

УДК 65-2

ОПТИМИЗАЦИЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ РАСХОДА ВОЗДУХА С КОРРЕКЦИЕЙ ПО КИСЛОРОДУ

Ракевич С.И.

Научные руководители - к.э.н., доцент Кравченко В.В., д.т.н., профессор Кулаков Г.Т.

АСР расхода общего воздуха является составной частью АСР процесса горения в котле. Ее структура зависит от АСР расхода топлива, его вида и сорта, от характера работы электростанции в графике нагрузки энергосистемы.

Обычно в топку подается несколько больше воздуха, чем его требуется для полного сгорания топлива. Отношение количества воздуха, подаваемого в топку, к количеству воздуха, теоретически необходимого для полного сжигания топлива, называется коэффициентом избытка воздуха α . Оптимальные $\alpha_{\text{опт}}$, которые обычно кроме всего прочего зависят от нагрузки котла, либо устанавливаются заводом-изготовителем котельного оборудования, либо определяются наладочной организацией в процессе режимных испытаний котла.

Исходя из назначений АСР – поддержание расхода воздуха, обеспечивающего наиболее экономичное сжигание топлива, самым простым и правильным было бы строить схему АСР на измерении расходов топлива и воздуха с последующим их поддержанием на заданном соотношении. Но это не всегда приемлемо.

Дело в том, что характеристики топлива не постоянны, а расход топлива не всегда можно измерить достаточно точно, особенно твердого. Эти причины привели к созданию нескольких вариантов АСР расхода общего воздуха, в которых используются различные косвенные показатели расхода топлива или тепловыделения в топке и различные косвенные показатели экономичности процесса горения: содержание свободного кислорода в дымовых газах или оптическую плотность дымовых газов. Такие системы регулирования получили название каскадных с корректирующим и стабилизирующим регуляторами. В них стабилизирующий регулятор поддерживает заданное соотношение топливо-воздух, а корректирующий регулятор меняет соотношение в зависимости от экономичности процесса горения.

Выбор структуры управления объектом автоматизации оказывает существенное влияние на эффективность его работы, снижение относительной стоимости системы управления, ее надежности, ремонтоспособности и т.д. Структурная схема АСР расхода общего воздуха с коррекцией по O_2 представлена на рисунке 1:

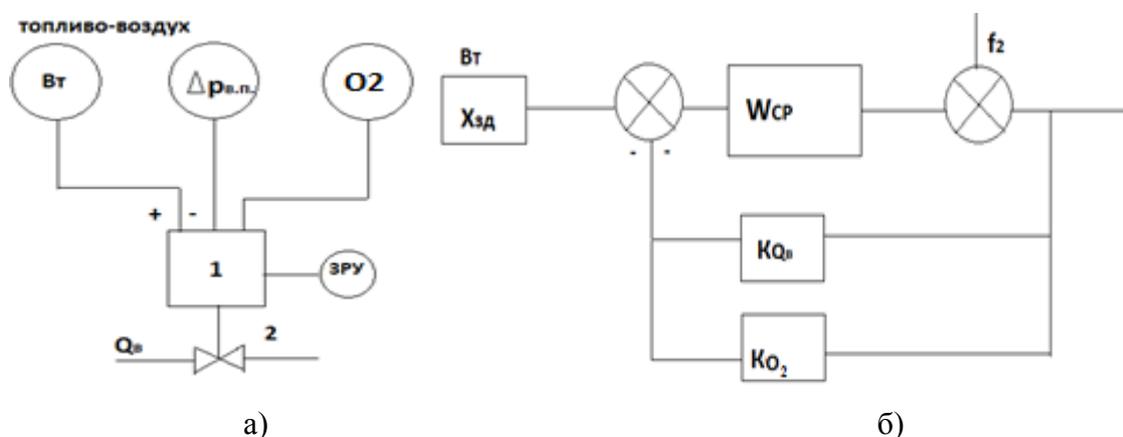


Рисунок 1. а), б) Структурные схемы АСР расхода общего воздуха с коррекцией по O_2

Регулирование экономичности по соотношению топливо-воздух. При постоянном качестве топлива его расход и количество воздуха, необходимое для обеспечения требуемой

