

Ф.А. Венедиктов, Н.В. Коряковская
(г. Архангельск, Северный (Арктический) федеральный университет
им. М.В. Ломоносова)

F. Venediktov, N.V. Koryakovskaya (Arkhangelsk, Northern (Arctic) Federal University
named after M.V. Lomonosov)

ОЦЕНКА МОДЕЛИРОВАНИЯ ПЕРЕДАТОЧНОЙ ФУНКЦИИ В АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЕ РЕГУЛИРОВАНИЯ РАСХОДА ПАРА

ASSESSMENT OF TRANSFER FUNCTION MODELLING IN AN ADAPTIVE STEAM FLOW CONTROL SYSTEM

В статье показан расчёт передаточной функции для адаптивной системы регулирования расхода пара по характеристике аperiodического звена 1-го и 2-го порядка с использованием экспериментальных данных. В качестве оценки результата моделирования использовалась ошибка аппроксимации в опорных точках. Определены показатели качества работы системы регулирования по построенным моделям. Сформулированы выводы об использовании моделей в корректирующих алгоритмах.

The article shows the transfer function calculation for an adaptive steam flow control system with the use of 1st and 2nd order aperiodic link model and experimental data. The approximation error at the control points was used for evaluating the results of modelling. The indicators of the regulation system quality with constructed models are obtained. The conclusions of using such models in corrective algorithms are formulated.

Ключевые слова: регулирование расхода, адаптивное регулирование, передаточная функция, ошибка аппроксимации.

Keywords: flow regulation, adaptive regulation, transfer function, approximation error.

При эксплуатации нестационарных объектов управления со временем возникает изменение параметров системы, которое негативно влияет на качество автоматического регулирования. В целях компенсации нежелательных отклонений параметров обычно изменяют настройки регулятора [1]. Подстройка параметров регулятора осуществляется динамически с помощью программных алгоритмов корректировки математической модели объекта в виде передаточной функции. Корректировка заключается в снятии переходного процесса после подачи диагностического импульса в систему регулирования [2]. По полученному переходному процессу выполняется реконструкция передаточной функции, для которой будут подобраны новые оптимальные настройки регулятора. Точность построения определяет результат корректировки и зависит от метода расчета и типа объекта управления.

Цель данной работы – показать влияние метода расчета передаточной функции на качество процесса автоматического регулирования расхода, используя характеристики типовых динамических звеньев.

Рассмотрим систему регулирования массового расхода пара. Расходомер переменного перепада давления, состоящий из диафрагмы (FE) и дифференциального манометра (FT), измеряет объемный расход. Температура определяется терморезистором (TE) и нормирующим преобразователем (TY). Аналоговые сигналы приборов поступают на каналы модуля ввода (TI и FIR). Контроллер рассчитывает массовый расход пара по сигналам и управляет расходом через модуль вывода (FC) и регулирующий клапан (BP). После закрытия BP на 20 % массовый расход начал уменьшаться и принял новое установившееся значение. Функциональная схема системы управления расходом, а также переходный процесс представлены на рисунке 1.

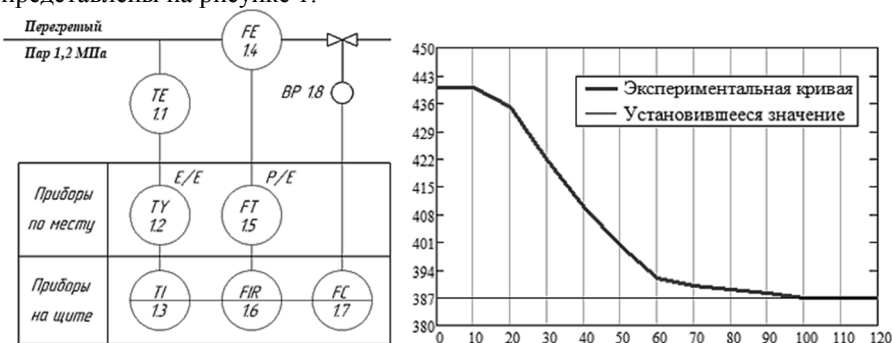


Рис. 1. Функциональная схема системы и диагностический переходный процесс

Снижение расхода происходит с запаздыванием и задержкой в скорости снижения вначале, так как объект управления обладает емкостными свойствами, поэтому для моделирования переходного процесса будем использовать характеристику аperiодического звена [3]. Проведем моделирование системы по типу звена первого (I) и второго (II) порядка с одинаковыми постоянными времени согласно формуле (1):

$$W_I = \frac{ke^{-\tau_I s}}{T_I s + 1}, \quad W_{II} = \frac{ke^{-\tau_{II} s}}{(T_{II} s + 1)^2}. \quad (1)$$

Определим коэффициент передачи объекта по формуле (2):

$$k = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{387 - 440}{20} = -2,65 \text{ кг}/(\text{мин} \cdot \%). \quad (2)$$

Для определения времени запаздывания и постоянной времени объекта применяется метод аппроксимации, сопровождающийся длительным расчетом опорных точек на экспериментальной кривой [4]. В целях

сокращения расчетов опустим расчет точек и запишем результирующие формулы для определения каждого параметра передаточной функции.

Время запаздывания определим по формулам (3), (4):

$$\tau_I = \tau + 0,5(3(t_3 - t_0 - \tau) - (t_7 - t_0 - \tau)), \quad (3)$$

$$\tau_{II} = \tau + (3(t_4 - t_0 - \tau) - (t_7 - t_0 - \tau)), \quad (4)$$

где τ – время запаздывания на экспериментальной кривой, $\tau = 10$ с;
 t_i – координата времени для опорной точки i , с.

