

УДК 681.5(07)

М. ШЕЙХ ЭЛЬ НАЖЖАРИН, А. Г. СЕНЬКОВ, Белорусский национальный технический университет

МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА И АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПИД-РЕГУЛЯТОРА

В работе на примере системы автоматического регулирования температуры в помещении показана возможность использования пакета компьютерного моделирования Simulink для решения задач идентификации, моделирования и синтеза систем автоматического управления.

In the paper is considered a system of automatic control of the temperature in a room and is shown a method of its' synthesis by using components of Simulink software package.

В связи с повсеместным развитием современных компьютерных технологий существенно изменились подходы к решению задач анализа и синтеза систем автоматики. Прикладные пакеты MATLAB, DesignLab, WorkBanch, VisSim и др., используемые для исследования и проектирования электромеханических систем, позволили качественно изменить и существенно расширить возможности инженера.

В качестве примера использования системы компьютерной математики (СКМ) Matlab для моделирования, анализа и синтеза объектов и систем автоматики рассмотрим задачу синтеза системы автоматического регулирования (САР) температуры воздуха в помещении, в роли которого может использоваться учебный сушильный шкаф типа ШСУ, имеющий объем сушильной камеры 10 л и максимальную температуру нагрева 150 °С. Структурная схема САР изображена на рис. 1.

Для синтеза САР с типовым законом регулирования необходимо иметь математическое описание составляющих ее элементов (звеньев).

Получим теоретическим путем математическую модель помещения как объекта управления. Значение температуры воздуха в помещении θ зависит от двух величин: мощности работающего электронагревателя P и температуры наружного воздуха θ_H . В данном случае для упрощения последующих рассуждений мы будем пренебрегать другими обстоятельствами, которые могут влиять на температуру

в помещении, такими, например, как уровень солнечного освещения или скорость ветра снаружи. Для получения математической формулы, отражающей эту зависимость, будем руководствоваться сведениями из области теплофизики и теплообмена. В процессе нагрева помещения одна часть тепловой мощности электронагревателя P_1 расходуется на увеличение температуры в помещении, а другая часть P_2 – рассеивается наружу путем теплопередачи через стены. Соответствующие математические формулы имеют следующий вид:

$$P_1 = c \frac{d\theta}{dt}, \quad (1)$$

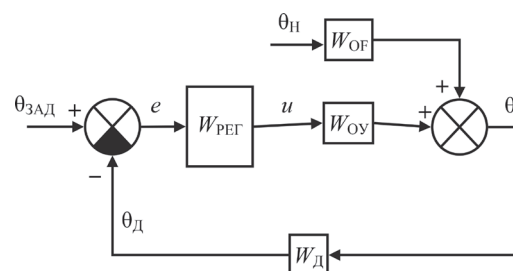


Рис. 1. Структурная схема САР температуры воздуха в помещении: θ – управляемая величина (температура); $\theta_д$ – значение температуры, измеряемое датчиком; $\theta_{зад}$ – заданное (требуемое) значение температуры; e – ошибка регулирования; u – управляющее воздействие регулятора на объект управления (ОУ); θ_H – возмущающее воздействие на ОУ (температура снаружи); $W_{ОУ}$ – передаточная функция ОУ по управляющему воздействию; $W_{ОФ}$ – передаточная функция ОУ по возмущающему воздействию; $W_Д$ – передаточная функция датчика; $W_{РЕГ}$ – передаточная функция регулятора

$$P_2 = \frac{S\kappa}{l}(\theta - \theta_H), \quad (2)$$

где c [Дж/°С] – теплоемкость помещения; S [м²] – площадь стен; κ [Вт/(м·°С)] – коэффициент теплопроводности стен (зависит от материала стен); l [м] – толщина стен.

Учитывая, что сумма обеих мощностей равна мощности электронагревателя, получим:

$$c \frac{d\theta}{dt} + \frac{S\kappa}{l}(\theta - \theta_H) = P.$$

Преобразуем эту формулу таким образом, чтобы все члены, содержащие выходную величину (температура θ), располагались в левой части уравнения, а входные величины (P и θ_H) – в правой части, получим в итоге математическое описание рассматриваемого объекта управления:

$$T \frac{d\theta}{dt} + \theta = KP + \theta_H, \quad (3)$$

где $T = \frac{cl}{S\kappa}$ [с.] – постоянная времени; $K = \frac{l}{S\kappa}$ [°С/Вт] – коэффициент преобразования.

