УДК: 681.5.01:004.02

ЧИСЛЕННЫЙ АЛГОРИТМ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ СТАНДАРТНЫХ ЗАКОНОВ УПРАВЛЕНИЯ В ЛОКАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ

Конокбаева Айзада Конокбаевна, *научный сотрудник, Институт автоматики и информационных технологий Национальной академии наук Кыргызской Республики 720071, г. Бишкек, проспект Чуй 265, aizik2787@gmail.com*

Аннотация. Рассматриваются вопросы параметрической оптимизации стандартных линейных законов управления. Вопрос является актуальным для локальных систем управления, которые могут быть как самостоятельными системами, так и системами нижнего уровня в составе пространственно-распределенных систем автоматизации (РСА). В РСА задача параметрической оптимизации локального алгоритма управления может решаться в автоматизированном режиме сервером пункта группового управления (ПГУ) или центрального пункта управления (ЦПУ), которые затем удаленно настраивают локальный регулятор. Расчет настроек регулятора также можно возложить на ПЛК локальной системы.

Ключевые слова: объект управления, передаточная функция, аппроксимация, алгоритм, интегральный квадратичный критерий, настройка, ПЛК, ПИД регулятор,

распределенная система автоматизации.

NUMERICAL ALGORITHM OF PARAMETRIC OPTIMIZATION OF STANDARD LAWS OF MANAGEMENT IN THE LOCAL SYSTEM

Konokbaeva Aizada Konokbaevna, *Researcher, Institute of Automation and Information Technologies of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic, Bishkek, Chui Avenue 265, aizik2787@gmail.com*

Annotation. The problems of parametric optimization of standard linear control laws are considered. The issue is relevant for local control systems, which can be both stand-alone systems and lower-level systems as part of spatially-distributed automation systems (SARs). In the PCA, the task of parametric optimization of the local control algorithm can be solved in an automated mode by a group control center (CCG) server or a central control station (CPU), which then remotely adjusts the local regulator. Calculation of the controller settings can also be assigned to the PLC of the local system.

Key words: control object, transfer function, approximation, algorithm, integral quadratic criterion, tuning, PLC, PID controller, distributed automation system.

Введение. Некоторые технологические объекты управления имеют инерционный характер [3] и в общем случае представляются передаточной функцией:

$$W(s) = \frac{k}{\prod_{i=1}^{n}(T_i s + 1)} \approx \frac{k}{(\tau s + 1)^n}. \qquad (1)$$

Запись (1) также указывает на то, что обобщенная передаточная функция апериодического объекта высокого порядка с n различными постоянными времени может быть заменена передаточной функцией, имеющей n одинаковых постоянных времени.

Подобные промышленные объекты также с удовлетворительной точностью удается аппроксимировать типовыми передаточными функциями [3], которые представлены в табл. 1, причем в таблице использована терминология литературы [3]. Параметры типовых объектов можно идентифицировать по экспериментально снятым разгонным кривым объекта управления (ОУ). Такие передаточные функции используются при настройке промышленных локальных систем управления (ЛСУ).

Существующие методы настройки являются достаточно трудоемкими, поэтому является актуальным разработка более быстродействующих алгоритмов, основанных на применении численных методов. ЛСУ также может быть системой нижнего уровня РСА [1]. В РСА решение задачи параметрической оптимизации локального алгоритма управления может быть автоматизировано. В этом случае оно может быть возложено на сервер ПГУ или ЦПУ [1], которые затем удаленно настраивают локальный регулятор. Расчет настроек регулятора также можно возложить на ПЛК ЛСУ, но в этом случае алгоритм настройки закона управления должен быть построен с учетом ограниченности объема оперативной памяти ПЛК.

Постановка задачи. Пусть локальная линейная система автоматического управления (ЛСАУ) состоит из стандартного регулятора с передаточной функцией (ПФ) $W_p(s)$ и типового статического объекта управления с передаточной функцией (ПФ) $W_o(s)$. Структурная схема ЛСАУ представлена на рис.1.