Постоянную времени определим по формулам (5), (6):

$$T_I = 3((t_8 - t_0) - (t_3 - t_0)), \quad (5)$$

$$T_{II} = 0,3((t_{20} - t_0) - (t_4 - t_0)). \quad (6)$$

Подставим полученные значения в формулу (1) согласно формуле (7):

$$W_I = \frac{-2,65e^{-19,8s}}{26,7s + 1}, \quad W_{II} = \frac{-2,65e^{-14,6s}}{(14,5s + 1)^2}. \quad (7)$$

Представим результаты моделирования переходного процесса по полученным опорным точкам и передаточным функциям совместно с реальной экспериментальной кривой согласно рисунку 2.

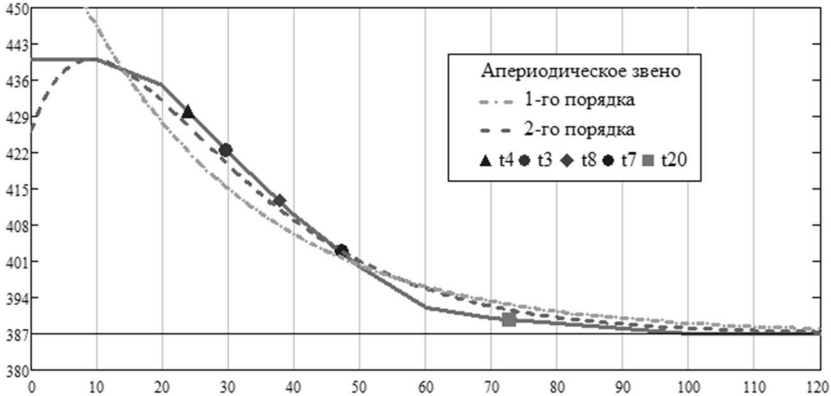


Рис. 2. Моделирование переходных процессов по передаточным функциям

Определим среднее отклонение расхода от реального значения в точках, определяющих параметры передаточных функций, как характеристику качества построения j -ой модели по формуле (8):

$$\sigma_j = \frac{100}{n} \sum_{i=0}^n \left| \frac{y_i - y'_i}{y} \right| \%, \quad (8)$$

где y_i – расход в точке i на экспериментальной кривой, кг/мин;

y'_i – расход в координате точки i на моделируемой кривой, кг/мин.

Среднее отклонение для моделей $\sigma_I = 8,1$ % и $\sigma_{II} = 3,1$ % соответственно. Выполним моделирование переходного процесса непрерывной системы

автоматического регулирования (САР) с программным ПИ-регулятором. Настройки выбраны по минимуму интегральной квадратической оценки для модели с наименьшим средним отклонением в опорных точках. Переходный процесс с использованием построенных моделей показан на рисунке 3.

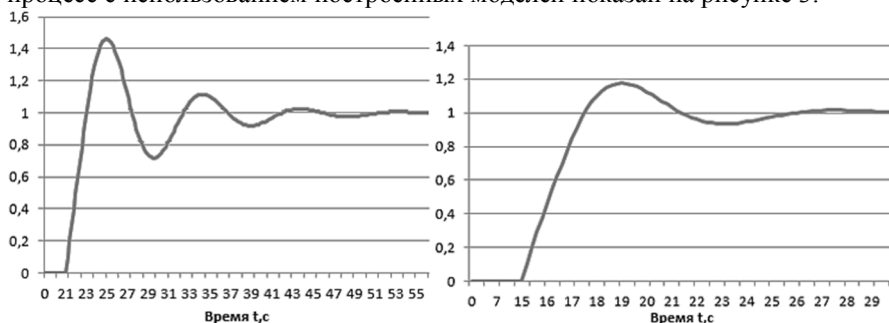


Рис. 3. Переходный процесс САР с ПИ-регулятором для полученных моделей

В таблице 1 записаны прямые оценки качества работы непрерывной САР согласно полученным характеристикам.

Таблица 1 – Показатели качества работы непрерывной САР с ПИ-регулятором

Показатель качества работы САР	Модель аperiodического звена	
	1-го порядка	2-го порядка
Перерегулирование σ , %	42,6	17,5
Степень затухания Ψ	0,79	0,91
Время регулирования, сек.	41,2	23,6

Выводы:

1. При моделировании передаточной функции в адаптивных САР возникает ошибка аппроксимации измеряемой величины (рис.2).
2. При выборе модели с большей ошибкой аппроксимации снижается корректирующие свойства и показатели качества работы адаптивной САР.
3. Уменьшение ошибки в 2 раза привело к равному снижению времени регулирования и перерегулирования, что говорит о необходимости применения модели 2-го порядка для САР расхода на сужающем устройстве.

Список литературы

1. Скороспешкин, М. В. Адаптивная система автоматического регулирования / М. В. Скороспешкин, В. Н. Скороспешкин // Интернет-журнал: Науковедение. – 2014. – № 2 (21). – 141 с.
2. Скороспешкин, М. В. Адаптивная система регулирования температуры/ М. В. Скороспешкин, В. Н. Скороспешкин, В. С. Аврамчук // Проблемы информатики. – 2011. – № 4 (12). – С. 66-73.
3. Голубева, Н.В. Математическое моделирование систем и процессов: учеб. пособие. – СПб.: Лань, 2016. – 192 с.
4. Петров, А.В. Моделирование процессов и систем: учеб. пособие. – СПб.: Лань, 2015. – 288 с.

Материал поступил в редколлегию 11.10.19.