

УДК 622.532:004.4

А.Е.Медведев, К.П. Волыков

АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТЯГОДУТЬЕВЫМ ТРАКТОМ ВОДОГРЕЙНОГО УГОЛЬНОГО КОТЛА

Большинство водогрейных котлов промышленных и муниципальных котельных, работающих на угле, в настоящее время оснащены устаревшими системами управления. Топливо и электроэнергия, потребляемые котлоагрегатами, расходуются не оптимально, что связано с суточными (технологическими) колебаниями потребления теплоносителя (горячей воды). Около 60% электроэнергии собственных нужд котельных потребляют тягодутьевые машины – вентиляторы и дымососы. Практически на всех котлах применяется нерегулируемый асинхронный электропривод, регулирование расхода воздуха и разряжения в топке осуществляется изменением положения заслонок направляющих аппаратов с центрально-го пульта, а контроль технологических параметров работы котла – с помощью регистрирующих вторичных приборов. При таком способе регулирования потоков воздуха и отходящих газов (дьма) потери на дросселирование достигают 70%. Кроме этого, при эксплуатации котлов в связи с изменением параметров воздуховодов и дымоходов, топок котлов и свойств топлива устанавливаемые по наладочным технологическим картам режимы отличаются от оптимальных, что вызывает перерасход топлива.

На существующих угольных котлоагрегатах, как правило, отсутствует оперативный контроль содержания кислорода в отходящих газах, процесс сжигания топлива ведется с избытком воздуха. При этом содержание O_2 в отходящих газах находится в пределах 8-10%, хотя в большинстве случаев достаточно 2-3%. Работа котлов с избытком воздуха также является источником энергопотерь на котельных установках.

Для повышения эффективности функционирования угольных котельных авторами предлагается применение для управления ими современных АСУ ТП [1]. Важнейшими элементами таких систем являются подсистемы оптимального управления тягодутьевыми трактами водогрейных котлов, позволяющие существенно (на 30-40%) снизить потребление электрической энергии асинхронными двигателями вентиляторов и дымососов, а так же обеспечить рациональный расход топлива при полном его сжигании (экономить от 2 до 5% угля).

Система автоматического управления тягодутьевым трактом (САУ ТДТ) котла представлена на рис. 1. Она включает в свой состав датчики расходов FT воздуха, топлива и отходящих газов, датчик разряжения в топке РТ, датчик содержания кислорода ОТ в отходящих газах, транзисторные

преобразователи частоты ПЧ для управления скоростью электродвигателей М вентилятора и дымососа, программируемый логический контроллер котла ПЛК, реализующий алгоритм локального управления трактом, и персональный компьютер ПК (АРМ оператора), выполняющий функции интерфейса «человек – машина».

САУ ТДТ котла реализует следующие основные функции.

- Автоматический контроль технологических параметров ТДТ: расходов воздуха, топлива и отходящих газов, разряжения в топке котла, содержания кислорода в отходящих газах;
- Автоматическая стабилизация разряжения в топке котла в соответствии с заданием от ПК путем частотного управления скоростью асинхронного электродвигателя дымососа;
- Автоматическое управление расходом воздуха, подаваемого в топку котла, частотным изменением скорости асинхронного электродвигателя дутьевого вентилятора в соответствии с задаваемым с ПК соотношением «топливо/воздух» с автоматической коррекцией задания по содержанию кислорода в отходящих газах;

- Представление оперативному персоналу информации о работе тягодутьевого тракта.

Важнейшей подсистемой в САУ ТДТ котла является САР разряжения в топке [2]. Для исследования принята каскадная САР с односторонней автономностью, обладающая такими достоинствами как динамическая связь 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 разряжения в топке, представлена на рис. 2.

Система включает в себя объект регулирования, представленный опережающим и инерционным участками, регуляторы разряжения R_1 и производительности (скорости) дымососа R_2 , а так же динамический компенсатор «Комп».

Переменные системы:

Y_1 , Y_2 – соответственно, разряжение в топке и производительность дымососа;

U – управляющее воздействие на объект;

SP , U_1 – заданные значения, соответственно, разряжения и производительности дымососа;

