

МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ АДАПТИВНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

УДК 621.311:681.5

МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ САМОНАСТРАИВАЮЩИХСЯ РЕГУЛЯТОРОВ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРИМЕНЕНИЯ

Ковриго Ю.М., Мовчан А.П., Полищук И.А.

При разработке систем автоматического регулирования (САР) промышленными объектами в большинстве случаев применяют ПИ и ПИД алгоритмы.

Ввиду того, что большинство объектов являются нелинейными, обладают значительной априорной и текущей параметрической неопределённостью, возникает задача автоматизации настройки регуляторов как при вводе в действие, так и процессе их функционирования, то есть задача построения самонастраивающихся регуляторов.

Среди большого количества самонастраивающихся систем автоматического регулирования (СНС АР) наиболее простыми в реализации являются системы, использующие информацию только о регулируемой координате и об оценке её производной.

Известно[1, 2], что для объекта выше первого порядка по времени t_1 достижения максимума первой производной выходной величины $y(t)$ в точке перегиба, а также по модулю $y(t_1)$ и производной от $y(t)$ можно судить о статических и динамических свойствах объекта. Для построения СНС АР используются результаты анализа начального участка переходной характеристики разомкнутой АСР, получаемой путём подачи ступенчатого управляющего воздействия. Однако предложенный способ коррекции настроек не всегда применим, так как требует размыкания АСР при подаче идентифицирующего воздействия.

В статье рассматривается метод построения СНС АР стабилизации в классе типовых ПИ, ПИД законов регулирования, обеспечивающий при простоте технической реализации создание высококачественных контуров управления квазистационарными техническими объектами. Метод основан на коррекции общего коэффициента усиления K_p по результатам анализа реакции замкнутой АСР на ступенчатое изменение задания и коррекции времени интегрирования T_u по оценкам прямых показателей качества АСР.

Экспериментально установлено наличие зависимости коэффициента передачи регулятора от величины $A(t_1, |\varepsilon(t_1)|, |\dot{\varepsilon}(t_1)|)$:

$$A = \frac{|\varepsilon(t_1)|}{t_1 \cdot |\dot{\varepsilon}(t_1)|}, \quad (1)$$

где $\varepsilon(t) = y(t) - y_{зад}$, $y_{зад}$ - заданное значение выходной величины. Рекомендуемый адаптивный ПИД закон регулирования имеет следующий вид [3]:

$$u(t) = K_p^{(n+1)} \cdot (\varepsilon(t) + \frac{1}{T_u} \cdot \int \varepsilon(t) dt + T_d \cdot \dot{\varepsilon}(t)), \quad (2)$$

$$K_p^{(n+1)} = K_p^{(n)} \cdot \alpha \cdot A, \quad (3)$$

где $n=0,1,2,\dots$ - номер шага коррекции коэффициента передачи (шага самонастройки), а соотношение T_u и времени дифференцирования T_d постоянно. С помощью коэффициента α задаются показатели качества регулирования. На рис.1 показаны переходные характеристики СНС АР объекта с коэффициентом усиления $k_{об} = 1$, постоянной времени

$T=200$ сек, запаздыванием $\tau=50$ сек при начальных настройках $K_p^{(0)} = 3, T_u^{(0)} = 100, T_D = 0$ в конце процесса самонастройки (адаптации) при различных значениях α :

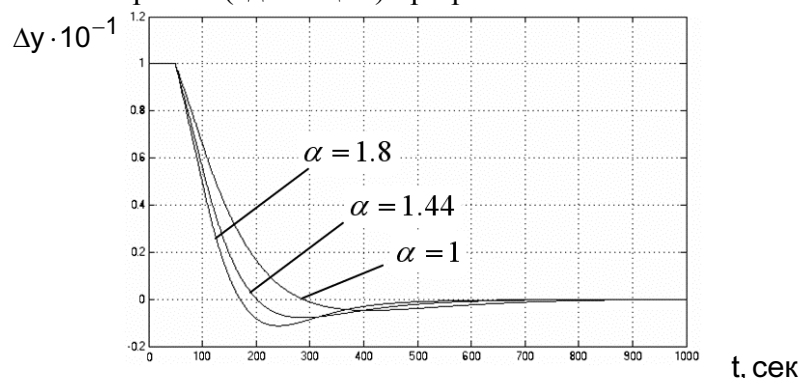


Рис.1. Переходные характеристики при различных значениях α .