Таблица 1

передаточная функция

№ п/п	передаточная функция	тип объекта
1	$W_O(s) = \dfrac{1}{T_O s}$	астатический
2	$W_O(s) = \dfrac{k_O}{T_O s + 1}$	статический
3	$W_O(s) = \dfrac{1}{T_O s} e^{-\tau_O s}$	астатический с запаздыванием
4	$W_O(s) = \dfrac{k_O}{T_O s + 1} e^{-\tau_O s}$	статический с запаздыванием

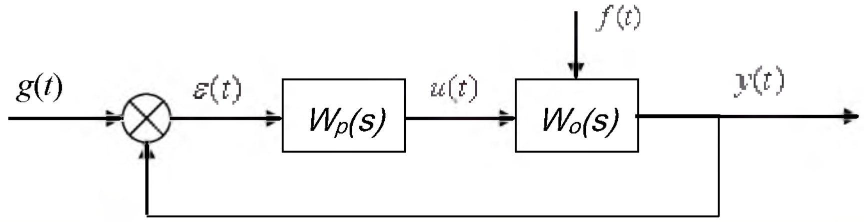

Рисунок 1 Структурная схема ЛСАУ с типовым регулятором.

Пусть показателем качества ЛСАУ служит интегральный квадратичный критерий (ИКК) [4]:

$$I_\varepsilon = \int_{t_0}^{\infty} \varepsilon^2(t)dt, \tag{2}$$

где t_0 - начальный момент времени ($g(t) = 0$ при $t < t_0$ или t <0);

$\varepsilon(t) = g(t) - y(t)$ - ошибка управления.

Требуется разработать чиленную процедуру настройки ЛСАУ с типовыми алгоритмами управления (П-, И-, ПИ-, ПИД-алгоритмы).

Задача настройки алгоритма управления формулируется как задача параметрической оптимизации

$$I_\varepsilon = \int_{t_0}^{\infty} \varepsilon^2(t)dt \xrightarrow[\vec{a},\vec{b}]{} \min,\ \vec{a} \in A, \vec{b} \in B, \tag{3}$$

где $\vec{a}$ и $\vec{b}$ - параметры (коэффициенты) алгоритма управления; A и B - множества их допустимых значений.

Как следует из записи (3), необходимо найти такие численные значения параметров (коэффициентов) линейного алгоритма управления $W_p(s)$, при которых ИКК (2) имеет наименьшее значение.

При решении задачи (3) возникают ряд трудностей [3,4], первый из которого связан с вычислением ИКК.

В общем случае ИКК для класса рассматриваемых систем может быть вычислен из условия

$$I_\varepsilon = \frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty}\left|W_{\varepsilon g}(j\omega)\right|^2\left|G(j\omega)\right|^2 d\omega\,, \qquad (4)$$

где $\left|W_{\varepsilon g}(j\omega)\right|$ - модуль КЧХ системы по ошибке для управления; $\left|G(j\omega)\right|$ - модуль спектра (Фурье-преобразования) от задающего воздействия $g(t)$.

В частности, когда $g(t)=g_0 * 1(t)$, т.е. ступенчатая функция, функционал (4) принимает вид:

$$I_\varepsilon = \frac{g_0^{\,2}}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty}\left|W_{\varepsilon g}(j\omega)\right|^2 \frac{1}{\omega^2} d\omega\,. \qquad (5)$$

Так как аналитическое вычисление функционалов (4) и (5) сопряжено с трудностями, возникает необходимость применения методов, которые не трубуют непосредственного вычисления ИКК из условий (4 и 5).

Как следует из литературы [3], для решения задачи (3) может быть использован частотный метод, основанный на построении частотных характеристик объекта и системы, т. е графоаналитическим метод. Другой метод, который в литературе [3] называют табличным, относится к классу эмпирических методов и основан на использовании методику и таблиц настройки Циглера-Никольса. Эмпирический метод требует предварительного эксперимента по получению разгонной кривой ОУ и идентификации по ней параметров типовых ОУ, представленных в табл. 1.

