УДК 621.181:681.5.01

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ ВТОРОГО ПОРЯДКА ПО ИХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ РАЗГОННЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ

♦♦♦♦♦

A COMPUTATIONAL COMPLEX FOR PARAMETRIC IDENTIFICATION OF SECOND-ORDER THERMAL ENERGY CONTROL OBJECTS BASED ON THEIR EXPERIMENTAL ACCELERATION CHARACTERISTICS

Нестеров Сергей Владимирович
кандидат технических наук,
доцент кафедры теплоэнергетики и теплотехники,
Кубанский государственный технологический университет
nesterov@kubstu.ru

Гостев Дмитрий Алексеевич
студент,
Кубанский государственный технологический университет
dimon-vizitor@yandex.ru

Аннотация. Описаны возможности вычислительного комплекса, предназначенного для определения параметров математических моделей стационарных теплоэнергетических объектов регулирования, связь между внешним воздействием и реакцией на него которых может быть описана обыкновенным дифференциальным уравнением второго порядка с постоянными коэффициентами. Параметры объекта рассчитываются по его кривой разгона, полученной экспериментально по каналу внешнего воздействия. Она аппроксимируется одним из трех решений названного уравнения, соответствующих динамическим свойствам идентифицируемого объекта. Решение рассматриваемой задачи реализуется с использованием вычислительных средств системы компьютерной математики Mathcad.

Ключевые слова: вычислительный комплекс, теплоэнергетическая установка, математическая модель, передаточная функция, идентификация, разгонная характеристика, метод наименьших квадратов.

Nesterov Sergej Vladimirovich
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor of the Department
of Thermal Power Engineering
and Thermal Engineering,
Kuban State University of Technology
nesterov@kubstu.ru

Gostev Dmitry Alekseevich
Student,
Kuban State University of Technology
yuraworkshop@gmail.com

Annotation. The article describes the capabilities of a computational complex designed to determine the parameters of mathematical models of stationary thermal energy control objects, where the relationship between external influences and their responses can be described by a second-order ordinary differential equation with constant coefficients. The parameters of the object are calculated based on its acceleration curve, which is obtained experimentally through the external influence channel. This curve is approximated by one of the three solutions of the aforementioned equation, which correspond to the dynamic properties of the identified object. The solution of this problem is implemented using the computational tools of the Mathcad computer mathematics system.

Keywords: computational complex, thermal power plant, mathematical model, transfer function, identification, acceleration characteristic, least squares method.

Данный вычислительный комплекс предназначен для определения параметров математических моделей стационарных теплоэнергетических объектов регулирования (ТОР), динамические свойства которых по каналу внешнего воздействия могут быть описаны обыкновенным дифференциальным уравнением второго порядка с постоянными коэффициентами [1]:

$$a_2 \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + a_1 \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = bx(t), \qquad (1)$$

где a_1; a_2; b – коэффициенты; y – контролируемая координата (выходная величина) ТОР; x – внешнее (управляющее или возмущающее) воздействие, приложенное к входу ТОР.

В этом случае ТОР имеет передаточную функцию вида:

$$W(s) = \frac{b}{a_2 s^2 + a_1 s + 1}. \quad (2)$$

В зависимости от динамических свойств идентифицируемого ТОР, знаменатель передаточной функции (2) (характеристическое уравнение):

$$a_2 s^2 + a_1 s + 1 = 0 \quad (3)$$

может иметь:

– два действительных неравных корня при $a_1 > 2\sqrt{a_2}$;

– два действительных равных корня при $a_1 = 2\sqrt{a_2}$;

– комплексные сопряженные корни при $a_1 < 2\sqrt{a_2}$ (вариант мнимых корней не рассматривается).

В каждом из этих трех случаев передаточная функция ТОР (2) принимает соответствующий вид

$$W(s) == \frac{k}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)}; \quad (4)$$

$$W(s) == \frac{k}{(Ts + 1)^2}; \quad (5)$$

$$W(s) == \frac{k}{T^2 s^2 + 2\xi T s + 1}, \quad (6)$$

где k; ξ – коэффициенты соответственно передачи и затухания ТОР; T, T_1; T_2 – постоянные времени ТОР.

