

УДК 621.311:681.5

В роботі запропоновано використання нового методу побудови високоякісної системи автоматичного регулювання теплового навантаження пилувугільного котла. Метод полягає у використанні регулятора зі змінною структурою

Ключові слова: регулятора зі змінною структурою, САР теплового навантаження

В работе предложено использование нового метода построения высококачественной системы автоматического регулирования тепловой нагрузки пылеугольного котла. В системе используются регулятор с переменной структурой

Ключевые слова: регулятор с переменной структурой, САР тепловой нагрузки

A new method of high-class system structure of automatic heat load control of the coal-fired boiler is offered in this project. The controller with a variable structure is used in this system

Keywords: controller with variable structure CAP of heat load

СИСТЕМА РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗКОЙ КОТЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕГУЛЯТОРА С ПЕРЕМЕННОЙ СТРУКТУРОЙ

А. П. Мовчан

Кандидат технических наук, доцент кафедры*
Контактный тел.: (044) 464-74-63, (050) 382-76-96

К. Ю. Удовиченко

Магистрант

*Кафедра автоматизации теплоэнергетических процессов
Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт»
пр. Победы, 37, г. Киев, Украина, 03056
Контактный тел.: (097) 925-54-07
E-mail: k-udav@meta.ua

1. Постановка задачи

Исследования, о которых идет речь в статье, относятся к области энергосберегающих технологий и оборудования. При решении современных задач автоматизации в промышленности важное место отводится локальным контурам автоматического управления, находящимся на нижнем иерархическом уровне АСУ ТП и осуществляющим измерение, контроль и регулирование основных технологических параметров, характеризующих протекание производственных процессов. Особенности объектов автоматического управления теплоэнергетики является квазистационарность параметров, нелинейности, многомерности, неконтролируемые возмущения, что значительно усложняет процессы управления. Как показывает опыт эксплуатации, штатные системы регулирования недостаточно хорошо функционируют при больших возмущениях, в том числе при глубоких изменениях нагрузки. При этом регулируемые параметры выходят за допустимые регламентом значения, что приводит к снижению надежности оборудования, а в некоторых случаях до срабатывания аварийной защиты парогенератора и остановки энергоблока.

Анализ различных объектов управления показывает, что многие из них являются нестационарными, а регулируемые величины наблюдаются на фоне шумов относительно высокой интенсивности. Для

управления нестационарными объектами применяются методы адаптивного управления. Однако известные методы отличаются сложностью математического обеспечения и технической реализации, поэтому в практике построения массовых локальных контуров управления они широкого распространения не получили.

Применение методов теории систем с переменной структурой, систем с бесконечно большим коэффициентом усиления и с предварительно введенными нелинейными элементами, позволяющих относительно просто реализовывать регуляторы для управления нестационарными объектами, оказывается в ряде случаев неэффективным из-за наличия в регулируемых величинах помех (шумов) с широким спектром частот. Другие методы адаптивного управления, например, с использованием моделей, также недостаточно эффективны ввиду сложности технической реализации. Для целей промышленного применения необходимо создание простых и эффективных регуляторов.

2. Объект управления и проблемы управления им

При построении системы автоматического регулирования (САР) тепловой нагрузки следует заметить, что на процесс сгорания топлива влияют следующие факторы: вид топлива (агрегатное состояние топли-

ва, влажность, зольность, выход летучих); способы сжигания; аэродинамические особенности процесса; характер подвода кислорода к топливу; вид топки; концентрация кислорода в воздухе; давление при котором происходит горения и т.п. [1]. Для эффективного и качественного сжигания топлива в котельных агрегатах должно быть точно сбалансированное соотношение «топливо – воздух». Нехватка воздуха при горении вызывает неполное сгорание и, как следствие, перерасход топлива. Избыток воздуха также приводит к перерасходу топлива на нагрев лишнего воздуха в составе уходящих газов. В обоих случаях сжигание топлива сопровождается повышенным выбросом в атмосферу высокотоксичных газов [2]. В процессе длительной эксплуатации могут изменяться характеристики твердого топлива и, соответственно, режим работы котла. При повышенной зольности топлива снижается его теплота сгорания, объемы продуктов сгорания и воздуха, затрачиваемого на горение топлива. При одновременном изменении ряда условий работы против номинальных, режим котла подвергается различным воздействиям, которые могут складываться или взаимно компенсироваться.