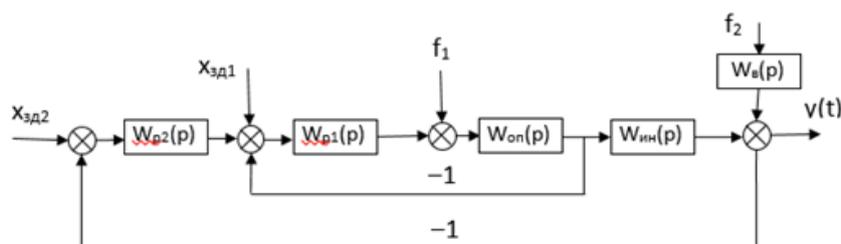
полноты сгорания, связаны прямой пропорциональной зависимостью, устанавливаемой в результате режимных испытаний. Если измерение расхода топлива выполняют достаточно точно, то поддержание оптимального избытка воздуха можно реализовать, используя схему регулирования топливо-воздух. При газообразном топливе требуемое соотношение между количествами газа и воздуха осуществляют сравнением перепада давлений на сужающих устройствах, устанавливаемых на газопроводе и на воздухоподогревателе $p_{пв}$ или же на специальном измерительном устройстве расхода воздуха. Разность этих сигналов подается на вход автоматического регулятора экономичности, управляющего подачей дутьевых вентиляторов.

Таким образом мы получаем обычную КСАР. Далее проведем настройку и оптимизацию данной системы с целью выбрать лучший метод.

1. Динамика объектов регулирования:

$K_{оп} = 1 \frac{^{\circ}C}{T/ч}$	$K_{ин} = 1$
$T_{оп} = 9 \text{ с}$	$T_{ин} = 10 \text{ с}$
$\sigma_{оп} = 1 \text{ с}$	$\sigma_{ин} = 1 \text{ с}$
	$\tau_y = 2 \text{ с}$

2. Структурная схема каскадной САР:



3. Опережающий участок объекта регулирования:

$$W_{он}(p) = \frac{K_{он}}{(T_{он}p + 1)(\sigma_{он}p + 1)}$$

4. Инерционный участок объекта регулирования:

$$W_{ин}(p) = \frac{K_{ин} e^{-\tau_y p}}{(T_{ин}p + 1)}$$

5. Крайнее внешнее возмущение:

$$W_{\epsilon}(p) = \frac{10}{30p + 1}$$

Базовая схема

Расчет стабилизирующего регулятора выполняется по МЧК по передаточной функции опережающего участка объекта регулирования, направленный на оптимальную отработку внутреннего возмущения.

Расчет корректирующего регулятора выполняется по МПК в ЧВ по передаточной функции инерционного участка объекта регулирования, направленный на оптимальную отработку крайнего внешнего возмущения.

Структурно параметрическая оптимизация КСАР

Структурно параметрическая оптимизация представляет собой изменение настроек и структуры системы регулирования с целью улучшения прямых показателей качества.

Структурно-параметрическая оптимизация Стабилизирующего регулятора

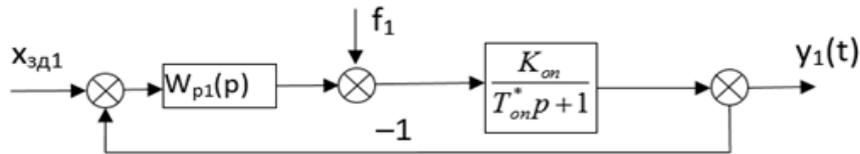


Рисунок. 2. Структура внутреннего контура КСАР

$$W_{p1}(p) = \frac{W_{zd}^0(p)}{W_{on}^0(p)} \cdot \frac{1}{1 - W_{zd}(p)}$$

где $W_{zd1}(p) = \frac{1}{T_{zd1}p + 1}$

Таким образом $W_{p1}(p) = \frac{T_{on}^*p + 1}{K_{on}(T_{zd1}p + 1)} \cdot \frac{1}{1 - \frac{1}{T_{zd1}p + 1}} = \frac{T_{on}^*p + 1}{K_{on}T_{zd1}p}$

Выбор оптимального T_{zd1} производится по правилу “Золотого сечения”, принимая за целое T_{on}^* , с учетом максимальной величины регулирующего воздействия.

