

## ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

УДК 622.532:004.4

А.Е.Медведев, К.П. Волыков

### ИССЛЕДОВАНИЯ САР ТЕМПЕРАТУРЫ ГОРЯЧЕЙ ВОДЫ НА ВЫХОДЕ ВОДОГРЕЙНОГО КОТЛА

Важнейшей подсистемой в САУ режимом работы водогрейного угольного котла является каскадная САР температуры горячей воды на его выходе [1].

Для исследования принята каскадная САР с односторонней автономностью, обладающая такими достоинствами как динамическая развязка основного и вспомогательного контуров регулирования, благодаря которой возможна независимая настройка регуляторов, а также более высокая надежность работы, так как при отказе вспомогательного контура система продолжает работать как одноконтурная.

Структура каскадной САР с односторонней автономностью, используемая для исследования на компьютере с помощью программы IPC\_CAD процесса регулирования температуры горячей воды на выходе водогрейного котла, представлена на рис. 1.

Система включает в себя объект регулирования, представленный опережающим и инерционным участками, регуляторы температуры горячей воды  $R_1$  и температуры в топке  $R_2$ , а так же динамический компенсатор «Комп».

Пер еменные системы:

$Y_1, Y_2$  – температура, соответственно, горячей воды и в топке котла;

$U$  – управляющее воздействие на входе котла;

$SP, U_1$  – заданные значения, соответственно, температуры горячей воды и температуры в топке котла;

$\varepsilon_1, \varepsilon_2$  – рассогласование на входе соответствующих регуляторов;

$F_1$  – эквивалентное возмущающее воздействие на входе опережающего участка, включающее в себя показатели качества угля (зольность, влаж-

ность, крупность), подаваемого в топку;

$F_2$  – эквивалентное возмущающее воздействие на котел, определяемое температурой и расходом обратной воды.

Для решения задачи устойчивости и качества процесса регулирования принята математическая модель объекта, представленная передаточными функциями его участков:

- опережающий участок (топка котла):

$$W_{on}(p) = \frac{k_{on}}{T_{on}p + 1} \cdot e^{-\tau_{on}p} \quad (1)$$

- инерционный участок (водонагревательная поверхность котла – трубопровод горячей воды):

$$W_{ин}(p) = \frac{k_{ин}}{T_{ин}p + 1} \cdot e^{-\tau_{ин}p} \quad (2)$$

При моделировании переходных процессов в САР температуры приняты следующие значения параметров объекта:

$$k_{on} = 0.7 \text{ } ^\circ\text{C}/\% ; k_{ин} = 0.25 ;$$

$$T_{on} = 1, 1 \text{ мин}; T_{ин} = 3 \text{ мин};$$

$$\tau_{on} = 0, 05 \text{ мин}; \tau_{ин} = 1 \text{ мин}.$$

Для определения параметров настройки регулятора температуры горячей воды  $R_1$  принимаем ПИД-регулятор с передаточной функцией:

$$W_p(p) = k_p \left( 1 + \frac{1}{T_u p} + T_d p \right).$$

Рассматриваем САР температуры как одноконтурную и исследуем ее реакцию на скачкообразные изменения на 1% возмущений  $F_1, F_2$  задания  $SP$  и на 20% от расчетных значений параметров объекта (проверка системы на грубость). Результаты расчетов программой значений показателей качества процессов регулирования – динамической ошибки  $Y_\delta$ , степени затухания  $\Psi$  и