Исследование динамических свойств сигнала по температуре аэросмеси в характерной точке измерения термомпарой с защитным чехлом, проведенные при различных по величине и знаку возмущениях расходом топлива, показали, что запаздывание сигнала по температуре $\tau_{ЗАП} = 2$ с., а постоянная времени ТОВ = 22с. Поскольку перемещение регулирующего органа не является скачкообразным и занимает около 10 с, то запаздывание сигнала появляется, что влияет на динамические свойства объекта управления и качество автоматического регулирования подачи топлива.

При нанесении возмущения расходом топлива были получены динамические характеристики аэросмеси экспериментальным путем. Из полученных в результате исследований переходных характеристик можно проследить влияние нагрузки энергоблока на параметры объекта. Коэффициент передачи КОБ изменяется в диапазоне $0,75-1,5 \text{ } ^\circ\text{C} / (\text{т} / \text{г})$; постоянная времени ТОВ = $17 \div 118$ с; время запаздывания сигнала по температуре $\tau_{ЗАП} = 2 \div 26$ с. Но даже хорошо спроектирована автоматическая система может оказаться неработоспособной или иметь низкие показатели качества в связи с изменением динамических свойств объекта управления (ОУ), неполнотой априорной информации об условиях работы системы. С этой точки зрения считается довольно эффективным путь построения управляющих систем, которые не требуют полной априорной информации об объекте и условиях его функционирования, то есть могут оптимизировать свою работу с минимальным вмешательством обслуживающего персонала.

3. Предложенная система автоматического управления

Известно, что в условиях отсутствия помех широко распространенные ПИД-регуляторы обеспечивают достаточно высокое качество управления широким классом объектов. Поэтому в работе использовался адаптивный регулятор в классе ПИД-регуляторов.

Уравнение объекта с переменными параметрами в общем случае имеет вид:

$$\sum_{i=1}^n a_i(t)y_i^{(i)}(t) + y(t) = k_0(t)u(t) + \lambda(t), \quad (1)$$

где $a_i(t), k_0(t)$ - параметры объекта управления, $y(t)$ - регулируемая величина, $u(t)$ - входной сигнал объекта, $\lambda(t)$ - возмущение по нагрузке.

Пусть корни характеристического уравнения

$$\sum_{i=1}^n a_i(t)\rho^i + 1 = 0 \text{ действительны, отрицательны и раз-}$$

личны, что можно представить соотношением

$$\sum_{i=1}^n a_i(t)\rho^i + 1 = \prod_{i=1}^n (\alpha_i T_i \rho + 1), 0 < \alpha_{\min} < \alpha < \alpha_{\max}$$

Возможны следующие варианты изменения параметров объектов управления, при которых компоненты вектора параметров объекта $K = (k_0, a_1, \dots, a_n)$ принадлежат одному из множеств

$$K_{ст} = \{k_{0\min} \leq k_0 \leq k_{0\max} < \infty, a_i = \text{const}\}$$

$$K_{дин} = \{k_0 = \text{const}, a_o = a_o(\alpha)\} \quad (2)$$

Первое из них соответствует изменению во времени статического параметра объекта k_0 , а второе – динамических параметров a_i , определяющих постоянные времени.

Предположим, что имеется информация о регулируемой величине $y(t)$, ее оценке $c(t)$ и оценке ее первой производной $\dot{c}(t)$, которые связаны соотношением

$$T_{oc} \dot{c}(t) + c(t) = y(t), c(0) = 0 \quad (3)$$

Можно предположить также, что для любого K из (2) существует регулирующее воздействие в виде стандартного ПИД-закона регулирования:

$$u(t) = k_0 \xi(t) + \frac{1}{T_H} \int_0^t \xi(\bar{t}) d\bar{t} + T_D \dot{\xi}(t), \xi(t) = x(t) - c(t) \quad (4)$$

которое при определенном выборе вектора параметров настройки регулятора $\Pi = (k_0, T_H, T_D)$ в зави-

симости от заданного значения K обеспечивает минимизацию длительности переходных процессов при отработке ступенчатых возмущений по заданию и нагрузке

$$x(t) = \begin{cases} 0 & \text{при } t < 0, \\ x_0 & \text{при } t \geq 0, \end{cases} \quad \lambda(t) = \begin{cases} 0 & \text{при } t < 0, \\ \lambda_0 & \text{при } t \geq 0. \end{cases} \quad (5)$$

Естественно, что в общем случае множества $K_{ст}$ и $K_{дин}$ таковы, что при основном векторе Π закон вида (4) не может обеспечить требуемое качество процессов при произвольном значении K . Целью адаптивного управления является отработка задающего воздействия $x(t)$ и компенсация возмущений $\lambda(t)$ независимо от значений вектора K .

