УДК 621.181:681.5.01

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПЕРЕДАТОЧНОЙ ФУНКЦИИ УЧАСТКОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПАРОВЫХ КОТЛОВ ПО ИХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ

♦♦♦♦♦

DETERMINATION OF THE TRANSFER FUNCTION COEFFICIENTS OF THE STEAM BOILER CONTROL SECTIONS BASED ON THEIR EXPERIMENTAL AMPLITUDE-FREQUENCY CHARACTERISTICS

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

Четвериков Даниил Валерьевич
студент,
Кубанский государственный технологический университет
daniilchetver@yandex.ru

Аннотация. Представлена методика определения коэффициентов передаточной функции участков регулирования паровых котлов по их экспериментальным амплитудно-частотным характеристикам. Значения коэффициента передачи и постоянной времени объекта идентификации определяются методом наименьших квадратов по названной характеристике. В качестве уравнения регрессии используется выражение амплитудно-частотной характеристики инерционного звена третьего порядка с равными постоянными времени. Коэффициенты регрессии (параметры участка регулирования котла) определяются численным решением системы нормальных уравнений. Данная процедура оформлена в виде вычислительного модуля в системе компьютерной математики Mathcad.

Ключевые слова: паровой котел, участок регулирования, передаточная функция, идентификация, амплитудно-частотная 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

Chetverikov Daniil Valerievich
Student,
Kuban State University of Technology
daniilchetver@yandex.ru

Annotation. The paper presents a method for determining the transfer function coefficients of steam boiler control sections based on their experimental amplitude-frequency characteristics. The values of the transfer coefficient and time constant of the identification object are determined using the least squares method based on this characteristic. The regression equation is based on the expression for the amplitude-frequency characteristic of a third-order inertial link with equal time constants. The regression coefficients (parameters of the boiler control section) are determined by numerically solving a system of normal equations. This procedure is implemented as a computational module in the Mathcad computer mathematics system.

Keywords: steam boiler, control section, transfer function, identification, amplitude-frequency characteristic, least squares method.

В статье рассматривается методика определения коэффициентов передаточной функции участка регулирования парового котла (ПК), динамические свойства которого по каналу регулирующего воздействия описываются дифференциальным уравнением вида:

$$a_3 \frac{d^3y(t)}{dt^3} + a_2 \frac{d^2y(t)}{dt^2} + a_1 \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = bx(t), \quad (1)$$

где a_1; a_2; a_3; b – коэффициенты; y – регулируемая (выходная) величина ПК; x – регулирующее (внешнее) воздействие.

При этом полагается, что регулируемый участок ПК как динамический объект обладает свойствами инерционного звена третьего порядка с равными постоянными времени с передаточной функцией:

$$W(s) = \frac{k}{(Ts+1)^3}, \quad (2)$$

где k; T – соответственно коэффициент передачи и постоянная времени ПК по рассматриваемому каналу регулирования; s – оператор Лапласа.

Поскольку уравнение (1) и передаточная функция (2) эквивалентны, между коэффициентами a_1, a_2, a_3, b и параметрами участка регулирования ПК T и k имеется связь

$$a_1 = 3T; \qquad a_2 = 3T^2; \qquad a_3 = T^3; \qquad b = k. \tag{3}$$

Она позволяет по известным значениям параметров ПК T и k рассчитать значения коэффициентов его математической модели (1).

Сами же коэффициенты T и k передаточной функции (2) предлагается определять на основе регрессионной модели ПК. Она построена методом наименьших квадратов [1] по его амплитудно-частотной характеристике (АЧХ), полученной экспериментально по каналу регулирующего воздействия вследствие изменения этого воздействия по гармоническому закону.

Для описания экспериментальной АЧХ участка регулирования ПК в качестве уравнения регрессии допустимо использовать выражение АЧХ инерционного звена третьего порядка с равными постоянными времени, соответствующее передаточной функции (2):

$$A(\omega) = \frac{k}{\sqrt{(T^2\omega^2 + 1)^3}}, \tag{4}$$

где ω – угловая частота внешнего (регулирующего) воздействия.

Очевидно, что в этом случае значения коэффициентов k и T уравнения регрессии (4) определяются из условия минимизации функционала:

$$S = \sum_{i=1}^{n}\left[A_i - \frac{k}{\sqrt{(T^2\omega_i^2 + 1)^3}}\right]^2, \tag{5}$$

где n – количество точек экспериментальной АЧХ ПК; Ai – ординаты точек экспериментальной АЧХ ПК.