Известно, что при небольшом диапазоне изменения параметров объекта однопараметрическая настройка регулятора в достаточной мере обеспечивает качество регулирования при сохранении соотношения между отдельными составляющими в выражении (2). При отклонении параметров объекта от базовых для достижения заданных показателей качества достаточной является коррекция только K_p .

На рис. 2 показаны переходные характеристики в АСР при настройке регулятора вышеупомянутого объекта путём коррекции только K_p при существенном отличии $K_p^{(0)}$ от требуемого значения и $T_u^{(0)}$ близком к оптимальному. Переход от $K_p^{(0)}=1,9$ к $K_p^{(3)} = 1,1$ осуществлён за три шага адаптации, то есть при $n=3$.

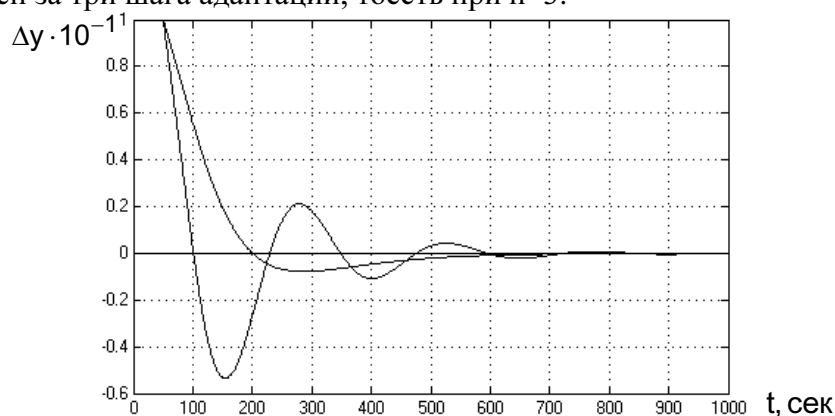


Рис. 2. Переходные характеристики в замкнутой АСР

- а - переходная характеристика при
- б - переходная характеристика при $K_p^{(3)} = 1.1$.

В том случае, когда постоянная времени объекта оценена с большой погрешностью и, следовательно, $T_u^{(0)}$ значительно отличается от оптимального значения, показатели качества переходного процесса после коррекции K_p далеки от требуемых. Предложена стратегия коррекции T_u , основанная на использовании упорядоченных правил регулирования, которые действительно для выбранных характеристик качества переходного процесса и подобно нечёткому регулятору представляют базу знаний.

Введём переменные $H(t), \Delta, t_{pez}$:

$$H(t) = \begin{cases} \varepsilon, & \text{если } \varepsilon(t) < 0, \\ 0, & \text{если } \varepsilon(t) \geq 0, \end{cases} \quad (4)$$

$$\Delta = \begin{cases} y_{зад} - y(T), & \text{если } e(t) > 0, \forall t \in (0; T), \\ 0, & \text{если } y(t) \geq y_{зад}, e(t) \leq 0, \forall t \in (0; T), \end{cases} \quad (5)$$

$$t_{pez} = t, \text{ если } |\varepsilon(t)| \leq \delta, \forall t > t_{pez}, \quad (6)$$

где $y(T)$ - значение выходной величины в момент $t = T$ от начала переходного процесса. Время T выбирается для определённого класса объектов по априорным данным. Значение T влияет только на скорость нахождения оптимальных настроек и не определяет результирующие качественные показатели АСР.

Правила, описывающие стратегию коррекции, имеют вид:

$$\text{если } H(t) > 0, \Delta \leq 0 \quad \forall t \in (0; T), \text{ то } T_u^{(m+1)} = T_u^{(m)} - \beta \cdot H(T), \quad (7)$$

$$\text{если } H(t) \leq 0, \Delta > 0 \quad \forall t \in (0; T), \text{ то } T_u^{(m+1)} = T_u^{(m)} + \gamma \cdot \Delta, \quad (8)$$

где m – номер шага коррекции T_u .