Структурно-параметрическая оптимизация Корректирующего регулятора

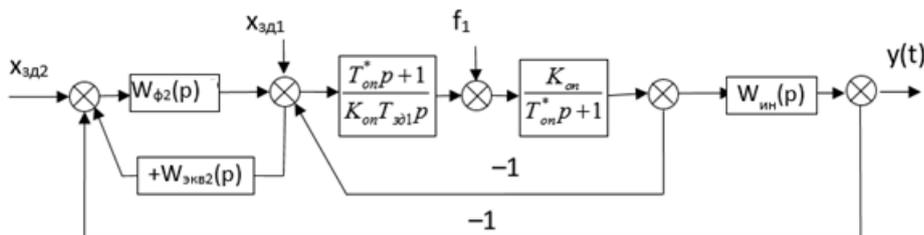


Рисунок. 3. Структура внешнего контура КСАР

Запишем функцию эквивалентного объекта учитывающую внутренний контур КСАР

$$W_{экв2}(p) = \frac{k_{ин} e^{-\tau_y p}}{(T_{ин}p + 1)(\sigma_{ин}p + 1)(T_{zd1}p + 1)}$$

По передаточной функции эквивалентного участка выбираем структуру $W_{zd2}(p)$:

$$W_{zd2}(p) = \frac{e^{-\tau_y p}}{(T_{zd2}p + 1)^3}$$

Передаточная функция фильтра в данном случае:

$$W_{\phi2}(p) = \frac{W_{zd}(p)}{W_{экв2}(p)} = \frac{W_{zd}^o(p)}{W_{экв2}^o(p)}$$

Подставляем формулы и получаем:

$$W_{\phi2}(p) = \frac{(T_{ин}p + 1)(\sigma_{ин}p + 1)(T_{zd1}p + 1)}{k_{ин}(T_{zd2}p + 1)^3}$$

Выбор оптимального $T_{зд1}$ и $T_{зд2}$ осуществляется по правилу “Золотого сечения”, принимая за целое $T_{оп}^*$ и τ_y соответственно, с учетом максимальной величины регулирующего воздействия. Выбор оптимального значения $T_{зд1}$ будем производить только по внутреннему контуру системы, т.к. он не зависит от внешнего. Выбор оптимального значения $T_{зд2}$ будем производить по внешнему контуру системы с выбранным оптимальным значением $T_{зд1}$.

Инвариантная САР при плановом изменении нагрузки с дополнительно измеряемым внешним возмущением

Структурная схема моделирования представлена на рисунке 4:

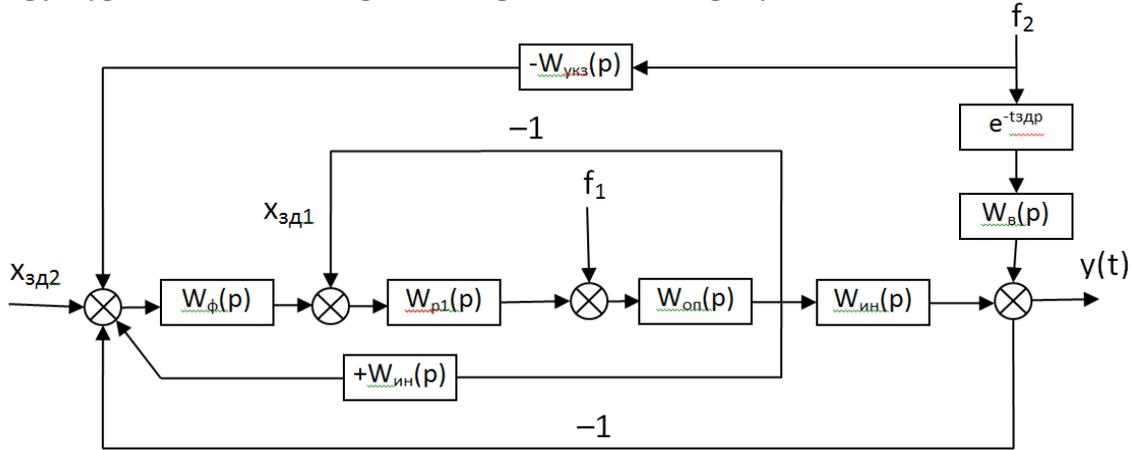


Рисунок 4. Структурная схема моделирования инвариантной САР при плановом изменении нагрузки с дополнительно измеряемым внешним возмущением