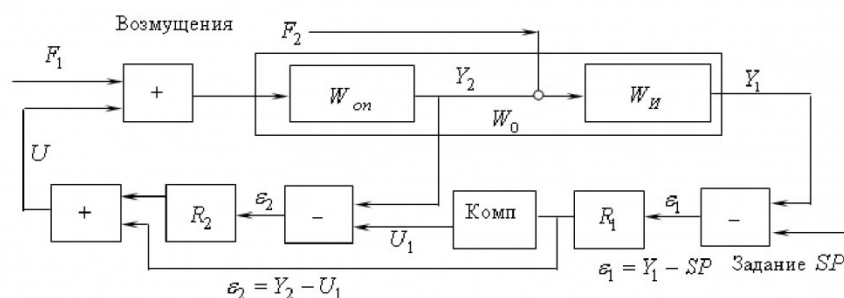


Рис. 1. Схема каскадной САР с односторонней автономностью

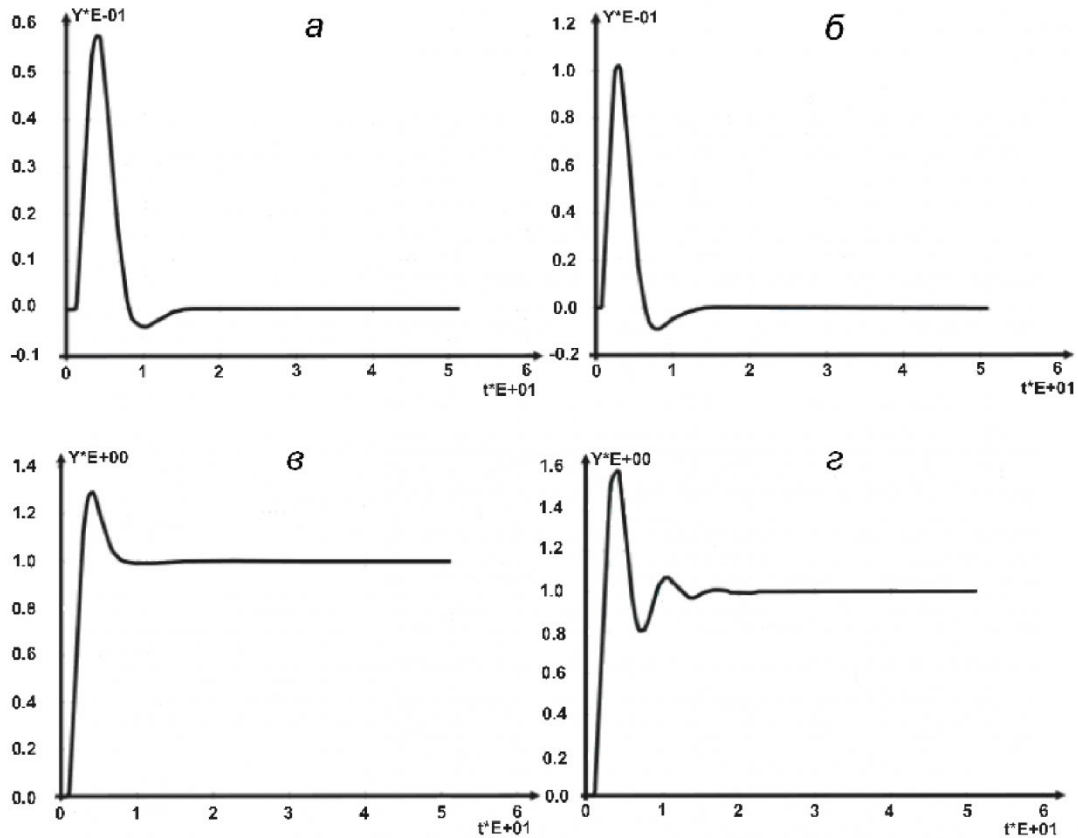


Рис. 2. Графики изменения температуры горячей воды в одноконтурной САР с ПИД-регулятором для типового апериодического процесса при скачке возмущения  $F_1$  (а), возмущения  $F_2$  (б), задания  $SP$  (в) и параметров объекта (г)

времени регулирования  $t_p$ , для типовых переходных процессов представлены в табл. 1.

Наиболее высокие значения показателей качества в одноконтурной САР, как следует из анализа данных табл. 1, обеспечивает ПИД-регулятор при

Графики изменения регулируемой величины для этого варианта системы регулирования показаны на рис. 2.

Для определения параметров настройки регулятора  $R_2$  в каскадной САР выбираем:

- компенсатор первого порядка с передаточ-

Таблица 2. Показатели качества процессов регулирования для каскадной САР

Типовой процесс	Параметры настройки ПИ регулятора ( $R_2$ )		Параметры настройки компенсатора			Режим моделирования	Показатели качества регулирования		
	$K_p$	$T_{и}, \text{мин}$	$K_k$	$T_{и}, \text{мин}$	$\tau_k, \text{мин}$		$u_{\partial}, \%$	$\Psi$	$t_p, \text{мин}$
Апериодический	12,57	0,3	0,7	1,1	0,05	Скачок $F_1$	0,0016	0,97	0
						Скачок $F_2$	0,1	0,99	6,32
						Скачок по заданию	0,28	0,98	7,15
						Проверка на грубость	0,4	0,99	9,35
С умеренным затуханием	21,5	0,25	0,7	1,1	0,05	Скачок $F_1$	0,0008	0,97	0
						Скачок $F_2$	0,01	0,99	6,32
						Скачок по заданию	0,28	0,98	7,15
						Проверка на грубость	0,41	0,99	9,35
Колебательный	25,14	0,16	0,7	1,1	0,05	Скачок $F_1$	0,0005	0,97	0
						Скачок $F_2$	0,1	0,99	6,32
						Скачок по заданию	0,28	0,98	7,15
						Проверка на грубость	0,42	0,99	9,35

задании типового апериодического процесса.

ной функцией:

Таблица 1. Показатели качества процессов регулирования для одноконтурной САР

Типовой процесс	Параметры настройки ПИД-регулятора (R <sub>1</sub> )			Режим моделирования	Показатели качества регулирования		
	K <sub>p</sub>	T <sub>И</sub> , мин	T <sub>Д</sub> , мин		y <sub>Δ</sub> , %шк.у	Ψ	t <sub>p</sub> , мин
Апериодический	13,99	2,78	0,696	Скачок F1	0,06	0,997	7,42
				Скачок F2	0,1	0,996	6,32
				Скачок по заданию	0,3	0,998	6,87
				Проверка на грубость	0,6	0,878	11,82
С умеренным затуханием	16,43	2,54	0,636	Скачок F1	0,055	0,985	8,52
				Скачок F2	0,1	0,974	8,8
				Скачок по заданию	0,47	0,978	9
				Проверка на грубость	0,82	0,68	20,6
Колебательный	23,05	2,67	0,67	Скачок F1	0,05	0,858	7,15
				Скачок F2	0,1	0,8	11,55
				Скачок по заданию	0,76	0,72	14,3
				Проверка на грубость	САР неустойчива		

$$W_k(p) = \frac{k_k}{T_k p + 1} \cdot e^{-\tau_k p},$$

одинаковой с передаточной функцией  $W_{on}(p)$  опережающего участка объекта регулирования;  
- ПИ-регулятор температуры в топке с переда-

точной функцией:

$$W_p(p) = k_p \left(1 + \frac{1}{T_u p}\right).$$

Результаты расчета программой показателей качества процесса регулирования в каскадной САР представлены в табл. 2.

