

## ДИНАМИЧЕСКАЯ НАСТРОЙКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПЕРЕГРЕТОГО ПАРА ПАРОВЫХ КОТЛОВ

**Кулаков Г.Т., Кулаков А.Т., Воюш Н.В.**

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

Двухконтурные системы автоматического регулирования (САР) получили широкое распространение в теплоэнергетике. Характерным примером является САР температуры перегретого пара паровых котлов. Параметры динамической настройки таких систем могут быть рассчитаны любым из известных методов [1 ÷ 5]. В основе этих методов лежит аппроксимация динамических характеристик опережающего и инерционного участков регулирования соответствующими передаточными функциями.

Вместе с тем экспериментальное определение динамических характеристик опережающего и главного участков (последовательное соединение опережающего и инерционного участков) объекта регулирования не вызывает трудностей, когда на вход опережающего участка подается скачок регулирующего воздействия расходом воды на впрыск. При этом на вход инерционного участка поступает не скачок, а переходная характеристика опережающего участка, поэтому невозможно сразу получить переходную характеристику инерционного участка. В этом случае передаточную функцию инерционного участка  $W_{ин}(p)$  определяют графическим путем из условия:

$$W_{ин}(p) = \frac{W_{гл}(p)}{W_{оп}(p)},$$

где  $W_{гл}(p)$  – передаточная функция главного участка;

$W_{оп}(p)$  – передаточная функция опережающих участков [1,6].

Такой способ определения динамических характеристик инерционного участка трудоемок.

Исходными данными для расчета динамических характеристик САР температуры перегретого пара паровых котлов по методу Сибтехэнерго [6, с. 119-120] являются параметры опережающего ( $k_{оп}$ ,  $T_{оп}$ ,  $\tau_{оп}$ ) и главного ( $k_{гл}$ ,  $T_{гл}$ ,  $\tau_{гл}$ ) участков объекта регулирования. При этом параметры динамической настройки дифференциатора ( $k_d$ ,  $T_d$ ) находят по номограмме рис. 3.9 [6] в зависимости от значений  $T_{оп}/T_{гл}$  и  $\tau_{гл}/T_{гл}$ . Параметры настройки регулятора определяют с учетом найденного значения коэффициента передачи дифференциатора  $k_d$  по номограмме рис. 1.22 [6] в зависимости от отношения  $\tau_{оп}/T_{оп}$ . Использование номограмм снижает точность определения динамической настройки САР.

Для устранения этих недостатков предлагается экспериментальные переходные характеристики опережающего участка аппроксимировать передаточной функцией инерционного звена второго порядка с различными постоянными времени ( $k_{оп}$ ,  $T_{оп}$ ,  $\sigma_{оп}$ ), а главного участка в виде инерционного звена второго порядка с условием запаздывания ( $k_{гл}$ ,  $T_{гл}$ ,  $\sigma_{гл}$ ,  $\tau_y$ ) [3].

Структурная схема САР с вводом производной по промежуточной регулируемой величине приведена на рис. 1.

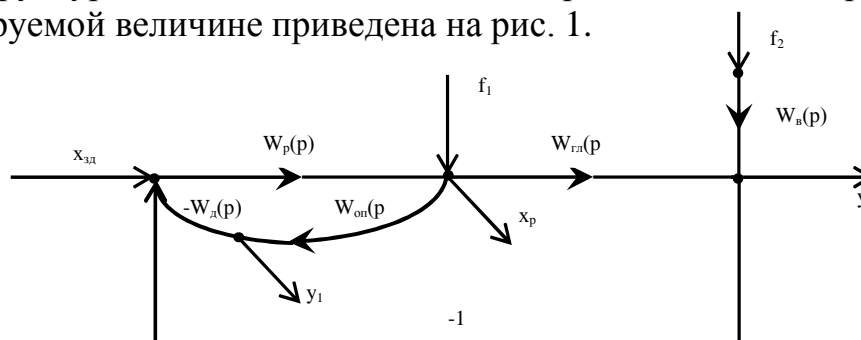


Рис. 1

Здесь передаточные функции:  $W_p(p)$  и  $W_d(p)$  – регулятора и дифференциатора;  $W_{оп}(p)$  и  $W_{гл}(p)$  – опережающего и главного участков;  $W_v(p)$  – крайнего внешнего возмущения  $f_2$ ;  $y$  и  $y_1$  – основная и промежуточная регулирующая величины;  $x_{зд}$  – задающее воздействие;  $f_1$  – внутреннее возмущение.

Расчет динамической настройки САР (рис. 1) по методу Сибтехэнерго на основе параметров передаточных функций опережающего участка ( $k_{оп}=10^{\circ}\text{C}/\text{T}/\text{ч}$ ;  $T_{оп}=42\text{с}$ ;  $\tau_{оп}=4,5\text{с}$ ) и главного участка ( $k_{гл}=10^{\circ}\text{C}/\text{T}/\text{ч}$ ;  $T_{гл}=284\text{с}$ ;  $\tau_{гл}=79\text{с}$ ) приведен в [6]. При этом параметры настройки дифференциатора составляли  $k_d=0,39\text{с}$ ;  $T_d=156\text{с}$ , а регулятора –  $k_p=1^{\text{T}/\text{ч}}/\text{оC}$ ;  $T_n=24,4\text{с}$  [6].

