав вероятностные выходные характеристики в рабочем режиме, снятые методом «пассивного» эксперимента и обработанные на вычислительной машине «Раздан».

Анализ корреляционных функций показывает, что дисперсия обладает свойством корреляционной функции при линейном преобразовании математического ожидания и что с ростом нагрузки периодичность на выходе объекта исчезает. Поэтому высокочастотная составляющая потребляемой мощности при нагрузке, равной или большей критической, имеет корреляционную функцию без периодической составляющей. Дисперсия определяется процессом в рабочем режиме и по упомянутому свойству корреляционной функции. Параметр α, характеризующий частотные свойства процесса, при опрокидывании двигателя, рассчитывается по формуле $\rho_f = e^{-\alpha(\tau)}$, где ρ_f — нормированная корреляционная функция высокочастотной составляющей выходного сигнала объекта регулирования; $\tau_{max} = t_0$ — время опрокидывания двигателя. Корреляционная функция в точках, близких к τ_{max}, есть импульсный переходный процесс объекта регулирования в режиме стопорения, на входе которого действует сигнал $\delta(t)$ вида «белого» шума с корреляционной функцией $R_\delta(\tau = 0) = \infty$ и $R_\delta(\tau \neq 0) = 0$ при $\int_{-\infty}^{\infty} R_\delta(\tau)\, d\tau = 1$. Время опрокидывания учитывает запаздывание, определяемое конструкцией исполнительного органа.

После определения основных вероятностных характеристик низкочастотной и высокочастотной составляющих выходной координаты двигателя комбайна была рассчитана оптимальная передаточная функция с введением дополнительного условия — астатизма системы. Передаточная функция такой разомкнутой системы будет иметь вид

$$Y_p^*(p) = k_p^* \frac{\tau_2^* p + 1}{\tau_1^* p + 1} \frac{1}{p},$$

где $k_p^* = f\left(\rho^2 = \frac{D_L}{D_f};\ \alpha,\ \beta\right)$ — коэффициент усиления разомкнутой САР;

ρ^2 — отношение дисперсий сигнала и помехи;

$\left.\begin{aligned}\tau_1^* &= f(\beta)\\ \tau_2^* &= f(\alpha)\end{aligned}\right\}$ — постоянные времени;

α и β — параметры, характеризующие частотные свойства помехи и сигнала.

Отсюда следует, что структура оптимальной САУ нагрузки угледобывающих машин различных типов определяется спектральной плотностью приведенного к выходу объекта суммарного сигнала.

Передаточная функция разомкнутой системы с учетом функционально необходимых звеньев для системы, рассмотренной в [4], равна

$$Y_{p_{\text{необх}}}(p) = \frac{k}{p(T_g p + 1)(T_{1\text{в}} p + 1)\left[\left(k_7 T + \frac{T}{2}\right)p + 1\right]},$$

где $n_1 = 4$; $m_1 = 0$.

Из условия физической осуществимости проектируемой системы регулирования, описываемой передаточной функцией, должно соблюдаться требование $n - m \geqslant n_1 - m_1$, где n, n_1 — порядок знаменателя переда-

точной функции соответственно желаемой и функционально необходимой; m, m_1 — порядок числителя передаточной функции.

Желаемая передаточная функция при заданном астатизме ($\nu = 1$), оптимальном времени переходного процесса и оптимуме среднеквадратической ошибки равна

$$Y_p^*(p) = \frac{k_2^*(\tau_2^* p + 1)}{p(\tau_1^* p + 1)(\tau_3^* p + 1)(\tau_4^* p + 1)(\tau_5^* p + 1)},$$

где $k_p^* = 13{,}6$; $\tau_1^* = 1$ *сек*; $\tau_2^* = \frac{1}{1{,}5} = 0{,}667$ *сек*; $\tau_3^* = \frac{1}{\omega_3}$; $\frac{\omega_3}{\omega_c} = 2$; $\omega_3 = 12{,}8 \cdot 2 = 25{,}6$ $\frac{1}{сек}$; $\tau_3^* = \frac{1}{25{,}6} = 0{,}0391$ *сек*; $\tau_4^* = \frac{1}{27} = 0{,}0371$ *сек*; $\tau_5^* = \frac{1}{28} = 0{,}0357$ *сек*.

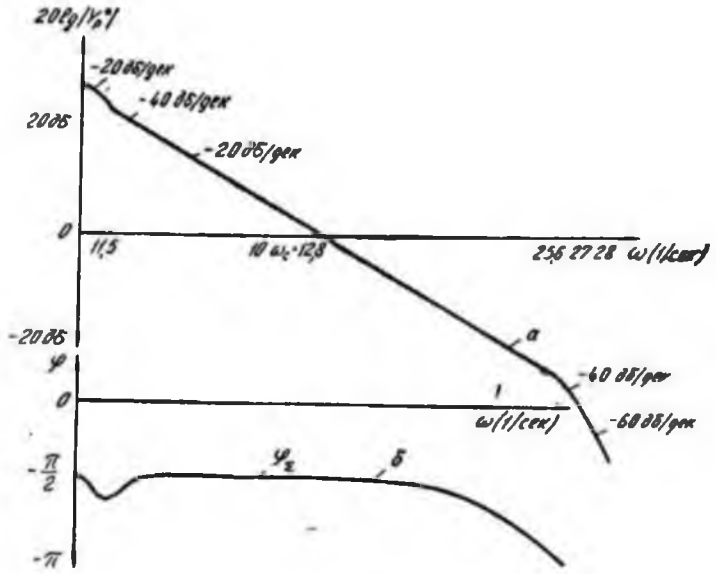

Рис. 1. Асимптотические логарифмические характеристики оптимальной разомкнутой системы.
а — амплитудночастотная; *б* — фазочастотная.

