электронный научно-технический журнал
ИНЖЕНЕРНЫЙ ВЕСТНИК
издатель ФГБОУ ВПО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана»

Робастное управление динамическими объектами по выходу

77-48211/590847
06, июнь 2013

Сенькин А. В.

УДК 681.516.75

Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана
avsiu1@rambler.ru

Задача компенсации параметрических и внешних возмущений в условиях неопределённости параметров объекта регулирования была и остаётся фундаментальной проблемой современной теории управления. Эта задача может быть решена путём применения последовательного компенсатора и выделения сигнала, характеризующего возмущения, что позволяет построить довольно простую систему управления, компенсирующую ограниченные параметрические и внешние возмущения с точностью δ, если производные векторов выхода не измеряются, и осуществляющие полную компенсацию, когда необходимое количество производных вектора выхода измеряется. При этом вспомогательное устройство, позволяющее выделить необходимый сигнал, задаёт неявную эталонную модель. Поэтому при изменении параметров и возмущений в заданном классе неопределённости переходные процессы по ошибке в системе не изменяются.

Рассмотрим задачи построения робастных систем управления нестационарными объектами с компенсацией внешних и параметрических возмущений. В космической технике большинство объектов управления подвержены действию внешних воздействий, которые недоступны для измерения в силу технологических особенностей или в связи с отсутствием измерительных устройств. Кроме того, параметры объекта управления изменяются во времени, что требует изменения параметров управляющего устройства с целью сохранения качественных показателей системы, которые, естественно, в этом случае изменяются.

Поэтому вполне естественно желание разработчиков получить систему с фиксированными параметрами, которая не реагировала бы на внешние и внутренние неконтролируемые воздействия.

Далее рассмотрена задача компенсации внешних и внутренних возмущений, когда измерению доступны требуемое количество производных регулируемой величины и эталонного сигнала. Эта задача имеет самостоятельное значение, а также является вспомогательной для обоснования работоспособности робастной системы управления нестационарным объектом по выходу, когда производные входных и выходных сигналов недоступны для измерения.

В качестве примера выберем линейный нестационарный объект управления

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2, \\ \dot{x}_2 = x_3, \\ \dot{x}_3 = \left(a_1 + b_1 \ \sin 0{,}2\mathrm{t}\right)x_1 + \left(a_2 + b_2 \ \sin 0{,}5\mathrm{t}\right)x_2 + \\ \qquad + \left(a_3 + b_3 \ \sin 1{,}5\mathrm{t}\right)x_3 + \left(k + k_1 \ \sin 2\mathrm{t}\right)u\left(t\right) + f\left(t\right), \\ \qquad\qquad y = x_1. \end{cases}$$

Класс неопределённости задан неравенствами:

$$\left|a_i\right| \le 30,\ \left|b_i\right| \le 10,\ 12 \le k \le 30,\ \left|k_1\right| \le 10,\ \left|f\left(t\right)\right| \le 30.$$

Закон управления имеет вид $u\left(t\right) = \alpha v, v = -\frac{1}{\beta}\left(8z_1 + 12z_2 + 6z_3 + z_4\right),$

где z_i– вспомогательные переменные, характеризующие рассогласование в контуре системы.

Параметры α , β легко подбираются на этапе проектирования при моделировании. Результаты моделирования в среде программного комплекса МВТУ изображены на рис. 1, 2.