Расчет настройки стабилизирующего устройства (вместо дифференциатора) по предлагаемой методике на основе параметров передаточной функции главного участка ( $k_{гл}=10^{\circ}\text{C}/\text{T}/\text{ч}$ ;  $T_{гл}=158,5\text{с}$ ;  $\sigma_{гл}=29,5\text{с}$ ;  $\tau_y=49,5\text{с}$ ) проводим по методу полной компенсации в частном виде [7]:

$$W_{cy}(p) = \frac{k_d T_d p (T_6 p + 1)}{(T_d p + 1)(\tau_y p + 1)} = \frac{0,406 \times 158,5 p (18,9 p + 1)}{(158,5 p + 1)(49,5 p + 1)}$$

где  $T_6=0,382\tau_y=18,9\text{с}$ ;  $k_d = \frac{2k_{ин}T_{гл}}{T_{гл}} = 0,406$ .

Расчет настройки регулятора производим по методу частичной компенсации на основе параметров передаточной функции опережающего участка ( $k_{оп}=10^{\circ}\text{C}/\text{T}/\text{ч}$ ;  $T_{оп}=42\text{с}$ ;  $\tau_{оп}=4,5\text{с}$ ) с учетом коэффициента передачи стабилизирующего участка  $k_{cy} = k_d \frac{T_6}{\sigma_{гл}} = 0,406 \frac{18,9}{29,5} = 0,26$  [3].

Графики переходных процессов САР с дифференциатором и САР со стабилизирующим устройством при основных воздействиях приведены на рис. 2.

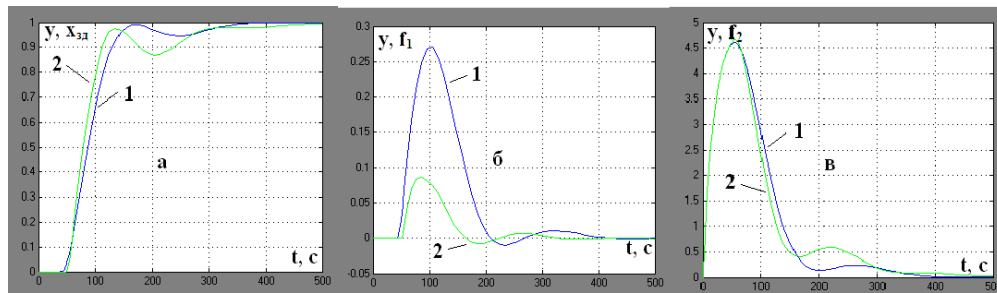


Рис. 2. Переходные процессы сравниваемых САР: а – обработка скачка задания; б – обработка внутреннего возмущения; в – обработка внешнего возмущения; 1 – САР, настроенная по методу Сибтехэнерго; 2 – САР, настроенная по методу БНТУ.

Из анализа графиков переходных процессов следует, что при обработке задания САР со стабилизирующим участком не имеет перерегулирования. При обработке внутреннего возмущения максимальная динамическая ошибка регулирования предлагаемой САР уменьшается почти в 2 раза. При обработке внешнего возмущения полное время регулирования сокращается на 12,5%.

#### **Выводы:**

1. Предложенный метод динамической настройки САР с промежуточной регулируемой величиной отличается повышенной точностью идентификации объекта и простотой проведения расчетов.

2. САР со стабилизирующим устройством может быть использована при модернизации регуляторов впрысков паровых котлов.

1. Стефани, Е.П. Основы расчета настройки регуляторов теплоэнергетических процессов / Е.П. Стефани. – М.: Энергия, 1972. – 376с.
2. Ротач, В.Я. Расчет настройки промышленных систем регулирования / В.Я. Ротач. – М.; Л.: Госэнергоиздат, 1961. – 344с.
3. Кулаков, Г.Т. Анализ и синтез систем автоматического регулирования: учеб. пособие / Г.Т. Кулаков. – Минск: УП “Технопринт”, 2003. – 135с.
4. Кузьмицкий, И.Ф. Теория автоматического управления: учебник для студентов специальности “Автоматизация технологических процессов и производств АЭС”, “Информационные технологии и управление в технологических системах” / И.Ф. Кузьмицкий, Г.Т. Кулаков. – Минск: БГТУ, 2010. – 574 с.
5. Кулаков, Г.Т. Теория автоматического управления теплоэнергетическими процессами: учеб. пособие / Г.Т. Кулаков [и др.]; под ред. Г.Т. Кулакова. – Минск: Вышэйшая школа, 2017. – 238с.
6. Ключев, А.С. Наладка систем автоматического регулирования барабанных котлов / А.С. Ключев, А.Т. Лебедев, С.И. Новиков. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 280с.
7. Кулаков, Г.Т. Инженерные экспресс-методы расчета промышленных систем регулирования: спр. пособие / Г.Т. Кулаков. – Минск: Вышэйшая школа, 1984. – 192с.