В.М. Агеев, В.В. Вдовин, А.А. Хмелев

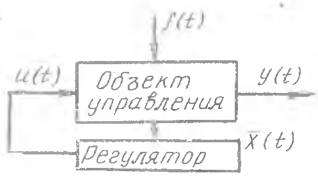
АВТОМАТИЗАЦИЯ ВЫБОРА ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ ДИНАМИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ НА ЭТАПЕ СТЕНДОВЫХ И ЛЕТНЫХ ИСПЫТАНИЙ

(М о с к в а)

Процесс создания систем управления сложными динамическими объектами включает в себя ряд этапов, где одним из важнейших являются стендовые и летные испытания, в ходе которых проверяется соответствие управляемого системой объекта заданным тактико-техническим требованиям. Вследствие сложности объектов упрвления, неадекватности используемой при проектировании системы управления математической модели объекта реальному объекту, технологических погрешностей при изготовлении объекта и системы управления на этапе экспериментальных исследований необходимо корректировать параметры системы управления.

Предлагаемый в настоящей работе метод корректировки характеристик систем управления позволяет автоматизировать этот процесс с применением современных ЭВМ, что позволит сократить число дорогостоящих экспериментов, сократить сроки их проведения и повысить качество систем управления.

Структурная схема системы управления сложными динамическими объектами имеет следующий вид (рис. I).



Р и с. I.

Здесь $y(t)$ – выходной параметр системы, характеризующий динамические свойства системы управления, $x(t)$ – вектор наблюдаемых координат объекта, $u(t)$ – управление, $f(t)$ – помехи, действующие на объект управления и информационную систему, измеряющую координаты объекта. Предполагается, что для заданного режима работы системы известна желаемая функция $y_{ж}(t)$, выбранная в соответсвии с тактико-техническими требованиями на систему, в случае $y(t)=y_{ж}(t)$ работа системы управления является идеальной. В качестве критерия управления выбран функционал

$$J = M\left\{ \int_0^T \beta(t)(y(t) - y_{ж}(t))^2 dt \right\},$$

где $M\{\cdot\}$ – операция математического ожидания;

T – время работы в заданном режиме;

$\beta(t)$ – функция веса.

Реальная система управления, как правило, является нелинейной и стохастической, что объясняется нелинейностью характеристик реальных систем, наличием случайных технологических люфтов и зазоров, случайным разбросом параметров системы, случайным характером шумов и возмущений. Поэтому в качестве математической модели объекта управления выбраны нелинейные стохастические операторы, оператор $A: u(t) \to y(t)$ и оператор $B: u(t) \to \bar{x}(t)$. Все характеристики объекта управления и информационной системы и внешние воздействия входят в описание операторов A и B. Такое описание объекта управления позволяет применять получаемые ниже результаты к системам, описываемым нелинейными дифференциальными и разностными уравнениями, а также уравнениями в частных производных со случайным параметрами. Ограничением, накладываемым на операторы A и B является требование линеаризуемости уравнений объекта вблизи оптимальной траектории системы.

Регулятор описывается стационарным линейным оператором $H: \bar{x}(t) \to u(t)$. На основе проведенных исследований показано, что необходимым условием оптимальности системы является равенство

$$\int_\lambda^T \beta(t) M\{(y(t) - y_{ж}(t)) x_i(t-\lambda)\} dt = 0; \quad \lambda \in [0,T], \qquad (1)$$

где e – размерность вектора $\bar{x}$, $i = 1,2,\ldots,e$;

Если в качестве характеристики регулятора принять вектор импульсных переходных функций $h_i(\tau)$ так, что

$$u(t) = \sum_{i=1}^{e} \int_0^t h_i(\tau) x_i(t-\tau) d\tau,$$

то система уравнений (1) может быть приведена к виду

$$\sum_{j=1}^{e} \int_0^T h_j(\tau) \Phi_{ij}(\tau,\lambda) d\tau = F_i(\lambda); \quad \lambda \in [0,T], \qquad (2)$$

$i = 1,2,\ldots e$

где $\Phi_{ij}(\tau,\lambda) = \int_{макс(\lambda,\tau)}^{T} M\{x_i(t-\lambda) x_j(t-\tau)\} dt,$

$F_i(\lambda) = \int_\lambda^T M\{v(t) x_i(t-\lambda)\} dt, \quad v(t) = \alpha(y(t) - y_{ж}(t)) + u(t),$

α – постоянный параметр.

Система (2) является системой нелинейных интегральных уравнений, так как функции $\Phi_{ij}(\tau,\lambda)$ и $F_i(\lambda)$ зависят от $h_j(\tau)$, зависимость эта обусловлена зависимостью сигналов X_i и u в замкнутой системе от характеристик регулятора.

Для решения системы (2) может быть применен метод последовательных приближений, который в данном случае сводится к следующему алгоритму:

а) выбрать первое приближение $h_i^1(\tau)$;

б) взять $n=1$;

в) провести эксперименты, взяв $h_i(\tau)=h_i^n(\tau)$, и зарегистрировать функции $X_i(t)$, $y(t)$, $u(t)$;

г) вычислить функции $\Phi_{ij}^n(\tau,\lambda)$, $F_i(\lambda)$;

д) найти $n+1$ приближение, решив систему линейных интегральных уравнений:

$$\sum_{j=1}^{\ell} \int_0^T h_j^{n+1}(\tau)\Phi_{ij}^n(\tau,\lambda)\,d\tau = F_i^n(\lambda), \quad \lambda\in[0,T]; \quad i=1,2,\ldots,\ell;$$

е) взять $n \to n+1$;

ж) проверить условие прекращения итерационной процедуры по качеству регулирования или допустимому числу итераций.

В зависимости от результата прекратить серию экспериментов или выполнить пункт "в".

Показано, что при некоторых вполне естественных ограничениях на нелинейности в системе эта итерационная процедура позволяет получить оптимальное решение. Сходимость процесса регулируется параметром α.

Анализируя этот алгоритм и формулы (2), можно заметить, что для определения коррекции параметров регулятора на каждой итерации необходимо знать только сигналы $\bar{X}$, y, u, непосредственно измеряемые в процессе эксперимента. При этом не используется никакая математическая модель объекта исследования, он рассматривается, как "черный ящик". Сигналы $\bar{X}$, y, u несут всю информацию о реальных характеристиках объекта управления и внешних воздействий.

Все вычисления, необходимые для определения коррекции характеристик регулятора могут проводиться на универсальной ЭВМ. Объединение аппаратуры регистрации и ЭВМ в один комплекс позволит автоматизировать процесс экспериментальных исследований и сократить сроки и число экспериментов.