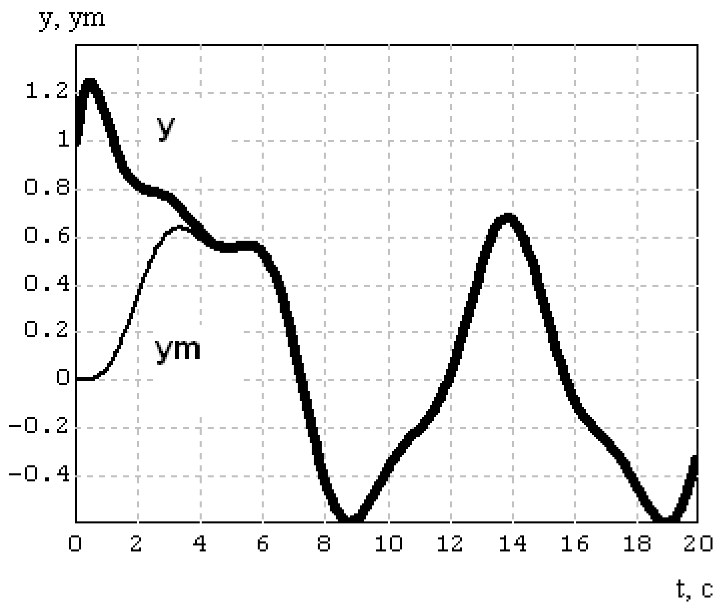

Рис. 1. Вид реакции на входное воздействие

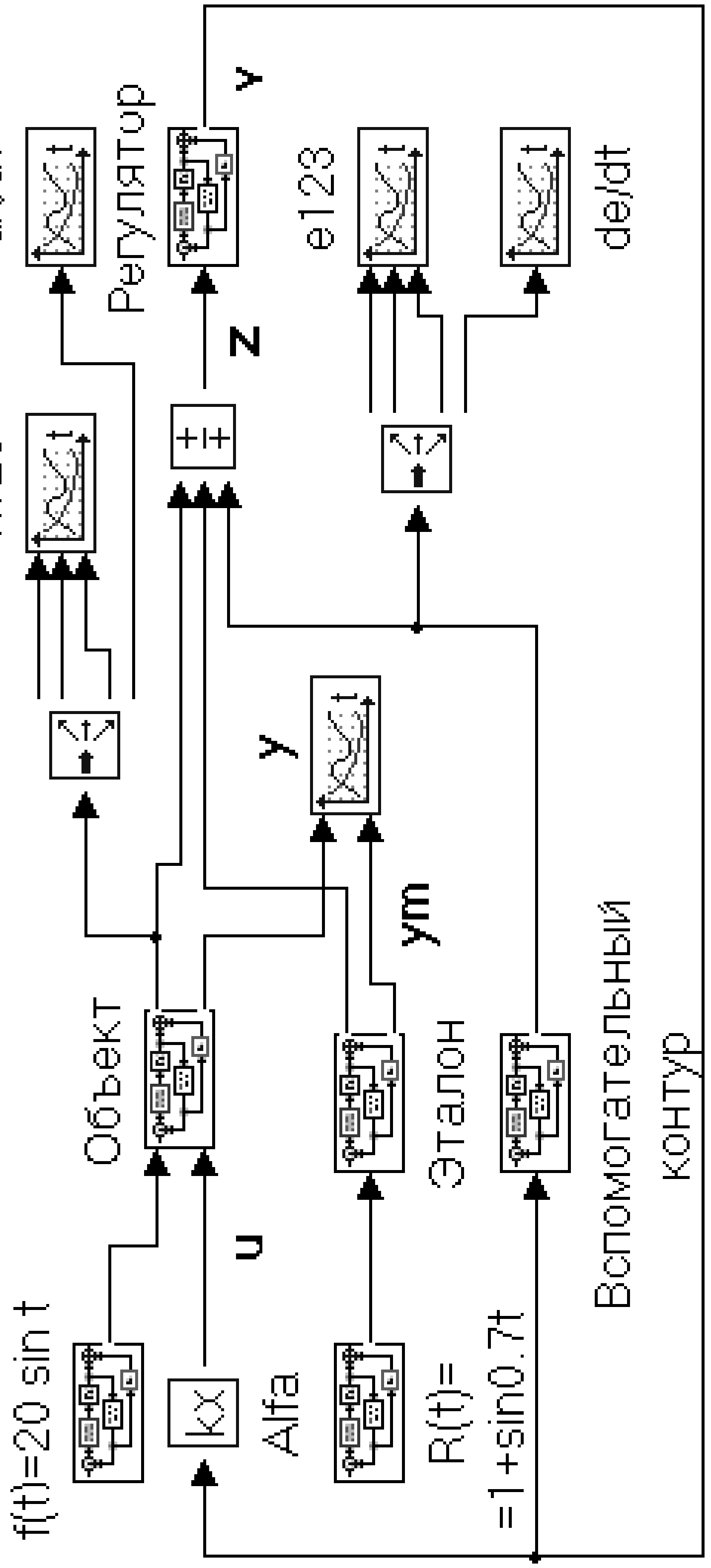

Рис. 2. Схема моделирования в среде МВТУ

Изменение параметров объекта управления в заданном классе неопределённости не приводит к изменениям переходных процессов. Это объясняется тем, что при измерении производных возмущения полностью компенсируются и система работает как неявно заданная эталонная модель, характеристическое уравнение которой задаётся вспомогательным контуром.

В работе [1] приведены алгоритмы робастного управления с компенсацией ограниченных возмущений, которые могут найти практическое применение в различных областях техники.

В монографии [2] обобщены известные методы построения адаптивных систем управления для объектов с запаздыванием и разработаны новые принципы построения адаптивных и робастных систем для различных типов объектов с управлением по выходу, когда измерению недоступны производные выходных сигналов.

Рассмотрим упрощенный алгоритм робастного управления линейными динамическими объектами по выходу. Решается задача построения робастной системы управления для нестационарных объектов с запаздыванием по состоянию, которая позволяет скомпенсировать параметрические и внешние возмущения с заданной точностью.

Допустим, что динамические процессы в объекте управления описываются уравнением

$$Q(P,t)y(t)+G(P,t)y(t-h(t))=k(t)R(P,t)u(t)+f(t). \tag{1}$$

Здесь

$$Q(P,t)=P^n+q_1(t)P^{n-1}+\ldots+q_n(t),$$

$$G(P,t)=g_0(t)P^k+g_1(t)P^{k-1}+\ldots+g_k(t),$$

$$R(P,t)=P^m+r_1(t)P^{m-1}+\ldots+r_m(t),$$

h(t)-время запаздывания; ***y(t), u(t)***-скалярные величины регулируемой переменной и управляющего воздействия; ***f(t)***- внешнее возмущение.