Пусть при некоторых номинальных значениях век-

торов $K_{ст}=(k_{оп}, a_i=const)$ и $\prod_{ин}=(k_{ин}, T_{ин}, T_{ди})$ в контуре управления, описываемом выражениями (1) – (5), при ступенчатом возмущении имеет место переходной процесс $\xi(t)=\xi_{опт}(t)$, который назовем оптимальным (имеется в виду длительность переходного процесса). Необходимо реализовать такое управление $u(t)$, чтобы при любом K из (2) в контуре имел бы место процесс изменения $\xi(t)$, близкий к оптимальному.

Попытаемся найти управление $u(t)$ в виде следующего ПИД-закона

$$u(t) = k_{ад}(t) \left[k_{ин}\xi(t) + \frac{1}{T_{ин}} \int_0^t \xi(\tau) d\tau + T_{ди}\dot{\xi}(t) \right] \quad (6)$$

Здесь $k_{ад}(t)$ – кусочно постоянный коэффициент, закон изменения которого требуется определить. Определение требуемых значений коэффициента $k_{ад}(t)$ или его коррекцию можно производить в некоторой функциональной зависимости от сигнала ошибки $\xi(t)$, причем с целью сокращения адаптации эту функцию необходимо вычислять на начальном этапе переходного процесса. Эта функция должна быть монотонной и однозначно зависеть от коэффициента передачи объекта k_0 .

Блок-схема адаптивного регулятора приведена на рис. 1. Регулятор состоит из двух функционально и конструктивно законченных субблоков, один из которых представляет собой ПИД-регулятор с подстраиваемым коэффициентом пропорциональности, а второй – анализатор качества.

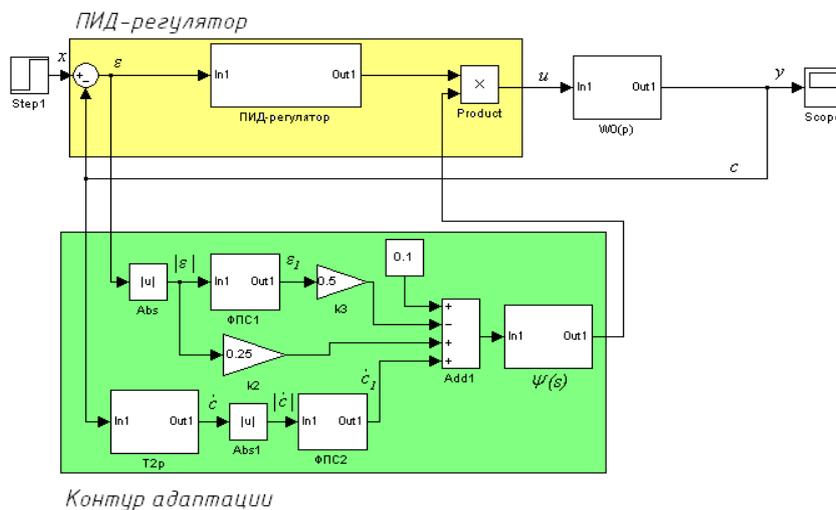


Рис.1. Блок-схема адаптивного регулятора

Алгоритм функционирования регулятора можно представить в виде выражений:

$$\begin{aligned} \xi(t) &= x(t) - c(t) \\ \tau_1 \dot{\xi}_1(t) + \xi_1(t) &= |\xi(t)| \quad \text{при } \xi_1(t) < |\xi(t)| \\ \tau_2 \dot{\xi}_1(t) + \xi_1(t) &= 0 \quad \text{при } \xi_1(t) > |\xi(t)| \\ \tau_1 \dot{c}_1(t) + c_1(t) &= |c(t)| \quad \text{при } c_1(t) < |c(t)| \end{aligned}$$

$$\tau_2 \dot{c}_1(t) + c_1(t) = 0 \quad \text{при } c_1(t) > |c(t)|$$

$$0 < \tau_1 \leq \tau_2$$

$$s(t) = \dot{c}_1(t) + \delta - k_3 \xi_1(t) + k_2 |\xi(t)| \quad k_3 > k_2$$

$$\psi(s) = \begin{cases} \alpha_1, & \text{при } s(t) > 0, \\ \alpha_2, & \text{при } s(t) < 0, \alpha_2 > \alpha_1 > 0, \end{cases}$$

$$u(t) = \psi(s) \left\{ k_0 [T_D \dot{\xi}(t) + \xi(t)] + \frac{1}{T_I} \int_0^t [T_D \dot{\xi}(\tau) + \xi(\tau)] d\tau \right\}.$$