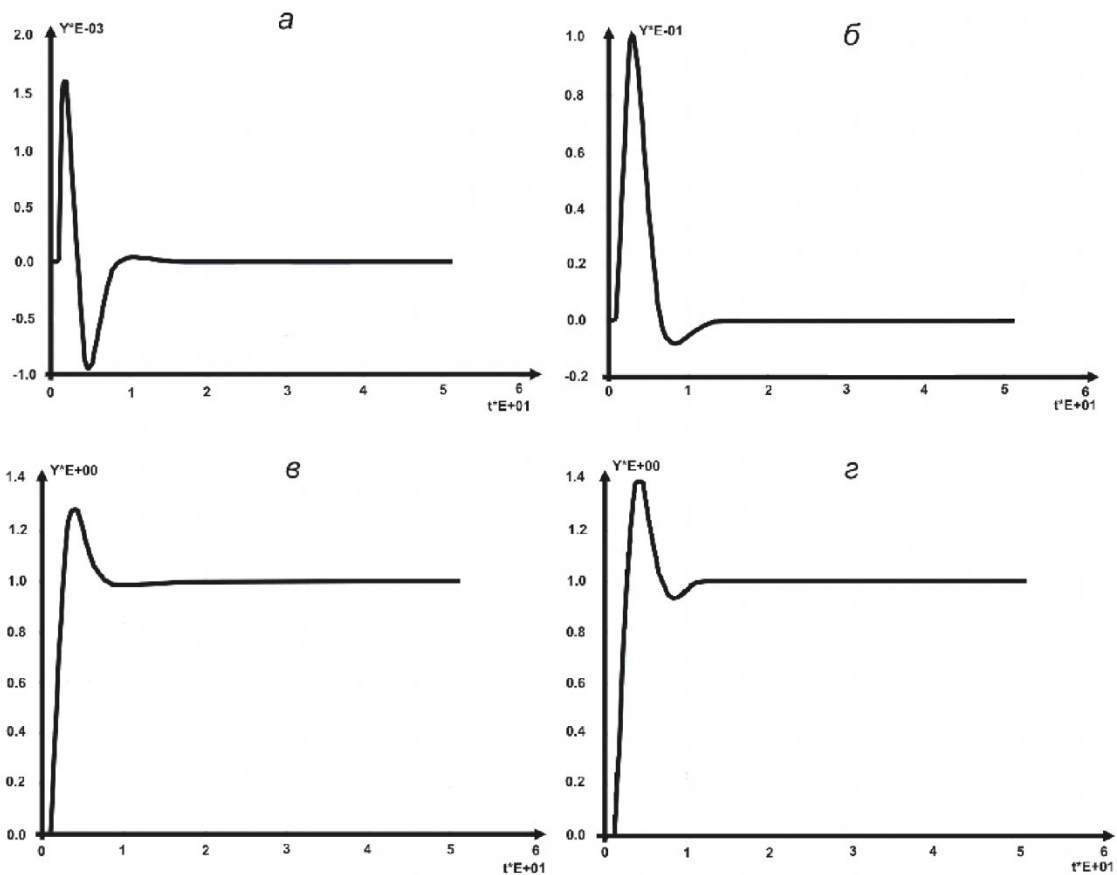


Рис. 3. Графики изменения температуры горячей воды в каскадной САР с ПИД- и ПИ-регуляторами для типового апериодического процесса при скачке возмущения F<sub>1</sub> (а), возмущения F<sub>2</sub> (б), задания SP (в) и параметров объекта (г)

Анализ данных табл. 2 показывает, что значения показателей качества процессов регулирования в каскадной САР практически одинаковы для всех типовых процессов. В качестве примера на рис. 3 показаны графики изменения температуры горячей воды, полученные в каскадной САР при задании типового апериодического процесса и скачкообразном изменении входных воздействий на объект.

Полагаем, что САР температуры горячей воды должна обеспечивать следующие допустимые значения показателей качества процесса регулирования:

- статическая ошибка  $y_{cm}^{don} \leq 2^\circ C$  ;
- динамическая ошибка  $y_d^{don} \leq 10^\circ C$  ;
- степень затухания  $\psi^{don} \geq 0,75$  ;
- время регулирования  $t_h^{don} \leq 15 \text{ мин}$  .

Сравнивая наиболее низкие значения показателей качества регулирования, полученные при проверке системы на грубость в одноконтурной и каскадной САР (см. данные табл. 1 и 2), можем с уверенностью сказать, что в последней они существенно выше:

$$y_d = 0,6/0,4\%, \quad \psi = 0,88/0,99,$$

$$t_p = 11,8/9,3 \text{ мин}, \quad y_{cm} = 0/0.$$

Для оценки динамической ошибки в  $^\circ C$  воспользуемся коэффициентом пересчета:

$$k_n = \frac{t_{max}^\circ}{100\%} \cdot k_B = \frac{150^\circ C}{100\%} \cdot 10 = 15^\circ C/\%,$$

где  $t_{max}^\circ$  – максимальная температура горячей воды;

$k_B$  – коэффициент, учитывающий одновременное воздействие на объект возмущений  $F_1, F_2$  с одинаковым знаком.

Расчетные максимальные значения динамической ошибки, определяемые из выражения  $y_d^{\circ C} = y_d^{\%} \cdot k_n$ , будут равны:

для одноконтурной САР  $9^\circ C$  ;

для каскадной САР  $6^\circ C$  .

В результате исследования переходных процессов, установлено, что каскадная САР обеспечивает с существенным запасом устойчивость и высокие, по сравнению с допустимыми, значения показателей качества процесса регулирования температуры горячей воды на выходе водогрейного котла.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Медведев А.Е., Вольков К.П.* Автоматическое регулирование режима работы водогрейного котла со слоевой угольной топкой // Вестн. Кузбасского гос. тех. ун-в., 2009. №3.

□ Авторы статьи:

Медведев  
Алексей Елисеевич  
– канд. техн. наук, доц. каф. электропривода и автоматизации КузГТУ, тел.: 8(384-2)58-23-29

Вольков  
Кирилл Павлович  
– студент группы ЭА-051 КузГТУ,  
тел.: 8(384-2)28-44-62