

СИНТЕЗ ЦИФРОВОГО РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ ЛИНЕЙНЫХ ОБЪЕКТОВ ПЕРВОГО ПОРЯДКА С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ*

С.А. Колпащиков

Самарский государственный технический университет
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244
E-mail: sKolpaschikov@mail.ru

Предлагается синтезировать систему управления итерационным методом по виду переходного процесса. На каждой итерации оценивается качество системы путем моделирования гибридной системы.

Ключевые слова: цифровой регулятор, итерационный метод, качество системы управления.

Широкий класс объектов управления описывается линейным гиперболическим уравнением первого порядка в частных производных. Например, к такому классу объектов можно отнести теплообменники с перекрестным током, математическая модель которых строится на основе уравнения теплового баланса, при условии постоянства коэффициента теплообмена [1]:

$$\frac{\partial \theta(x,t)}{\partial t} + v \cdot \frac{\partial \theta(x,t)}{\partial x} = T_0 \cdot (\theta_B(t) - \theta(x,t)); \quad 0 \leq x \leq L; \quad t > 0, \quad (1)$$

с краевыми и начальными условиями

$$\theta(x,0) = \theta_0(x); \quad \theta(0,t) = g(t), \quad (2)$$

где $\theta(x,t)$ – распределение температуры охлаждаемой среды;

v – скорость потока охлаждаемой среды;

T_0 – параметр, зависящий от конструкции теплообменника и охлаждаемой среды;

θ_B – температура воздуха;

$\theta_0(x)$ – начальное распределение температуры;

L – общая длина трубки теплообменника;

$g(t)$ – функция изменения температуры масла на входе теплообменника.

Как показано в [1], передаточная функция теплообменника по каналу «температура воздуха – температура охлаждаемой среды на выходе» будет иметь вид

$$W_B(p) = \frac{1}{T_0 \cdot p + 1} \cdot \left[1 - e^{-\frac{1}{v}(p+T_0)L} \right] = \frac{1}{T_0 \cdot p + 1} \cdot \left[1 - e^{-\frac{\tau}{T_0} \cdot e^{-\tau \cdot p}} \right]. \quad (3)$$

Применение аналитических методов синтеза и настройки регуляторов для системы управления объектом вида (3) затруднено. Обычно заранее выбирается вид ре-

* Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ №09-08-00297-а, №10-08-00754-а; ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 годы», заявка НК 66П/11, заявка 2010-1.3.1-230-009/8; АВИЦП «Развитие научного потенциала высшей школы», проект №2.1.2/13988.

Сергей Александрович Колпащиков (к.т.н.), доцент, каф. автоматики и управления в технических системах.

гулятора и осуществляется численная оптимизация его настроек по какому-либо критерию. Например, в работе [1] выбран классический ПИ-регулятор, а настройка его параметров осуществлена путем численной оптимизации интегрального критерия качества, учитывающего быстродействие системы и недопустимость перерегулирования.

К недостаткам такого подхода можно отнести ограниченность стандартными видами регуляторов, выбираемых по обобщенным рекомендациям, и наличие в критерии качества весовых коэффициентов, влияющих на качество переходного процесса синтезируемой системы, значения которых выбираются на основе интуитивно-экспериментальных подходов. Другим существенным недостатком такого подхода является сложность учета ограничений на допустимую величину управляющего воздействия.

Предлагается синтезировать систему управления путем задания и итерационного изменения желаемого вида переходной характеристики. На каждой итерации оценивается качество переходного процесса по управлению, качество отработки системой различного вида возмущений и форма управляющих воздействий.

Предложенный подход можно реализовать путем синтеза цифрового регулятора, обеспечивающего заданный вид переходной характеристики. Методика синтеза такого регулятора описана в работах [2, 3] и заключается в модификации апериодического регулятора [4] путем введения дополнительных фиктивных нулей и полюсов в передаточную функцию объекта управления. В работах [2, 3] предлагается методика расчета дополнительных нулей и полюсов исходя из вида желаемой переходной характеристики и точности ее отработки.

Рассмотрим применение предложенного подхода для синтеза системы управления объектом вида (3) с параметрами, полученными для трубчатого теплообменника в работе [1], $T_0 = 82$ и $\tau = 61$. Требования к системе управления: максимальное быстродействие в условиях ограничений на максимальную величину управляющего воздействия 50°C и отсутствие перерегулирования выходной координаты.