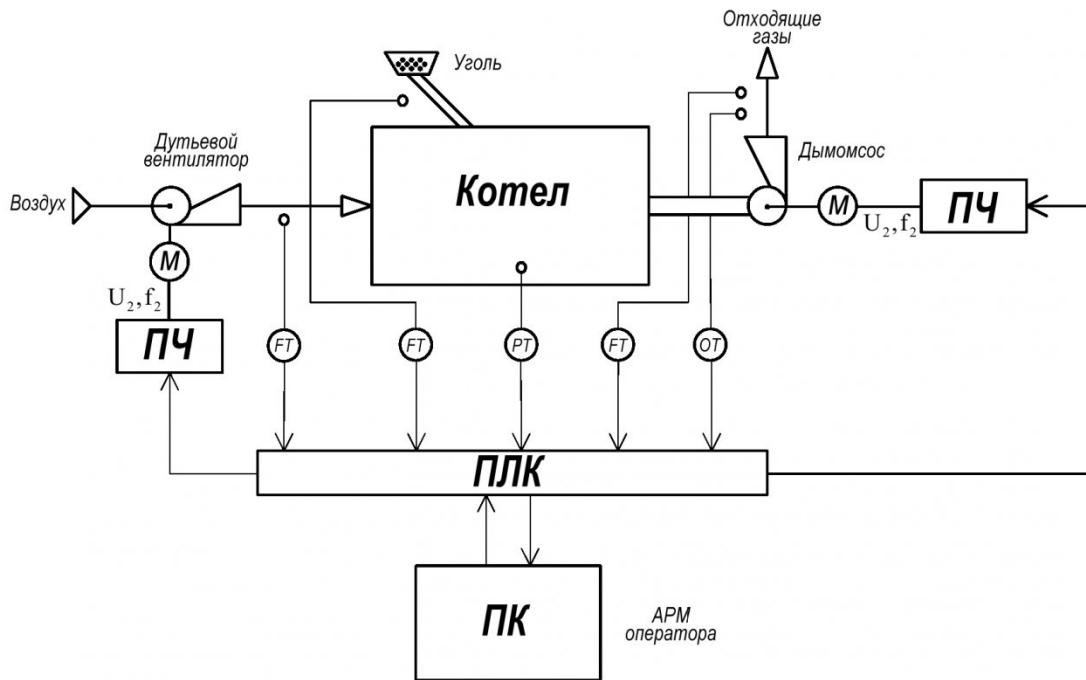


Рис. 2. Функциональная схема САУ тягодутьевым трактом котла

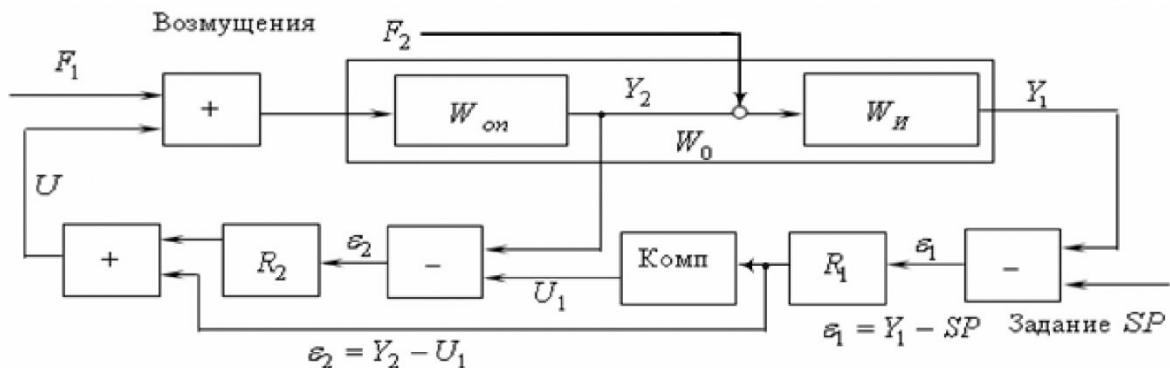


Рис. 2. Схема каскадной САР с односторонней автономностью

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

F_1 – эквивалентное возмущающее воздействие на входе опережающего участка, включающее в себя колебание напряжения сети, техническое состояние газохода;

F_2 – эквивалентное возмущающее воздействие на топку котла, определяемое расходом воздуха дутьевого вентилятора и температурой окружающей среды.

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

- Опережающий участок (дымосос с преобразователем частоты):

$$W_{on}(p) = \frac{k_{on}}{T_{on}p + 1}. \quad (1)$$

- Инерционный участок (топка котла с

газоходом):

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

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

$$k_{on} = 0,8 \text{ м}^3/\text{с} \%, k_{uh} = 0,2 \text{ мм.в.с.} / \text{м}^3/\text{с};$$

$$T_{on} = 0,1 \text{ мин}, T_{uh} = 0,5 \text{ мин}, \tau_{uh} = 0,16 \text{ мин.}$$

Для определения параметров настройки регулятора разряжения в топке R_1 принимаем ПИД-регулятор с передаточной функцией:

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

Рассматриваем САР разряжения как одноконтурную и исследуем ее реакцию на скачкообразные изменения на 1% возмущений F_1, F_1 задания SP и на 20% от расчетных значений параметров объекта (проверка системы на грубость). Резуль-

Таблица 1. Показатели качества процессов регулирования для одноконтурной САР

Типовой процесс	Параметры настройки ПИД-регулятора (R_1)			Режим моделирования	Показатели качества регулирования		
	K_p	T_u , мин.	T_d , мин		y_d , %шк.у	Ψ	t_p , мин
Апериодический	17,6	0,35	0,09	Скачок F1	0,052	0,986	1,21
				Скачок F2	0,073	0,98	1,25
				Скачок по заданию	0,47	0,986	1,29
				Проверка на грубость	0,86	0,675	3,04
С умеренным затуханием	19,86	0,33	0,08	Скачок F1	0,05	0,92	1,25
				Скачок F2	0,07	0,91	1,18
				Скачок по заданию	0,62	0,9	1,6
				Проверка на грубость	1,1	0,4	6,2
Колебательный	25,3	0,35	0,09	Скачок F1	0,047	0,81	1,37
				Скачок F2	0,068	0,78	1,67
				Скачок по заданию	0,82	0,7	2,12
				Проверка на грубость	САР неустойчива		

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_u , мин.	K_k ,	T_d , мин.		y_d , %шк.у	Ψ	t_p , мин.
Апериодический	50	0,006	0,8	0,1	Скачок F1	0,0016	0,97	0
					Скачок F2	0,1	0,99	6,32
					Скачок по заданию	0,28	0,98	7,15
					Проверка на грубость	0,4	0,99	9,35

таты расчетов программой значений показателей качества процессов регулирования – динамической ошибки y_d , степени затухания Ψ и 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 задании типового апериодического процесса.

Для определения параметров настройки регулятора R_2 в каскадной САР выбираем:

- компенсатор первого порядка с передаточной функцией:

$$W_k(p) = \frac{k_k}{T_k p + 1},$$

одинаковой с передаточной функцией $W_{on}(p)$ опережающего участка объекта регулирования;

- ПИ-регулятор производительности дымососа с передаточной функцией:

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

Как следует из анализа показателей качества процесса регулирования, приведенных в табл. 1, наилучшим переходным процессом является апериодический.

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

Полагаем, что САР разряжения в топке должна обеспечивать следующие допустимые значения показателей качества процесса регулирования:

- статическая ошибка $y_{cm}^{don} \leq 0,2$ мм.в.с.;
- динамическая ошибка $y_d^{don} \leq 0,75$ мм.в.с.;
- степень затухания $\psi^{don} \geq 0,75$;
- время регулирования $t_h^{don} \leq 2$ мин.

Сравнивая наиболее приемлемые наборы значений показателей качества процессов регулирования, полученные при проверке системы на грубость в одноконтурной и каскадной САР (см. данные табл. 1 и 2), можно сделать вывод, что в последней они существенно выше:

$$y_\delta = \frac{0,86}{0,65} \%, \quad \psi = \frac{0,675}{0,88},$$

$$t_p = \frac{3,04}{1,86} \text{мин}, \quad y_{cm} = \frac{0}{0}.$$

Для оценки динамической ошибки в мм.в.с. воспользуемся коэффициентом пересчета:

$$k_n = \frac{P_{T\max}}{100\%} \cdot k_B = \frac{12 \text{мм.в.с.}}{100\%} \cdot 5 = 0,6 \text{мм.в.с.}\%$$

где $P_{T\max}$ – максимальное разряжение в топке котла;

$k_B=5$ – коэффициент, учитывающий одновременное воздействие на объект возмущений F_1 , F_2 с одинаковым знаком.

Расчетные максимальные значения динамической ошибки, определяемые из выражения $y_\delta^{mm.b.c.} = y_\delta^{\%} \cdot k_n$, будут равны:

- для одноконтурной САР 0,51 мм.в.с. ;
- для каскадной САР 0,39 мм.в.с.

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 разряжения в топке водогрейного угольного котла.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Медведев А.Е. Принципы построения компьютерной системы автоматизации водогрейной котельной установки для работы на угле // Вестн. Кузбасского гос. тех. унив., 2008, № 3.
2. Медведев А.Е., Волыков К.П. Автоматическое регулирование режима работы водогрейного котла со слоевой угольной топкой // Вестн. Кузбасского гос. тех. унив., 2009, № 3.

□ Авторы статьи:

Медведев

Алексей Елисеевич

– канд. техн. наук, доц. каф. электропривода и автоматизации КузГТУ, тел.: 8(384-2)39-63-54

Волыков

Кирилл Павлович

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