Данное уравнение является линейным дифференциальным уравнением 1-го порядка. Передаточные функции ОУ по управляющему и возмущающему воздействиям, соответственно, равны:

$$W_{OY}(s) = \frac{K}{Ts + 1}, \quad (4)$$

$$W_{OF}(s) = \frac{1}{Ts + 1}. \quad (5)$$

Также теоретическим путем достаточно легко получить математическую модель датчика температуры, в качестве которого в нашем случае используется термосопротивление. Если такой датчик поместить в среду с некоторой температурой θ , отличной θ_D , то будет происходить теплообмен между чувствительным элементом датчика и окружающей средой, в результате чего температура датчика будет стремиться к температуре среды, при этом, соответственно, будет меняться и его сопротивление. Математически этот процесс будет описываться следующими формулами:

$$dQ = \kappa_D(\theta - \theta_D)dt, \quad (6)$$

$$dQ = c_D d\theta_D, \quad (7)$$

где dQ [Дж] – количество теплоты, переданное от окружающей среды датчику за малый промежуток времени dt ; θ_D [°С] – температура чувствительного элемента датчика; κ_D [Дж/(°С·с)] – некоторый постоянный коэффициент, характеризующий теплопроводность чувствительного элемента датчика; c_D [Дж/°С] – теплоемкость чувствительного элемента датчика (зависит от его массы и удельной теплоемкости металла).

Приравняв выражения (6) и (7), получим:

$$T_D \frac{d\theta_D}{dt} + \theta_D = \theta, \quad (8)$$

где $T_D = \frac{c_D}{\kappa_D}$ [с.] – постоянная времени датчика.

Передаточная функция датчика равна:

$$W_D(s) = \frac{1}{T_D s + 1}. \quad (9)$$

В нашем случае для измерения температуры использовалось термосопротивление Pt1000, для которого значение постоянной времени может быть определено из паспортной документации и составляет приблизительно $T_D \approx 20$ с.

Теоретический способ получения математической модели объекта в данном случае имеет тот недостаток, что с его помощью весьма затруднительно точно определить конкретные числовые значения входящих в выражения (3)–(5) коэффициентов K , T , так как они зависят от многих факторов (площадь и высота помещения, толщина и материал стен и т.д.) Поэтому в данной работе использовался смешанный способ получения математической модели объекта: структура модели (вид уравнения, связывающего вход и выход звена) определялась теоретическим путем, а значения коэффициентов – путем идентификации.

На вход объекта подавалось ступенчатое воздействие: электрический нагревательный элемент был включен, при этом значение выделяемой на нем тепловой мощности было постоянным и равнялось 100 Вт. Температура воздуха в сушильной камере каждые 3 с. измерялась термосопротивлением, подключенным к измерителю типа «Сосна-003МД», данные измерений передавались в компьютер. Для обработки результатов измерений и решения задачи идентификации использовались инструменты библиотеки System Identification, входящей в состав пакета Simulink. В качестве

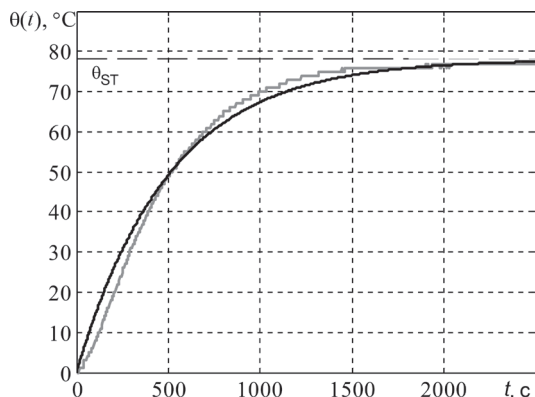


Рис. 2. График переходной функции объекта управления: кривая серого цвета – экспериментальная, кривая черного цвета – расчетная

структуры модели объекта была выбрана модель типа «вход-выход» (по английски «Output-Block», сокращенно ОЕ) [1], апериодическое звено 1-го порядка.

В результате была определена передаточная функция объекта управления по управляющему воздействию (рис. 2). Она оказалась равной:

$$W_1(s) = \frac{K}{(T_1s + 1)}, \quad (10)$$

где $K \approx 0,78$ [°C/Вт]; $T_1 \approx 502$ с.

Для более точного совпадения экспериментальной и расчетной кривых структура модели в Simulink была задана также в виде апериодического звена 2-го порядка. Были получены следующие результаты расчета:

$$W_2(s) = \frac{K}{(T_3s + 1)(T_4s + 1)}, \quad (11)$$

где $K \approx 0,78$ [°C/Вт]; $T_3 \approx 391$ с.; $T_4 \approx 98$ с.

