

УДК 621.378.023.677

**ПОДСТРОЙКА ПАРАМЕТРОВ РЕГУЛЯТОРА
В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРОЙ
ВЫТЯЖНЫХ ДИСКОВ
ДЛЯ СИНТЕТИЧЕСКИХ НИТЕЙ***

Д. А. ШУРЫГИН

(Московская государственная текстильная академия им. А. Н. Косыгина,
Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна)

Необходимая вытяжка синтетических нитей достигается при оптимальной, согласно технологии, температуре нити за счет регулируемого нагрева вытяжных дисков электронагревателями мощностью 4...11 кВт. Вытяжные диски должны обеспечивать стабильность температуры на-

* Работа выполнена под руководством проф., докт. техн. наук. Д. П. Петелина.

грева $100 \pm 1^\circ\text{C}$ при динамической погрешности $\pm 5^\circ\text{C}$. Небольшие колебания температуры по длине поверхности диска вызывают нестабильность процесса, ухудшают физико-механические свойства нитей (различная окраска, неравномерная усадка).

В процессе эксплуатации параметры электрообогреваемых вытяжных дисков как объекта управления (ОУ) изменяются в зависимости от условий окружающей среды, тепловой нагрузки и мощности электронагревателей, то есть относятся к типу ОУ с параметрической неопределенностью.

Система автоматического управления температурой таких ОУ при высоком качестве регулирования должна осуществлять подстройку параметров регулятора (Р). Системы такого типа относятся к классу беспойсковых адаптивных систем, содержащих основной контур управления ОУ с Р и контур адаптации параметров Р в зависимости от изменения параметров ОУ и сигнала ошибки [1].

Вычислим корректирующие параметры Р с пропорционально-интегральным (ПИ) законом регулирования путем аналитических расчетов, использующих кривую разогрева ОУ в тестовом режиме разогрева с максимальной мощностью W_{\max} и базовый режим, соответствующий заданной температуре ОУ.

Процессы в электрообогреваемом вытяжном диске как ОУ характеризуются дифференциальным уравнением первого порядка с запаздыванием:

$$T_0(d\Theta(t)/dt) + \Theta(t) = k_0 W(t - \tau), \quad (1)$$

где T_0 — инерционная постоянная времени ОУ, с;

k_0 — коэффициент усиления ОУ, $^\circ\text{C}/\text{Вт}$;

W — мощность, подаваемая в нагреватель, Вт;

$\Theta(t)$ — изменение температуры ОУ, $^\circ\text{C}$;

τ — время запаздывания, с;

t — время, с.

Поскольку инерционная постоянная времени T_0 не зависит от запаздывания τ и определяется только динамическими свойствами ОУ, без учета запаздывания τ при максимальной мощности разогрева W_{\max} из (1) имеем

$$d\Theta/dt = (k_0 W_{\max} - \Theta)/T_0. \quad (2)$$

На начальном участке разогрева ОУ считаем, что $k_0 W_{\max} \gg \Theta$ и уравнение (2) записываем в виде

$$d\Theta/dt \cong k_0 W_{\max}/T_0. \quad (3)$$

По кривой разогрева ОУ определяем его максимальную скорость нагрева $d\Theta/dt|_{\max}$ и согласно (3) вычисляем инерционную постоянную времени:

$$T_0 = k_0 W_{\max}/d\Theta/dt|_{\max}. \quad (4)$$

Рассмотрим $k_0 W_{\max}$ как параметр ОУ, характеризующий неопределенность не только k_0 , но и фактической W_{\max} , которая может отличаться от технических данных электронагревателя.

Управление мощностью, подаваемой в ОУ, осуществляется микропроцессорным регулятором в режиме широтно-импульсной модуляции

(ШИМ). Текущее значение мощности, подаваемой в электронагреватель при ШИМ,

$$W = k_{\text{ш}} W_{\text{max}}, \quad (5)$$

где $0 \leq k_{\text{ш}} \leq 1$ — коэффициент усиления ШИМ.