Для этого необходимо составить и решить систему нормальных уравнений:

$$\left.\begin{aligned} \frac{\partial S}{\partial k} &= 2k\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{(T^2\omega_i^2 + 1)^3} - 2\sum_{i=1}^{n}\frac{A_i}{\sqrt{(T^2\omega_i^2 + 1)^3}} = 0; \\ \frac{\partial S}{\partial T} &= 6Tk\left[\sum_{i=1}^{n}\frac{(T^2\omega_i^2 + 1)^2 A_i\omega_i^2}{\sqrt{(T^2\omega_i^2 + 1)^9}} - k\sum_{i=1}^{n}\frac{\omega_i^2}{(T^2\omega_i^2 + 1)^4}\right] = 0. \end{aligned}\right\} \tag{6}$$

Наиболее просто процедура решения системы уравнений (6) реализуется в системе компьютерной математики Mathcad в виде вычислительного модуля, представленного на рисунке 1.

В первой строке этого модуля задается количество n = 7 точек экспериментальной АЧХ ПК A(ω), координаты которых (ω_i, A_i) представлены ниже соответственно в векторах $\boldsymbol{\omega}$ и **A**. Правее в этой же строке модуля задаются начальные приближения коэффициентов уравнения регрессии – коэффициентов передаточной функции ПК (k = 12; T = 45). Ниже расположен блок решения системы нормальных уравнений (6) Given-Find. Он открывается ключевым словом Given, после которого записаны уравнения (6). Названный блок завершается функцией Find с неизвестными переменными k и T в качестве параметров ПК. Она возвращает их значения в виде элементов вектора

D. Эти значения представлены в последней строке вычислительного модуля: k = 14,27; T = 40,11.

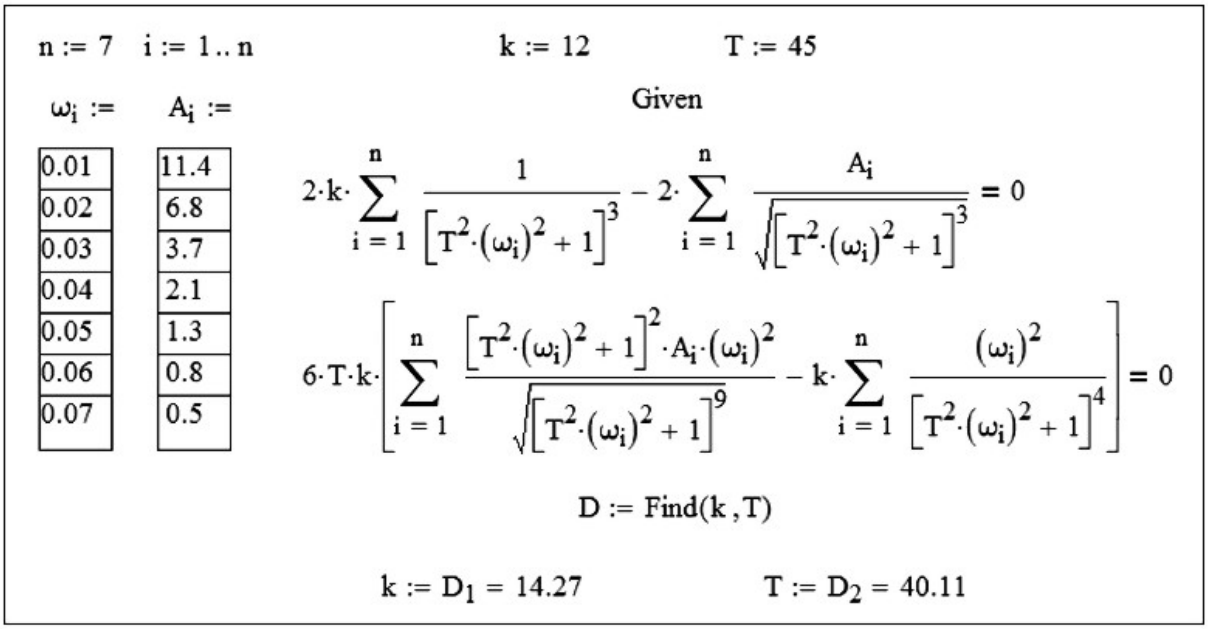


Рисунок 1 – Вычислительный модуль

Рассчитанные предлагаемым методом значения коэффициентов передаточной функции ПК k и T обеспечивают описание с минимальной среднеквадратичной погрешностью выражением (4) его экспериментальной АЧХ.

Описанная методика идентификации ПК по их экспериментальным АЧХ позволяет определять также параметры математических моделей (передаточных функций) и других теплоэнергетических установок, обладающих подобными динамическими свойствами.

Литература

1. Львовский Е.Н. Статистические методы построения эмпирических формул : учеб. пособие для втузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. шк., 1988. – 239 с.

References

1. Lvovsky E.N. Statistical Methods of Constructing Empirical Formulas : textbook for Technical Universities. – 2nd edition, revised and expanded. – M. : Vysshaya Shkola, 1988. – 239 p.