В качестве меры оценки точности идентификации использовалось максимальное по модулю отклонение расчетной кривой от экспериментальной:

$$\Delta = \max_t |\theta(t) - \theta_{\text{ЭКСП.}}(t)|. \quad (12)$$

Были получены следующие значения: $\Delta_1 = 9,9$ °C – для апериодического звена 1-го порядка, $\Delta_2 = 1,9$ °C – для апериодического звена 2-го порядка. Лучшая точность аппроксимации объекта с помощью апериодического звена 2-го порядка может объясняться тем, что передаточная функция (11) на самом деле является произведением передаточных функций двух последовательно соединенных звеньев:

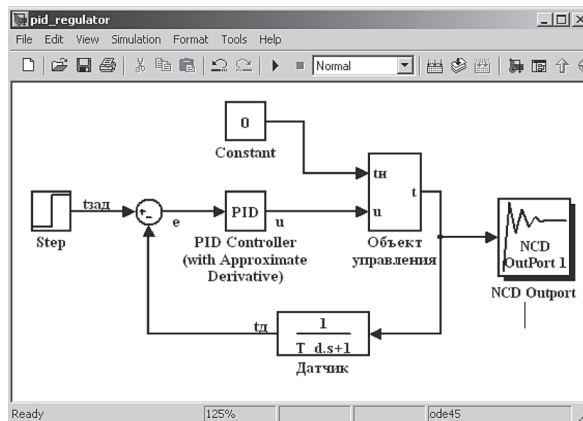


Рис. 3. Созданная в Simulink динамическая модель САР температуры в помещении

объекта управления (сушильного шкафа) и датчика температуры:

$$W_2(s) = W_{\text{ОУ}}(s)W_{\text{Д}}(s). \quad (13)$$

Таким образом, из (13) можно выразить передаточную функцию объекта управления по управляющему воздействию:

$$W_{\text{ОУ}}(s) = \frac{W_2(s)}{W_{\text{Д}}(s)} = \frac{K(T_{\text{Д}}s + 1)}{(T_3s + 1)(T_4s + 1)}. \quad (14)$$

Задача синтеза САР на основе ПИД-регулятора состоит в определении значений коэффициентов K_p , K_I и K_d , при которых обеспечивается требуемое качество регулирования САР. Для настройки коэффициентов ПИД-регулятора используем входящий в состав Simulink компонент NCD Outport, реализующий графический интерфейс для настройки параметров динамических систем. Simulink-модель рассматриваемой системы показана на рис. 3.

В качестве устройства управления в данной схеме используется компонент PID Control-

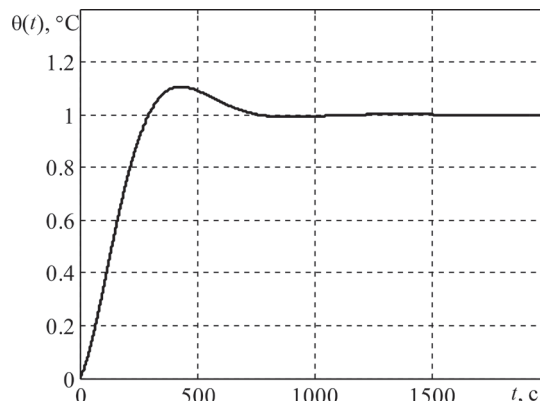


Рис. 4. Переходная функция САР по задающему воздействию при полученных в результате настройки значениях коэффициентов ПИД-регулятора

ler (with Approximate Derivative), представляющий собой модель реального ПИД-регулятора. Ограничения, задаваемые для коэффициентов ПИД-регулятора, обусловлены соображениями конечной величины управляющего воздействия u :

$$\begin{aligned} 0 \leq K_p &\leq 10, \\ 0 \leq K_I &\leq 0,5, \\ 0 \leq K_d &\leq 0,1. \end{aligned} \quad (15)$$

Требуемые показатели качества регулирования: нулевая статическая ошибка $e_{СТ} = 0$;

перерегулирование $\sigma \leq 20\%$; время регулирования $t_{РЕГ} \leq 720$ с.

В результате получены следующие значения коэффициентов ПИД-регулятора: $K_p = 3,6182$; $K_I = 0,0095$; $K_d = 0,01$. Вид переходного процесса САР по задающему воздействию показан на рис. 4.

Таким образом, СКМ Matlab и входящий в ее состав пакет моделирования Simulink предоставляют инженеру достаточно широкие возможности и удобные средства моделирования работы и синтеза систем автоматического управления динамическими объектами.

Литература

1. Дьяконов В., Круглов В. MATLAB. Анализ, идентификация и моделирование систем. Специальный справочник. – СПб: – Питер, 2001.