В работе [2] для решения задач параметрической оптимизации систем управления предлагается привлечь численные методы математического программирования, так как быстродействие современных компьютеров позволяют решать достаточно сложные задачи за приемлемое время.

Уточним постановку задачи (3) для случая, когда ОУ представлен в виде статического звена (см. табл. 1), а регулятор является стандартным ПИД регулятором:

$$u(t) = k_p[\varepsilon(t) + \frac{1}{T_u}\int_0^{\infty}\varepsilon(t)dt + T_\partial \frac{d\varepsilon(t)}{dt}]\,, \qquad (6)$$

где $u(t)$ - управляющая переменная; $\varepsilon(t)$-ошибка регулирования; k_p - коэффициент передачи; T_u - постоянная интегрирования; T_∂ - постоянная дифференцирования.

С учетом интервалов изменения параметров реальных промышленных регулято-ров задача параметрической оптимизации может сформулирована в виде:

$$I_0 = \int_{t_0}^{\infty}\varepsilon^2(t)dt \xrightarrow[k_p, T_u, T_\partial]{} \min\,, \qquad (7)$$

$$k_p \in [0{,}1;\ 60],\ T_u \in\ [0{,}1;\ 300],\ T_\partial \in\ [1;\ 600],$$

Решение задач (6) предполагается получить численными методами, для чего прежде всего необходимо уметь вычислять ИКК (1).

Вычисление ИКК. Вычисление ИИК будет выполняться на основе аналитических соотношений, данных, в частности, в литературе [4]. Для использования этих соотношений следует найти Лапласово изображение ошибки по управлению.

Передаточная функция ПИД регулятора, согласно уравнению (6):

$$W_p(s)=\frac{k_p[1+T_u s+T_u T_\partial s^2]}{T_u s}.$$

Передаточная функция ОУ, согласно табл. 1:

$$W_O(s)=\frac{k_O}{T_O s+1}.$$

Передаточная функция разомкнутой системы управления:

$$W(s)=W_p(s)W_o(s)=\frac{B_1(s)B_2(s)}{A_1(s)A_2(s)}=\frac{k_o k_p(T_u T_\partial s^2+T_u s+1)}{T_u T_o s+T_u s},$$

где $A_1(s)=T_u s$; $A_2(s)=T_o s+1$; $B_1(s)=k_p(T_u T_\partial s^2+T_u s+1)$; $B_2(s)=k_o$;

$k_p k_o=k$ - коэффициент передачи разомкнутой системы.

Найти изображение ошибки $E(s)$ можно из условия:

$$E_{\varepsilon g}(s)=W_{\varepsilon g}(s)G(s)=\frac{A_1(s)A_2(s)}{A_1(s)A_2(s)+B_1(s)B_2(s)}\frac{1}{s}=\frac{b_0 s^m+b_1 s^{m-1}+\ldots+b_m}{a_0 s^n+a_1 s^{n-1}+\ldots+a_n},$$

для чего необходимо вывести передаточную функцию замкнутой системы для ошибки по управлению:

$$W_{\varepsilon g}(s)=\frac{A_1(s)A_2(s)}{A_1(s)A_2(s)+B_1(s)B_2(s)}$$

или

$$W_{\varepsilon g}(s)=\frac{T_u T_\partial s^2+T_u s}{(1+k)T_u T_o s^2+(1+k)T_u s+k}.$$

Теперь изображение ошибки имеет вид:

$$E_{\varepsilon g}(s)=\frac{b_0 s^m+b_1 s^{m-1}+\ldots+b_m}{a_0 s^n+a_1 s^{n-1}+\ldots+a_n}=\frac{T_u T_\partial s^2+T_u s}{(1+k)T_u T_o s^3+(1+k)T_u s^2+ks}. \quad (8)$$