Передаточная функция устройства компенсации имеет следующий вид:

$$W_{указ}(p) = \frac{K_e}{(T_e p + 1)} \cdot \frac{(2T_{зд2} + \tau_y) p}{(\tau_y p + 1)}$$

Инвариантная САР при плановом изменении нагрузки с косвенным выделением эквивалентного внешнего возмущения

Структурная схема моделирования представлена на рисунке 5:

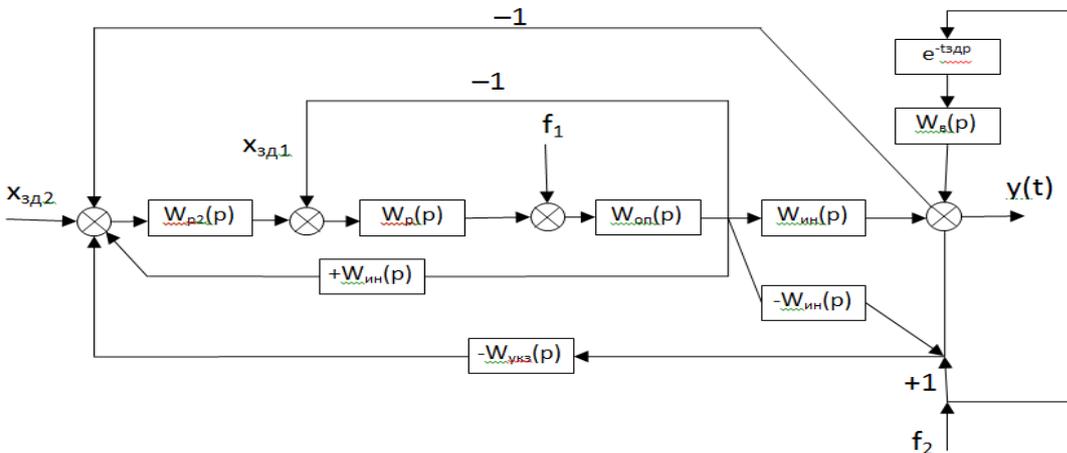


Рисунок 5. Структурная схема моделирования инвариантной САР при плановом изменении нагрузки с косвенным выделением эквивалентного внешнего возмущения

Передаточная функция устройства компенсации имеет следующий вид:

$$W_{укз}(p) = \frac{(T_{з02} + \tau_y)p}{(T_{\sigma}p + 1)}$$

Анализ методов оптимизации

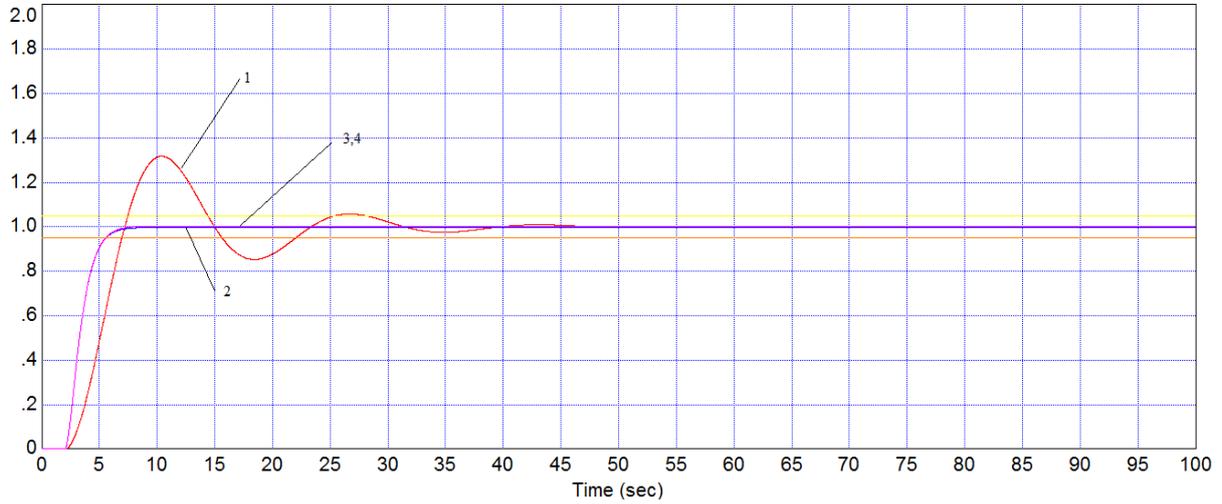


Рисунок 6. График переходного процесса при отработке скачка задания

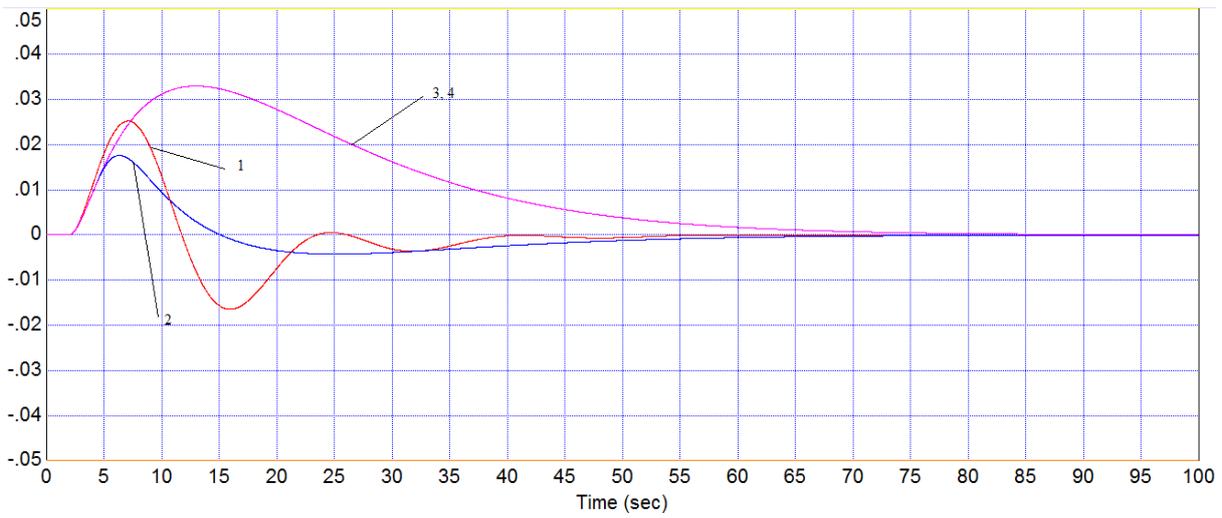


Рисунок 7. График переходного процесса при отработке внутреннего возмущения

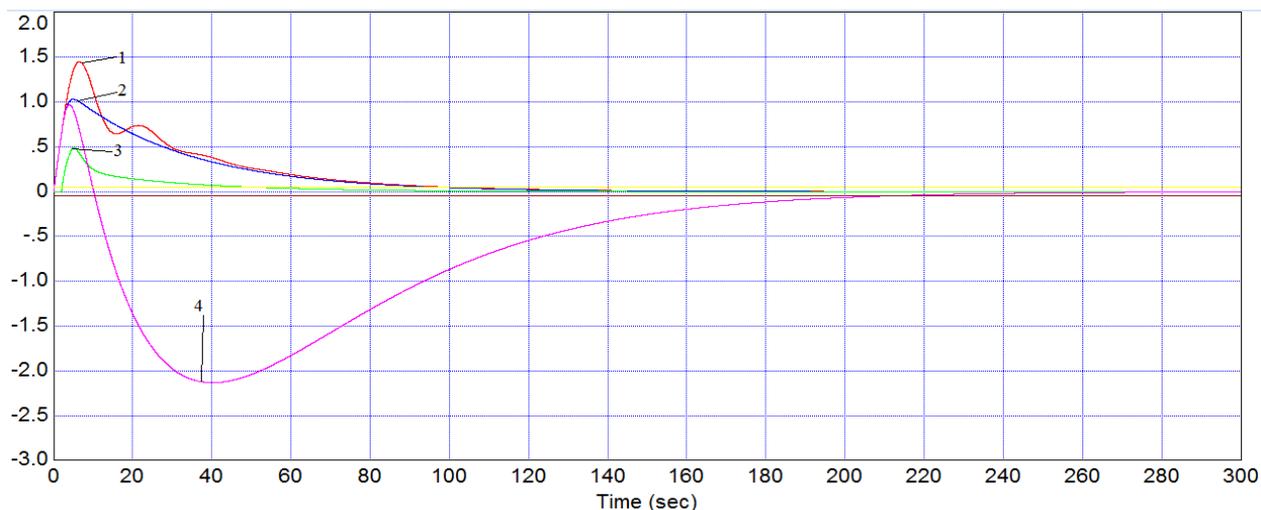
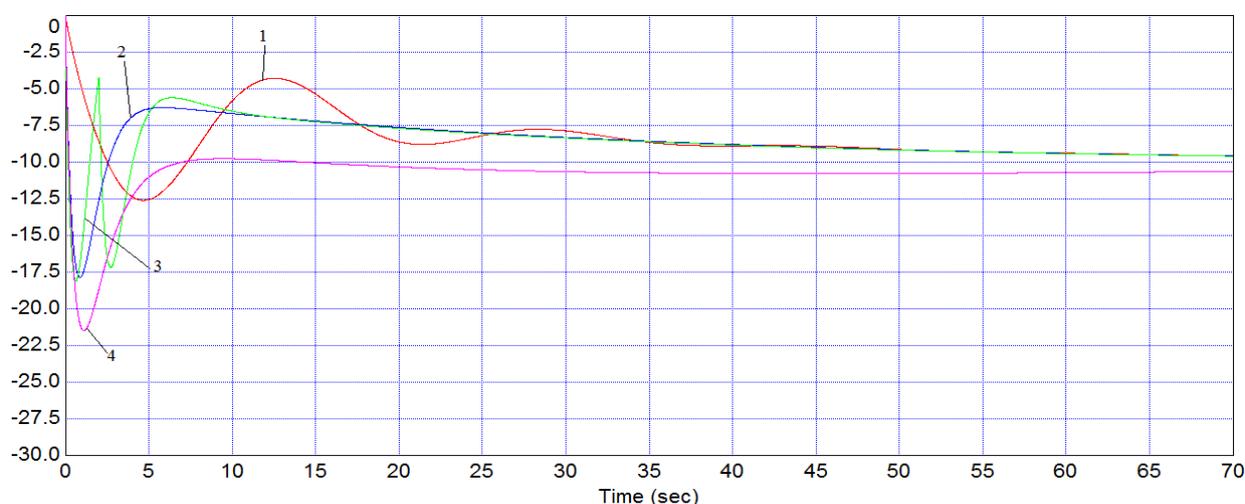


Рисунок 8 График переходного процесса при обработке внешнего возмущения

Рисунок 9. График регулирующего воздействия при обработке f_2

На графиках представлены следующие методы:

- 1- Базовая схема;
- 2- Метод СПО;
- 3- Инвариантная САР при плановом изменении нагрузки с дополнительно измеряемым внешним возмущением;
- 4- Инвариантная САР при плановом изменении нагрузки с косвенным выделением эквивалентного внешнего возмущения.

Как видим из графиков лучшим методом улучшения качества регулирования стало применение метода Инвариантная САР при плановом изменении нагрузки с дополнительно измеряемым внешним возмущением (схема 3). Время регулирования при отработке крайнего внешнего возмущения самое лучшее и на 48,3% больше, чем в схеме СПО.

Отработка внутреннего возмущения во всех схемах не выходит за пределы зоны нечувствительности.

При отработке скачка задания время регулирования в 5,18 раза меньше чем у базовой. Величина перерегулирования во всех схемах равна 0, кроме базовой.

Литература

1. Плетнев, Г. П. Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике: учебник для студентов и вузов / Г.П. Плетнев. – 4-е изд., стереот. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 352с., ил.
2. Кулаков, Г. Т. Инженерные экспресс-методы расчета промышленных систем регулирования / Г.Т. Кулаков. - Минск: Вышэйш. шк., 1984. - 192 с.