Регулирование мощности электронагревателя с ПИ-законом регулирования имеет вид

$$W = W_6 + k_1 (\Delta\theta + T_{\text{и}}^{-1} \int \Delta\theta dt) = \\ = W_6 + k_1 \Delta\theta + k_2 \int \Delta\theta dt, \quad (6)$$

где W_6 — базовая составляющая мощности в нагревателе, Вт;
 k_1 и k_2 — коэффициенты соответственно пропорциональной и интегральной составляющих, Вт/°С;
 $\Delta\theta$ — сигнал рассогласования, °С;
 $T_{\text{и}}$ — время изодрома, с.

Параметры, связывающие переменные регулятора,

$$W_6 = k_6 \theta_3, \quad (7)$$

где k_6 — коэффициент базовой составляющей мощности, Вт/°С;

θ_3 — заданное значение температуры ОУ, °С.

Коэффициент пропорциональной составляющей регулятора

$$k_1 = \Delta W / \Delta\theta, \quad (8)$$

где ΔW — изменение мощности в нагревателе, соответствующее сигналу рассогласования $\Delta\theta = \theta_3 - \theta$.

Переходя к коэффициенту $k_{\text{ш}}$ с учетом (5), получаем

$$k_1 = \Delta k_{\text{ш}} W_{\text{max}}' / \Delta Q \quad \text{или} \quad \Delta k_{\text{ш}} = k_1 \Delta\theta / W_{\text{max}}. \quad (9)$$

Таким образом, в пропорциональной составляющей определено необходимое изменение $\Delta k_{\text{ш}}$, соответствующее $\Delta\theta$ при известном k_1 .

Значение k_1 рассчитывается по формуле настройки ПИ-регулятора для статических ОУ при аperiodическом процессе [2]:

$$k_1 = 0,6 T_0 / k_0 \tau. \quad (10)$$

С учетом (9) и (10)

$$\Delta k_{\text{ш}} = 0,6 T_0 \Delta\theta / k_0 W_{\text{max}} \tau. \quad (11)$$

Как видно, для вычисления $\Delta k_{\text{ш}}$ при соответствующем рассогласовании $\Delta\theta$ необходимо знать параметры ОУ T_0 , τ и $k_0 W_{\text{max}}$, для чего необходимо создать тестовый режим разогрева объекта.

Полагая, что на основе практических систем имеем ориентировочные данные k_0' и W'_{max} , для некоторой установившейся заданной температуры θ_3 разогрева объекта из (1) определяем базовую составляющую мощности при условии $k_0' = k_0$:

$$W_6 = \theta_3 / k_0'. \quad (12)$$

Базовая составляющая мощности нагревателя при ШИМ согласно (5) имеет вид

$$W_6 = k_6 W'_{\text{max}}. \quad (13)$$

Из (12) и (13)

$$k^6_{ш} = \Theta_3 / k'_0 W'_{\max}. \quad (14)$$

При тестовом режиме разогрева ОУ подается максимальная мощность на нагреватель при $k_{ш}=1$, когда температура ОУ становится ниже заданной на величину $\Delta\Theta_n \cong 0,1 \Theta_3$, нагреватель переключают с $k_{ш}=1$ на $k^6_{ш}$ и ОУ выходит на установившуюся температуру $\Theta_{уст}$. Далее согласно (14) фактический параметр ОУ, соответствующий $k^6_{ш}$,

$$k_0 W_{\max} = \Theta_{уст} / k^6_{ш}. \quad (15)$$

Подставляя это значение в (4), вычисляем инерционную постоянную T_0 времени ОУ.

Запаздывание τ ОУ оцениваем по времени изменения температуры на начальном участке кривой нагрева $\Theta_{нач} = 0,1 \Theta_{уст}$.

