УДК 681.51

Кузьмицкий И.Ф., доц., канд. техн. наук
Григорьев Л.И., проф., д-р техн. наук
(БГТУ Минск, РГУ нефти и газа, Москва)

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ С АВТОМАТИЧЕСКИ МЕНЯЮЩИМИСЯ ЦЕЛЯМИ И НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬЮ ПАРАМЕТРОВ

Развитие систем автоматического управления происходит в разных плоскостях, но это наиболее очевидно в области использования компьютерных устройств. Компьютеризация систем автоматического управления затронула все технические элементы: регуляторы, исполнительные устройства, различного рода преобразователи и устройства измерения технологических параметров.

Наименьшая доля интеллектуализации средств автоматики, как ни странно оказалась у регуляторов. По оценкам, в настоящее время более 50 % систем автоматического управления технологическими процессами реализуют типовые законы регулирования (П-, ПИ-, ПИД-регулирование). На разных этапах протекания технологических процессов проявляются свои особенности, явления, промежуточные внутренние реакции и различные возмущающие воздействия.

Для снижения влияния этих факторов на качественные и количественные показатели выходных параметров необходимо соответственно менять цели системы управления.

При условии неопределенности параметров объектов управления возникают проблемы формирования алгоритмов адаптивного управления, которые также целесообразно трансформировать с учетом соответствующих показателей качества.

На основе изложенного можно выделить несколько целей и алгоритмов управления сложными технологическими процессами.

При неопределенности параметров в качестве первого приближения можно выбрать эталонную модель в виде

$$\dot{X}_{\text{эт}} = f(, X_{\text{эт}}, X_{\text{жел}}, t)$$

и сформировать адаптивное управление [1]

$$U(t) = \varphi\Big((X_{\text{эт}} - X), \big(X_{\text{эт}} - \dot{X}\big), X_{\text{жел}}, \gamma, t\Big),$$

где $X_{\text{эт}}$ – переменные состояния эталонной модели, $X_{\text{жел}}$ – задание, X, $\dot{X}$ – переменные состояния объекта управления, U – управляющее воздействие, γ – коэффициент коррекции воздействия из условий устойчивости.

В качестве второй цели ставим задачу идентификации динамических характеристик объекта управления. В качестве алгоритма идентификации можно принять интегральную модель

$$X(t) = \int_0^t q(t,\tau)\ U(\tau)d\tau + \int_0^t \int q\ (t,\tau,\tau_1)\ \ U(\tau)U(\xi)d\tau d\tau_1,$$

или

$$X(t) = \int_0^t q(t,\tau)U(\tau-\xi)d\tau + \int_0^t \int q(t,\tau,\tau_1)\ U(\tau-\xi)\ U(\tau_1 -)d\tau d\tau_1$$

где q $(t,\ \tau)$, q $(t,\ \tau_1,\ \tau)$ – искомые весовые функции, ξ – время запаздывания воздействия.

Регуляризацию решения выполним методом Тихонова или на основе усеченных рядов Вольтера-Лаггера [2].

Важно решить задачу синтеза наблюдателя состояния нелинейной системы при внешних возмущениях. Модель внешних возмущений обычно неизвесна. Можно разделить задачу на несколько подзадач меньшей размерности с разнотемповыми движениями.

При идентификации на основе рядов Вольтера-Лагерра используются фильтры, которые можно использовать также для оценки линейных комбинаций внешних возмущений. Фильтры являются динамическим компенсатором возмущений $\eta(t)$. Наличие внешних возмущений может привести к уменьшению наблюдаесости подпространства вектора состояния.

В качестве фильтров обычно используются апериодические звенья первого порядка, что позволяет оценить возмущения в виде линейных составляющих Z относительно переменных состояния $S(t)$

$$\dot{S} = h(s,u) + Z\eta(t)$$

и

$$X = h_y(s,u)$$

Можно расщепить первое уравнение на два уравнения с помощью перестановки компонент так, чтобы правая часть дифференциальных уравнений относительно возмущений $\eta(t)$ стала независимой от них.

В качестве третьей цели формилизуем задачу достижения наиболее высокого показателя качества технологического процесса при ограничении затрат на управление

$$J = \psi\ (X, X_{\text{жел,}} U, t)$$

В качестве следующей цели выступает алгоритм нахождения оптимального закона управления [1].

На каждом этапе управления необходимо решать задачи устойчивости. Как для дифференциальных уравнений без отклонений аргумента, так и для систем с запаздыванием можно воспользоваться подходами на основе прямого метода Ляпунова. Одна из наиболее сложных проблем для практического приложения состоит в нахождении области притяжения невозмущенного решения.

Обычно поиск требуемой функции Ляпунова, Ляпунова-Разумихина осуществляется среди квадратичных форм с матрицей, удовлетворяющей неравенству Ляпунова для некоторой системы без запаздывания. Если выбран алгоритм закона управления, то модель системы управления можно свести к неоднородному дифференциальному уравнению [3]

$$\dot{X} = \psi\ (x(t),\ x(t - \xi(t)), \quad x \in G \subseteq R^h$$

функция $\xi(t)$ удовлетворяет условию

$$0 \leq \xi(t) \leq h \text{ при } t \in [t_0, \infty]$$

функция $\psi(x, y)$ непрерывно дифференцируемая в точках $x = y = 0$.

В этом случае можно записать

$$\dot{X}(t) = AX(t) + Bx(t - \xi(t) + \Phi\left(x(t), X\big(t - \xi(t)\big)\right),$$

где

$$A = \frac{\partial\psi(x,y)}{\partial x}\bigg|_{x=y=0}, \quad B = \frac{\partial\psi(x,y)}{\partial y}\bigg|_{x=y=0},$$

а $\Phi(x, y)$ удовлетворяет условию

$$\lim_{(x,y)\to(0,0)} \frac{\Phi(x,y)}{\sqrt{|x|^2+|y|^2}} = 0.$$

Тогда согласно [3] существует матрица $L = L^{\mathrm{T}} > 0$ и неравенство

$$r^2L + r(LA^{\mathrm{T}} + AL) + AL) + BLB^{\mathrm{T}} < 0$$

из которого можно найти нижнее значение скалярного параметра r для функции Ляпунова-Разумихина

$$u(x) = x^{\mathrm{T}}\mathrm{P}x \text{ при } \mathrm{P} = L^{-1}$$

Для реализации систем с такими целями необходимо использовать многоядерный процессор.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузьмицкий, И.Ф. Теория автоматического управления / И.Ф. Кузьмицкий, Г.Т. Кулаков. – Минск: БГТУ, 2010. – 574 с.

2. Кузьмицкий, И.Ф. Особенности идентификации динамики химических реакторов на основе рядов Вольтера / И.Ф. Кузьмицкий, И.В. Акиншева, И. Караскель // Труды БГТУ. Сер. VI, физ.-мат. науки и информатика, 2012. Вып. 153. С. 113 – 118.

3. Горбунов, А.В. Метод функций Ляпунова для построения областей притяжения систем с запаздыванием / А.В. Горбунов, В.А. Каменецкий. АиТ, 2015. № 10, с. 42 – 53.