Величины β, γ, T определяются экспериментально для выделенного класса объектов и могут уточняться в процессе наладки. Критерием останова итерационного процесса является выполнение неравенств:

$$|k_p^{(n+1)} - k_p^{(n)}| \leq \varepsilon_1; \quad |T_u^{(m+1)} - T_u^{(m)}| \leq \varepsilon_2, \text{ где } n, m - \text{число шагов адаптации, } T_u^{(m)} - \text{значение времени интегрирования на } m\text{-ом шаге, } \beta \text{ и } \gamma - \text{весовые коэффициенты.}$$

Экспериментально определённые рекомендации для нахождения величин β, γ представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1.

Значения величины β в зависимости от диапазона изменения величины t_{pez}

t_{pez}	[0..50]	[50..150]	> 150
β	50	500	1000

Таблица 2.

Значения величины γ в зависимости от диапазона изменения величин t_{pez} и Δ .

$t_{pez} \backslash \Delta_{dim}$	[0..50]	[50..150]	> 150
[0..0.02]	0	0	0
[0.02..0.2]	100	200	500
> 0.2	200	500	1000

Начальные значения $K_p^{(0)}, T_u^{(0)}, T_d^{(0)} = K_d \cdot T_u^{(0)}$ приближенно определяются по априорным данным, величины $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ находятся в пределах $0.001 \div 0.1$ и устанавливаются в процессе отладки.

При построении СНС с коррекцией T_u с помощью упорядоченных правил могут использоваться и другие прямые показатели качества, а также их лингвистические описания, что позволяет формулировать другие законы коррекции.

На рис. 3 представлена структурная схема СНС АР объектом первого порядка с запаздыванием, разработанной с использованием предлагаемого подхода:

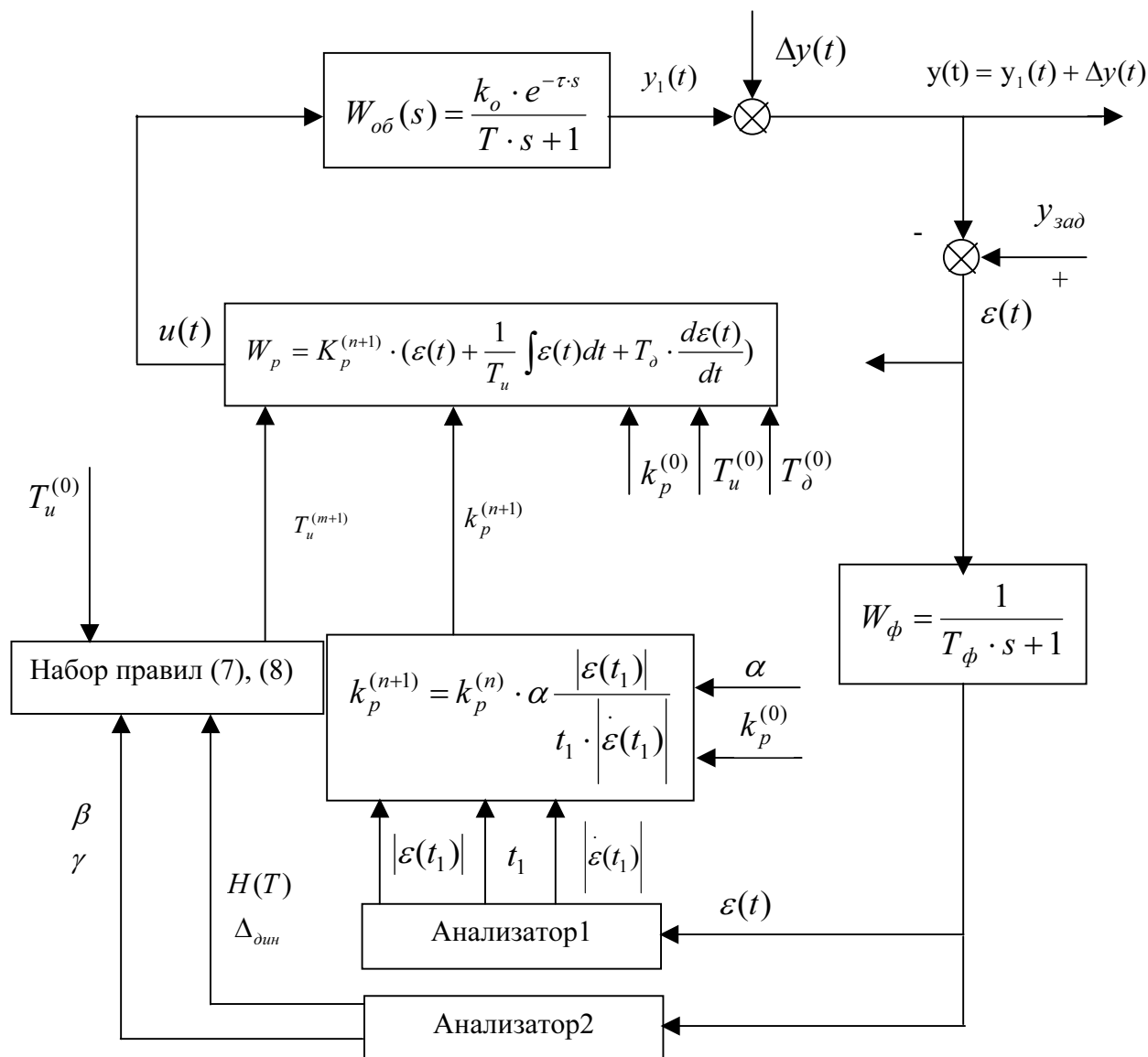


Рис. 3. Структурная схема АСР с адаптивным регулятором.

Анализатор1 производит определение максимума модуля производной ошибки, время достижения этого максимума и значения модуля ошибки в этот момент.

Анализатор2 производит определение величин $H(T)$, Δ , $t_{рез}$, по значениям которых определяются согласно информации, приведенной в таблицах 1, 2, величины β и γ . Коррекция времени интегрирования производится согласно правил коррекции (7), (8), подстройка коэффициента передачи по формуле (3).

Фильтр с передаточной функцией W_ϕ вводится для обеспечения гарантированного значения порядка анализируемого объекта выше первого, а также фильтрации анализируемого сигнала от помех.

На примере объекта с $T=200$ сек, $\tau=50$ сек и $k_{об}=1$ покажем преимущество СНС АР с коррекцией K_p и T_u .

Пусть переходный процесс должен удовлетворять требованию, чтобы динамическая ошибка $\Delta_{дин}$ была меньше 2%.

Работа рассматриваемой СНС АР может быть проиллюстрирована переходными процессами на каждом шаге самонастройки.

Кривая **а** соответствует начальным настройкам регулятора $K_p^{(0)} = 3, T_u^{(0)} = 100$. Кривая **б** соответствует настройкам после первого шага коррекции K_p , при этом $K_p^{(1)} = 0.8, T_u^{(0)} = 100$. После выполненного шага критерий останова по K_p больше заданного $\varepsilon_1 = 0.1$, поэтому выполняем ещё один шаг адаптации K_p . Кривая **в** соответствует настройкам после второго шага коррекции K_p , при этом $K_p^{(2)} = 1.1, T_u^{(0)} = 100$. После второго шага коррекции K_p критерий останова становится меньше заданного, поэтому далее выполняется коррекция T_u при $K_p^{(2)} = 1.1$. Кривая **г** соответствует настройкам после выполнения коррекции T_u , при этом $K_p^{(2)} = 1.1, T_u^{(1)} = 192.3$. Далее снова выполняем коррекцию K_p , так как критерий останова не выполняется. Кривая **д** – переходный процесс после третьего шага коррекции K_p , при этом $K_p^{(3)} = 1.75, T_u^{(1)} = 192.3$. Таким образом мы получаем величины параметров $K_p^{(3)}$ и $T_u^{(1)}$, при которых критерии останова меньше заданных значений и процесс самонастройки прекращается.