Полученные значения параметров объекта $k_0 W_{\max}$, T_0 и τ позволяют по формулам (11) и (14) уточнить значение $k_{ш}$ для базовой и пропорциональной составляющих ($k^6_{ш}$, $\Delta k^u_{ш}$), а также по аналогии с $\Delta k^u_{ш}$ найти изменение $\Delta k^u_{ш}$ интегральной составляющей:

$$\Delta k^u_{ш} = k_2 \Delta\Theta / W_{\max}, \quad (16)$$

где k_2 для апериодических процессов [2]:

$$k_2 = k_1 / T_n = k_1 / (0,8 \tau + 0,5 T_0). \quad (17)$$

Согласно (11), (16) и (17)

$$\Delta k^u_{ш} = 0,6 T_0 \Delta\Theta / k_0 W_{\max} \tau (0,8 \tau + 0,5 T_0). \quad (18)$$

Методом численного моделирования влияние на качество регулирования системы подстройки параметров Р в соответствии с приведенной методикой аналитических расчетов оценивали показателями: t_B — времени первого выхода на заданную температуру от начала нагрева, с; $\Delta\Theta_{\max}$ — максимального перерегулирования, °С; t_y — времени выхода на установившийся режим (в зону 1°С относительно Θ_3), с и $\Delta\Theta_{\min}$ — наибольшего отрицательного рассогласования после t_B , °С. Разогрев объекта начинался с $\Theta = 0$ °С.

Таблица 1

№ варианта	T_0 , с	k_0 , °С/Вт	k'_0 , °С/Вт	k_1 , Вт/°С	k_2 , Вт/с·°С	t_B , с	$\Delta\Theta_{\max}$, °С	t_y , с	$\Delta\Theta_{\min}$, °С
1	300	0,05	0,05	60	0,3	240	5	690	-2
2	300	0,05	0,05	70	0,47	220	6	650	-3,4
3	300	0,05	0,05	100	0,6	210	8	580	-4,9
4	240	0,05	0,05	70	0,47	185	8	500	-5
5	600	0,05	0,05	70	0,47	460	3	820	-0,7
6	300	0,04	0,05	70	0,47	690	0	690	-0
7	300	0,07	0,05	70	0,47	160	17	420	0
8	300	0,05	0,045	70	0,47	220	8	840	-3,3
9	300	0,05	0,055	70	0,47	230	5	800	-3,6
10	300	0,06	0,06	32,3	0,16	240	3	540	-0,6
11	300	0,04	0,04	48,4	0,24	320	3	620	0
12	300	0,05	0,04	48,4	0,24	220	10	580	-0,5

Варьировались параметры T_0 , k_0 , k'_0 , k_1 и k_2 . Параметры $\tau=60$ с, $W_{\max}=4000$ Вт и $\Theta_3=100^\circ\text{C}$ не изменялись. Результаты моделирования приведены в табл. 1.

Для всех вариантов W_6 определялась по формуле (12), интегральная составляющая во избежание больших перерегулирований имела пределы $\Theta_3 \pm 10^\circ\text{C}$. Значения k_1 и k_2 соответствовали расчетным по формулам (10) и (17) только в варианте 1. В вариантах 10...12 k_1 определяли по формуле $k_1=0,4 T_0/k'_0\tau$, а k_2 по формуле (17). В остальных вариантах эти параметры варьировались свободно.

Таким образом, при вариации параметров ОУ и Р существенное влияние оказывают время первого выхода на заданную температуру от начала нагрева и время выхода на установившийся режим.

ВЫВОДЫ

1. Проведены аналитические расчеты подстройки параметров регулятора в системе управления температурой вытяжных дисков как объекта с параметрической неопределенностью.

2. Численное моделирование процессов управления температурой вытяжных дисков при вариации параметров объекта и регулятора свидетельствует об их соответствии допустимым статическим и динамическим отклонениям температуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Теория автоматического управления/Под ред. А. С. Шаталова. — М.: Высшая школа, 1977.
2. Полоцкий Л. М., Лапшенков Г. И. Автоматизация химических производств. — М.: Химия, 1982.

Рекомендована кафедрой автоматики и промэлектроники МГТА. Поступила 29.07.96