Формулируется традиционная задача слежения за эталонным сигналом. Требуется спроектировать систему управления, обеспечивающую слежение за эталонным сигналом ym(t), таким образом, чтобы было выполнено целевое условие

$$\left| y(t) - y_m(t) \right| < \delta, \qquad t \geq T \tag{2}$$

Где Т-время, по истечении которого после включения системы в работу динамическая ошибка не должна превышать заданной величины δ.

Сформулированная задача решается при следующих ограничениях.

Предположения.

1. *Коэффициенты дифференциальных операторов* $Q(P,t)$, $G(P,t)$ *и* $k(t)R(P,t)$*–ограниченные функции с известными диапазонами изменения.При этом,* $k(t)>0,\ r_i(t)>0,\ i=1,\dots,m.$

2. *Оператор* $R(P,t)$ *устойчив, т.е. тривиальное решение уравнения* $R(P,t)u(t)=0$ *асимптотически устойчиво. Кроме того, для любого фиксированного значения* t_1 *полином* $R(\lambda,t_1)$*–гурвицев.*

3. *Известны порядки операторов* n,m,k; $n\geq k, n>m$. *Если* $k=n$, *то должно выполняться условие* $\left|g_0(t)<1\right|$.

4. *Эталонный сигнал* $y_m(t)$ *и* γ *его производных–ограниченные функции,* $\gamma=n-m$.

5. *Внешнее возмущающее воздействие* $f(t)$ *является ограниченной функцией времени с известным диапазоном изменения. В общем случае оно может зависеть и от параметров или входных и выходных величин объекта управления.*

6. *В алгоритме управления не должны присутствовать производные входных* $y_m(t), u(t)$ *и выходного* $y(t)$ *сигналов.*

7. *Переменная* $h(t)$*– неизвестное время запаздывания, удовлетворяющее условиям:* $h(t)\geq 0,\ \ \dfrac{dh(t)}{dt}<1.$

Теорема

Если выполнены условия предположений, то существуют числа $\mu_0 > 0, T_0 > 0$ *такие, что при* $\mu \le \mu_0$, $T \ge T_0$ *следующий алгоритм управления:*

$$\left((\mu P + 1)^{\gamma} - 1 \right) u(t) = -\alpha Q_m(P) e(t)$$

обеспечивает выполнение целевого условия (1). *Здесь* $\alpha > 0$, $Q_m(P) = P^{\gamma} + q_{m1} P^{\gamma-1} + \cdots + q_{m\gamma}$, *полином* $Q_m(\lambda)$ *является характеристическим уравнением неявной эталонной модели.*

Следует отметить, что приведённый алгоритм управления в некотором роде является универсальным, так как он не изменяется, если в (1) отсутствует запаздывание или их несколько, а также в случае когда объект (1) является стационарным с неизвестными параметрами, которые принимают значения из некоторого известного ограниченного множества.

В результате получается схема моделирования, представленная на рис. 3.

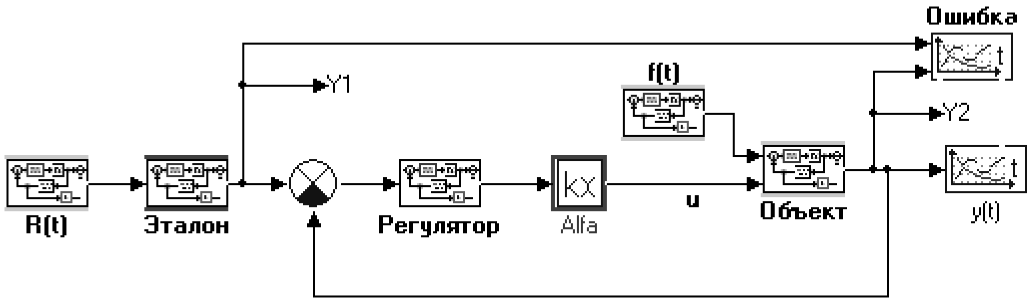

Рис. 3. Схема моделирования упрощенной системы управления

Результаты моделирования систем управления по выходу для объектов 3-го, 4-го и 6-го порядков подтверждают возможность построения робастных регуляторов на основе упрощенного алгоритма управления. Однако при этом несколько теряется точность, но сохраняется устойчивость системы.

Список литературы

1. Цыкунов А.М. Алгоритмы робастного управления с компенсацией ограниченных возмущений // Автоматика и телемеханика. 2007. № 7. С. 103-115.
2. Цыкунов А.М. Адаптивное и робастное управление динамическими объектами по выходу.—М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009.—268 с.

3. Сенькин А.В. Робастное управление системой с периодическими коэффициентами.- М.: Интеллектуальные системы : Труды Девятого международного симпозиума / Под ред. К.А. Пупкова, 2010.— С. 100--102.

4. Никулин Г.Л. Синтез системы регулирования электромеханического усилителя руля автомобиля // Автометрия. - 2008. № 5. С. 93¬99.