Для синтеза регулятора необходимо перейти к дискретной форме описания объекта управления. Дискретная передаточная функция объекта при шаге дискретизации, равном 1 с, имеет вид

$$G(z) = \frac{0.0121z^{-1} - e^{-61/82} \cdot 0.0121z^{-62}}{1 - 0.9879z^{-1}}. \quad (4)$$

Согласно [2] регулятор имеет вид

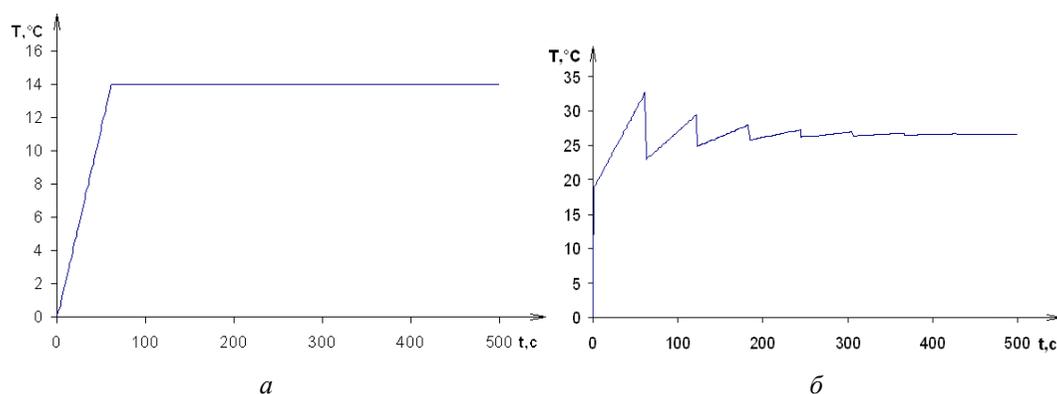
$$G_p = \frac{q_0 A(z) \prod_{i=1}^n (1 - z_i z^{-1})}{1 - q_0 B(z) \prod_{i=1}^n (1 - z_i z^{-1})}, \quad (5)$$

где $\prod_{i=1}^n (1 - z_i z^{-1})$ – корректирующий полином.

Исходя из рекомендаций [2] с учетом шага дискретизации и предполагая, что длительность переходного процесса будет не более 80 с, в рассматриваемой задаче степень корректирующего полинома должна составлять 700.

В качестве желаемой формы переходного процесса по управлению была выбрана функция линейного нарастания до заданного значения. При таком задании время переходного процесса определяется единственным параметром – углом наклона, т. е. задача сводится к одномерной оптимизации в условиях ограничений.

В процессе синтеза системы время желаемого переходного процесса уменьшалось от 80 до 40 с. На всех итерациях был получен вид переходного процесса, соответствующий заданному виду. Максимальная величина управляющего воздействия возрастала с уменьшением времени переходного процесса. При времени переходного процесса, равном 40 с, максимальное значение управляющего значения составляло 90 % от максимально допустимой величины. Запас устойчивости системы к изменениям параметров объекта уменьшался с уменьшением времени желаемого переходного процесса. В результате была синтезирована система, обеспечивающая быстрое действие практически в три раза выше системы, синтезированной по интегральному критерию. На рисунке приведены вид переходного процесса и график изменения управляющего воздействия при времени переходного процесса, равном 60 с.



Графики переходного процесса (а) и управляющего воздействия (б) в синтезированной системе

Из графика видно, что изменение выходной координаты прекращается в заданное время, однако в системе продолжается переходный процесс. Управляющее воздействие продолжает изменяться, удерживая выходную координату на заданной величине.

Предложенный метод синтеза системы в отличие от других численных методов позволяет в процессе синтеза проводить анализ устойчивости системы к различным видам возмущений, в том числе и изменениям параметров объекта, и корректировать результаты синтеза на основе этих данных.

Основным отличием предлагаемого метода является изменение на каждой итерации не параметров регулятора, а параметров желаемого вида переходного процесса. Такой подход позволяет в рамках процедуры синтеза изменять не только параметры, но и структуру регулятора. К основному недостатку рассматриваемого подхода нужно отнести отсутствие каких-либо рекомендаций по выбору формы переходного процесса, которая влияет как на вид управляющего воздействия, так и на устойчивость синтезируемой системы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Данилушкин И.А., Росеев Н.Н. Синтез системы автоматического управления температурным полем трубчатого теплообменника // Вестник СамГТУ. Сер. Физико-математические науки. – 2006. – №40. – С. 5-11.
2. Колпацников С.А. Автоматизация и контроль технологического процесса наложения изоляции кабелей связи с парной структурой: автореф. дис. ... канд. техн. наук / СамГТУ. – Самара: СамГТУ, 2004. – 20 с.
3. Чостковский Б.К. Методы и системы оптимального управления технологическими процессами

- производства кабелей связи: монография. – М.: Машиностроение, 2009. – 190 с.
4. Изерман Р. Цифровые системы управления: Пер. с англ. – М.: Мир, 1984.

Статья поступила в редакцию 10 октября 2011 г.

DIGITAL CONTROL OF LINEA FISTR-ORDER PLANTS WITH DISTIBUTED PARAMETERS

S.A. Kolpashchikov

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100

The iterative procedure of synthesis control system based on shape of transient process is suggested. The quality of control system is checked for each iteration by simulation of hybrid system.

Keywords: *digital control, iterative procedure, quality of control system.*

Sergey A. Kolpashchikov (Ph.D. (Techn.)), Associate Professor.