Проверка оптимальной системы на устойчивость при использовании логарифмических частотных характеристик (рис. 1) показывает, что замкнутая желаемая САР устойчива.

Для правильного выбора исполнительного двигателя и редуктора определим величину регулирующего воздействия ω (скорость на выходе редуктора) в статике непосредственно по найденной оптимальной передаточной функции (рис. 2, *а*)

$$\omega = \varepsilon p P = \varepsilon \frac{pY_p^*(p)}{ИЭ} \frac{1}{0} = (\psi - E)\frac{pY_p^*(p)}{0\,ИЭ} = \left(\psi - \psi \frac{pY_p^*(p)}{1 + pY_p^*(p)} - \right.$$

$$\left. - F \frac{1}{1 + pY_p^*(p)}\right) \frac{pY_p^*(p)}{0\,ИЭ} = \frac{\frac{p\psi_p^*(p)}{ИЭ}}{1 + pY_p^*(p)} \frac{1}{0} \times (\psi - F),$$

где P, 0, ИЭ — передаточные функции регулятора, объекта, измерительного элемента;

ψ — задание;

E — напряжение, пропорциональное току нагрузки $I_н$;

ε — ошибка;

μ — регулирующее воздействие — угол поворота статора;

F — возмущение, приведенное к выходу измерительного элемента.

Из условия соответствия скорректированной системы оптимальной передаточной функции по методике, изложенной в [5], были определены коэффициент усиления усилителя, структура системы, параметры корректирующих звеньев (рис. 2, *б*).

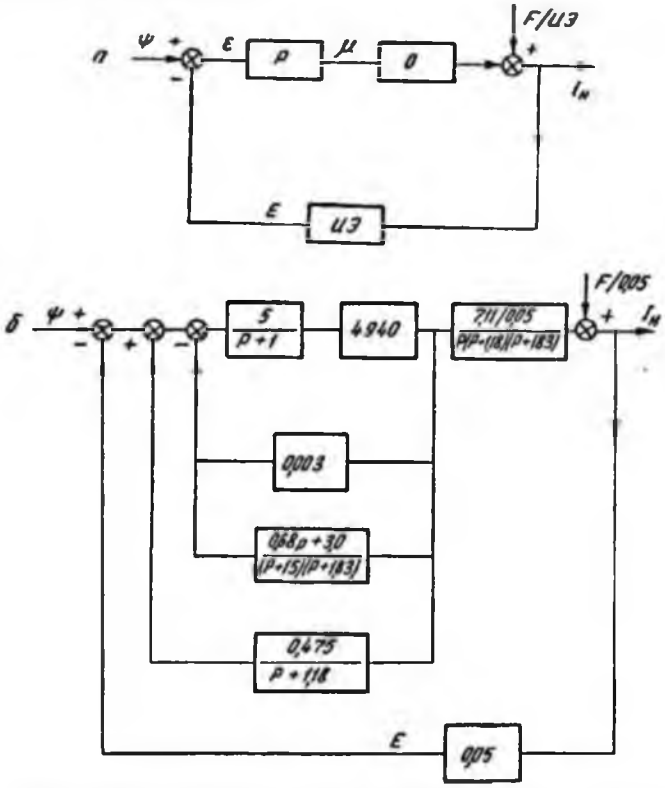

Рис. 2. Скорректированные схемы САР нагрузки комбайна

а — функциональная; *б* — структурная.

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. Г. Попович, М. А. Дубровина. Корректировка схем автоматических регуляторов угледобывающих машин. «Вестник КПИ, Серия горной электромеханики и автоматики», вып. 1, 1969.

2. Ю. Г. Веснин. Об автоматической защите асинхронных двигателей угольных комбайнов от технологических перегрузок. «Изв. вузов, Горный журнал», 1963, № 10.

3. М. А. Дубровина. Об опрокидывании двигателей автоматизированных угледобывающих машин. Сб. «Технический прогресс и рациональное использование оборудования в угольной промышленности», НТГО, Киев, 1969.

4. Н. Г. Попович. Исследование устойчивости системы авторегулирования угледобывающих машин с вынесенной падающей частью. «Изв. вузов, Горный журнал», 1960, № 7.

5. Н. И. Соколов. Аналитический метод синтеза линеаризованных систем автоматического регулирования. Изд-во «Наука», 1966.