Коэффициенты знаменателя при n=3:

$$a_0=(1+k)T_u T_o;\ a_1=(1+k)T_u;\ a_2=k;\ a_3=0.$$

Порядок числителя и знаменателя можно уменьшить на единицу путем деления числителя и знаменателя на ks, таким образом n=2, m=1:

$$a_0=(1/k+1)T_u T_o;\ a_1=(1/k+1)T_u;\ a_2=1;\ b_0=\frac{T_u T_\partial}{k};\ b_1=T_u/k.$$

ИКК для n=2 вычисляется из условия[4]:

$$I_\varepsilon=\frac{b_1^2 a_0+b_0^2 a_2}{2a_0 a_1 a_2}. \quad (9)$$

Параметрическая оптимизация ПИД алгоритма. В литературе [3] показано, что для низкочастотных систем автоматического управления задача параметрической оптимизации (7) эквивалентна задаче

$$\frac{T_u}{k_p}\xrightarrow[k_p,T_u,T_\partial]{}\min \quad (10)$$

$$k_p\in[0{,}1;\ 60],\ T_u\in[0{,}1;\ 300],\ T_\partial\in[1;\ 600].$$

Интервал изменения отношения T_u к k_p составляет [1; 3000].

В литературе [3] также показано, что отношение T_u/k_p является унимодальной функцией, так что задача (10) может быть решена любым численным методом одномерной оптимизации нулевого порядка [5].

Учитывая, что число точек вычислений ИКК относительно небольшое можно использовать метод перебора.

Алгоритм настройки.

1. Постоянную времени T_∂ изменять начиная от 1 с шагом 10 сек., всего значений T_∂ будет 60. И для каждого значения повторять нижеследующий порядок действий.

2. Разбить интервал изменения отношения T_u/k_p € [1; 3000] на подинтервалы шириной 10 сек., получится 300 подинтервалов.

3.Установить начальное значение T_u/k_p=1.

4. Вычислить ИКК из условия (8) и сохранить значение.

5. Увеличить отношение T_u/k_p на 10.

6. Проверить: рассмотрены все значения отношение T_u/k_p?

Если да, то перейти к пункту 7; если нет, то увеличить отношение T_u/k_p на 10 сек. и выполнить пункт 4.

7. Вычисления ИКК закончены. Получен массив значений ИКК, равное 300х60 = 18000. Каждому значению ИКК соответствует набор значений параметров k_p, T_u, T_∂.

8. Выполнить сравнение значений ИКК. Выбрать такой набор параметров, который соответствует минимуму отношения T_u/k_p. Получено решение задачи параметрической оптимизации ПИД алгоритма управления.

9. Вычисления закончить. Результат использовать по назначению (вывод результатов на печать, записать в файл, отправить по линии связи к ПЛК.

Из разработанного алгоритма можно, как частные случаи, получить алгоритмы параметрической оптимизации частных законов управления, получаемых из ПИД алгоритма: П, И, ПИ алгоритмов.

Заключение. Разработан численный алгоритм параметрической оптимизации стандартного ПИД закона управления. В РСА решение задачи параметрической оптимизации локального алгоритма управления может быть возложен на сервер ПГУ или ЦПУ, которые удаленно настраивают локальный регулятор [1].

Расчет настроек регулятора также можно возложить на ПЛК локальной системы, но в этом случае алгоритм необходимо модифицировать с учетом ограниченного объема оперативной памяти ПЛК.

Список литературы:

1. Акматбеков Р. А. Распределенная система управления биологической очисткой бытовых сточных вод / Известия НАН КР. - Б: Илим, 2015, №1. – с. 101-107.
2. Акматбеков Р. А. Параметрическая оптимизации алгоритмов управления методом Монте-Карло / Проблемы автоматики и управления. – Б.: Илим, 2018. – в печати.
3. Ротач В. Я. Расчет динамики промышленных автоматических систем регулирования. - М.: Энергия, 1973. - 440 с.
4. Теория автоматического управления / Ч.1. Теория линейных систем автоматического управления / Под ред. А. А. Воронова. – М.: Высш. шк., 1986. – 367 с.
5. Уайлд Д. Дж. Методы поиска экстремума. – М.: Наука, 1967. – 268 с.