Адаптация в рассматриваемом регуляторе обеспечивается за счет коммутации структур с параметрами α_1 и α_2 . При сигнале ошибки $\xi(t)=0$ заведомо обеспечивается определенный запас устойчивости контура регулирования за счет включения «медленной» структуры регулятора $\psi(s)=\alpha_1$, что определяется наличием установки δ . Основная особенность регулятора такого класса состоит в следующем: только после накопления определенного объема информации о характере процесса регулирования допускается включение «быстрой» структуры $\psi(s)=\alpha_2$. То есть даже после появления $\xi(t) \neq 0$ в течении некоторого интервала времени (время адаптации) включена «медленная» структура. Если параметры настройки регулятора выбраны такими, что в настраиваемой точке диапазона изменения коэффициента передачи объекта происходит коммутация структур и достигнуто желаемое качество процесса регулирования, то при изменении k_0 , например, уменьшении, скорость протекания переходных процессов при фиксированных начальных условиях убывает, следовательно, c_1 убывает, а это в свою очередь является сигналом к более продолжительному включению структуры $\psi(s)=\alpha_2$, что обеспечивает требуемое качество процесса [4].

Характер процессов показан на рис. 2. Кривая 1 соответствует контуру с классическим ПИД-регулятором, а кривая 2 – с адаптивным ПИД-регулятором, а также ниже показан характер изменения величины $\psi(s)$. Таким образом, при изменении коэффициента передачи объекта в 10 раз длительность процесса при использовании ПИД-регулятора возрастает примерно в 18 раз, а при использовании адаптивного ПИД-регулятора – всего в 2,5 раза.

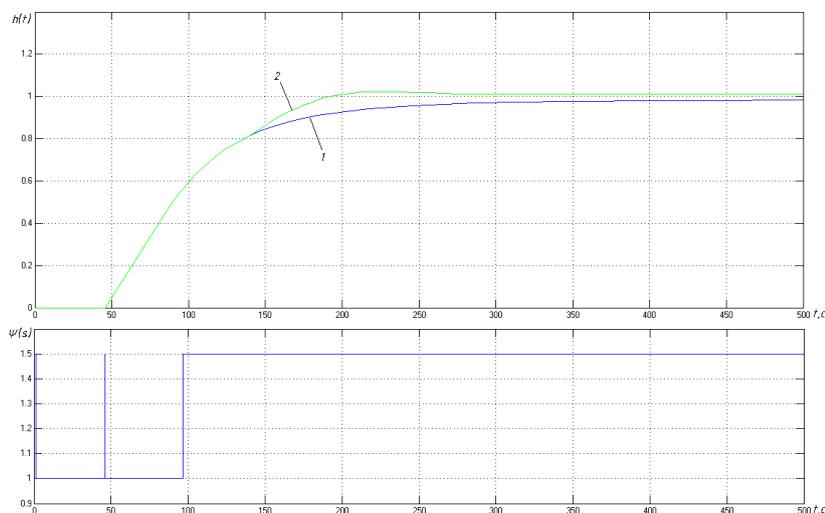


Рис. 2. Переходные процессы в контуре управления с адаптивным регулятором

4. Выводы

Теоретически обоснован метод построения адаптивных контуров в классе систем с переменными параметрами. Подстройка коэффициента пропорциональности регулятора производится на основании оценки времени t_a пребывания изображающей точки $p(\epsilon, c)$ в секторе $s_1(t)s_2(t) > 0$ фазовой области.

Метод имеет существенное преимущество среди известных решений с ПИД-регуляторами по показателям качества переходных процессов в системе и способом наладки регулятора.

Метод рекомендуется для использования в САР с объектами в переменных режимах работы, где предъявляются жесткие требования к скорости переходного процесса.

Литература

1. Свириденко В.П. Опыт модернизации схемы регулятора тепловой нагрузки котла ТПП-210А при работе на угольной пыли/ В.П. Свириденко, А.Б. Попутников// Энергетика и Электрификация – 2001.
2. Волков Э.П. Контроль загазованности атмосферы выбросами ТЭС/ Э.П. Волков– М.: Энергоатомиздат, 1986. – 256 с.
3. Загарий Г.И. Методы адаптивного управления для промышленного применения. Часть 2. Дифференцирование и фильтрация сигналов/ Г.И. Загарий, А.М. Шубладзе// Автоматика. – 1981. – № 3. – с. 46–53.
4. Ковриго Ю.М. Методы построения самонастраивающихся регуляторов для промышленного применения/ Ю.М. Ковриго, А.П. Мовчан, И.А. Полищук// Автоматика, автоматизация, электротехнические комплексы и системы. – 2005. – №1. – с. 152–157.