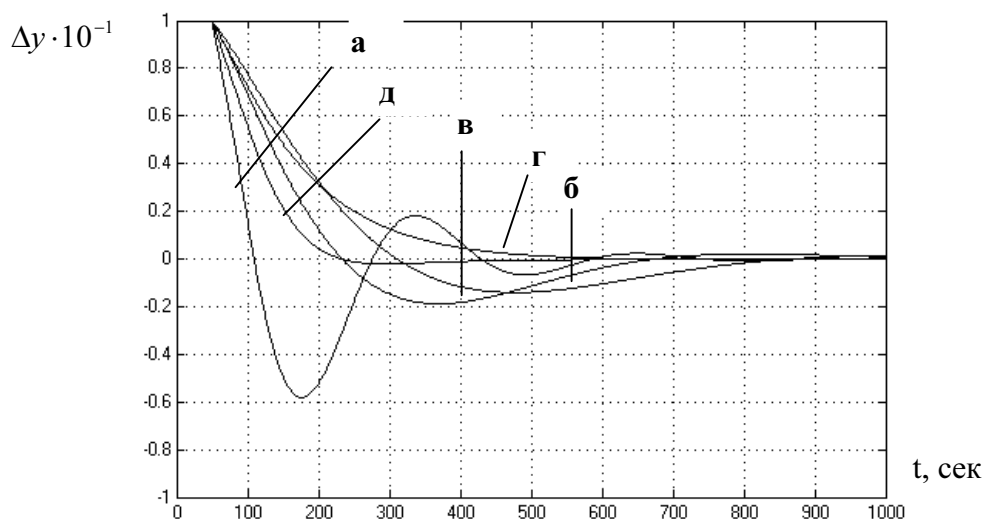


Рис.4 Переходные характеристики в замкнутой АСР.

а - переходная характеристика без контура адаптации при $K_p^{(0)} = 3, T_u^{(0)} = 100$,
б - переходная характеристика при $K_p^{(1)} = 0.8, T_u^{(0)} = 100$, **в** - переходная характеристика при $K_p^{(2)} = 1.1$ и $T_u^{(0)} = 100$, **г** – переходная характеристика при $K_p^{(2)} = 1.1, T_u^{(1)} = 192.3$, **д** – переходная характеристика при $K_p^{(3)} = 1.75, T_u^{(1)} = 192.3$

Основные результаты и выводы.

1. Предложен метод построения СНС АР, основанный на коррекции величины K_p по информации, полученной путём анализа начального участка переходного процесса в замкнутой АСР при подаче ступенчатого идентифицирующего сигнала по выходной величине объекта и изменении величины T_u с помощью упорядоченных правил на основе введенных в рассмотрение величин, косвенно характеризующих качество переходного процесса. Установлено, что постоянный коэффициент α в алгоритме коррекции коэффициента передачи регулятора определяет конечные показатели качества регулирования при однопараметрической настройке. При коррекции только величины k_p для дости-

жения динамической ошибки меньше двух процентов рекомендовано выбирать $\alpha = 1.44$.

2. Предложенный метод построения СНС АР обеспечивает эффективную работу при изменении параметров объекта в диапазоне: $0.1 \leq \frac{\tau}{T} \leq 10, \tau > 10, T > 5$, коэффициент усиления объекта может изменяться в 20 раз. Процесс самонастройки заканчивается за $2 \div 8$ итераций в зависимости от начальных значений параметров настройки регулятора.

The technique for building the self-tuned regulators of industrial quasi-stationary objects is proposed. It consists in tuning of the total amplification coefficient for closed automatic regulation system with respect to its error absolute value and derivative as well as correction of the integration constant with the use of the estimation of direct quality factors. The results of modeling are presented. The operability of self-tuned regulator within wide range of the object parameters change is shown.

1. Шубладзе А.М., Уланов А.Г., Ткачев В.П., Гулзев В.С., Ланченко Н.П. Адаптивные промышленные регуляторы // Приборы и системы управления. - 1981. - №7.- С.15-16.

2. Загарий Г.И., Шубладзе А.М. Синтез систем управления на основе критерия максимальной степени устойчивости // Энергоатомиздат. -1988. -104с.

3. Полищук И.А., Ковриго Ю.М., Мовчан А.П. Адаптивный регулятор с идентификацией в замкнутом контуре // Энергетика: экономика, технологии, экология. – 2004. - №2. - С. 16-22.