Передаточные функции (4) и (5) соответствуют ТОР с монотонной разгонной характеристикой, обладающим динамическими свойствами инерционного звена второго порядка соответственно с неравными ($T_1 \neq T_2$) и равными ($T_1 = T_2 = T$) постоянными времени.

Передаточная функция (6) представляет динамические свойства ТОР с колебательной кривой разгона, обладающего свойствами колебательного звена.

В связи с этим экспериментальные разгонные характеристики ТОР могут быть аппроксимированы соответствующими этим свойствам (передаточным функциям) выражениями:

$$y(t) = y_0 + k\Delta x\left(1 - \frac{T_1}{T_1 - T_2} e^{-\frac{t}{T_1}} + \frac{T_2}{T_1 - T_2} e^{-\frac{t}{T_2}}\right); \quad (7)$$

$$y(t) = y_0 + k\Delta x\left[1 - \left(1 + \frac{t}{T}\right) e^{-\frac{t}{T}}\right]; \quad (8)$$

$$y(t) = y_0 + k\Delta x\left[1 - \frac{1}{\sqrt{1-\xi^2}} e^{-\xi\frac{t}{T}} \sin\left(\frac{\sqrt{1-\xi^2}}{T} t + \operatorname{arctg}\frac{\sqrt{1-\xi^2}}{\xi}\right)\right], \quad (9)$$

где y_0 – значение выходной величины ТОР до нанесения внешнего воздействия; Δx – изменение внешнего воздействия при снятии разгонной характеристики ТОР y(t).

Выражения (7)–(9) являются решениями уравнения (1) при $x(t) = \Delta x_1(t)$ и сформулированных ранее условиях, которым в каждом из рассматриваемых случаев должны удовлетворять его коэффициенты a_1 и a_2. Ими аппроксимируются разгонные харак-

теристики ТОР, полученные экспериментально по одному из каналов внешнего воздействия, например, регулирующего. Выбор соответствующего выражения зависит от динамических свойств идентифицируемого объекта – вида его экспериментальной разгонной характеристики. Значения неизвестных коэффициентов аппроксимирующих выражений (7)-(9) рассчитываются методом наименьших квадратов, что обеспечивает описание ими экспериментальных кривых разгона ТОР с минимальной среднеквадратичной погрешностью.

Эквивалентность передаточных функций (2) и (4)–(6) позволяет по определенным в ходе аппроксимации значениям параметров ТОР рассчитать значения коэффициентов a_1 и a_2 его математической модели (1) или передаточной функции (2) по формулам:

– при $a_1 > 2\sqrt{a_2}$ и передаточной функции (4):

$$\left.\begin{aligned} a_1 &= T_1 + T_2; \\ a_2 &= T_1 T_2; \end{aligned}\right\} \qquad (10)$$

– при $a_1 = 2\sqrt{a_2}$ и передаточной функции (5):

$$\left.\begin{aligned} a_1 &= 2T; \\ a_2 &= T^2; \end{aligned}\right\} \qquad (11)$$

– при $a_1 < 2\sqrt{a_2}$ и передаточной функции (6):

$$\left.\begin{aligned} a_1 &= 2\xi T; \\ a_2 &= T^2. \end{aligned}\right\} \qquad (12)$$

Реализуемая вычислительным комплексом процедура параметрической идентификации ТОР осуществляется средствами системы компьютерной математики Mathcad.

Литература

1. Плетнев Г.П. Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике: Учебник для студентов вузов. – Изд. 4-е, стереот. – М. : Издательский дом МЭИ, 2007. – 352 с.

References

1. PletnevG.P. Automation of technological processes and productions in heat power engineering: Textbook for university students. – Ed. 4th, stereot. – M. : Publishing house of MEI, 2007. – 352 p.