

УДК 621.3

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПЕРЕГРЕТОГО ПАРА БАРАБАННОГО КОТЛА

Цветков А.А.

Научный руководитель - к.э.н., доцент Кравченко В.В.

Объект управления. Рассматривается пароперегреватель котла в виде двух теплообменников типа «газ-пар» конвективного типа (рис. 1). В необогреваемую рассечку подведен трубопровод для впрыска собственного конденсата котла, представляющий собой пароохладитель. В пароохладителе происходит смешивание пара и собственного конденсата и охлаждение пара. Для контроля температуры пара установлено две термопары: после пароохладителя и после пароперегревателя. Схематично, пароперегреватель выполнен следующим образом. В верхнюю секцию пароперегревателя поступает пар из котла. После этой секции идет необогреваемый участок, где происходит смешивание собственного конденсата котла и пара и нагрев пара газами, которые уже нагрели вторую по ходу пара секцию. Далее пар поступает во вторую секцию, связанную с общим паропроводом, расположенную ниже первой секции, где происходит начальный нагрев пара. Эта секция обогревается дымовыми газами в первую очередь. За этой секцией установлена термопара, измеряющая температуру перегретого пара (см. рис. 1).

Поэтому, когда изменяется температура, расход дымовых газов, расход пара через пароперегреватель, происходит изменение как температуры в рассечке, так и температуры на выходе ПП. Причем, коэффициенты усиления по каналам возмущения температуры в рассечке и температуры после ПП различны, что объясняется тем, что на температуру в рассечке действует поток пара, охлажденный в первой по ходу дымовых газов секции ПП. Секция 2 пароперегревателя является регулируемой. Измеряют температуры пара на входе и выходе из секции, (иногда, расход пара), и по этим параметрам ведут процесс. Из этого рисунка видно, что при изменении расхода пара, температуры и расхода дымовых газов изменяются синхронно как температура пара в месте впрыска конденсата, так и температура пара после пароперегревателя (ПП).



Рисунок 1. Схема пароперегревателя

Математическая модель пароперегревателя как объекта управления температурой пара

Объектом регулирования является участок котла между точкой ввода регулирующего воздействия и точкой контроля регулируемой температуры, включающей в себя радиационные, полурadiационные и конвективные поверхности нагрева. На температуру пара оказывают влияние большое количество факторов: из них наиболее существенными

оказываются: нагрузка котла, загрязнение поверхностей нагрева, ошлаковывание топки, температура питательной воды, избытки воздуха. При снижении нагрузки удельное тепловосприятие радиационных поверхностей нагрева повышается, а конвективных – уменьшается. Кроме того, на температуру перегрева оказывают большое влияние такие возмущения, как случайные возмущения подачи топлива при заданной нагрузке, изменение тягодутьевого режима и т.п. В последнее время САР ТПП проектируются с вводом дополнительного воздействия по расходу пара. Встречаются САР с различного рода связями типа «люфт» между отдельными схемами регулирования расхода пара на участках парового тракта котла, ПИ и ПИД – регуляторы, САР ТПП с корректирующим и стабилизирующим регуляторами, которые, в некоторых случаях, могут иметь значительные преимущества перед типовыми с исчезающим импульсом из промежуточной точки. Для регулирования впрыска широко применяются шибберные клапаны.

Для исследуемой системы характерно большое транспортное запаздывание в объекте управления, нестационарность и априорная неопределенность математической модели ПП, что приводит, в конечном счете, к ручной перенастройке коэффициентов регулятора и необходимости проектировать систему из условий робастности.

Передаточная функция объекта регулирования включает в себя:

W_{TH} - передаточную функцию участка трубопровода от места впрыска до места установки термопары (передаточная функция опережающего участка);

W_T передаточную функцию ПП между местами установки термопар 1 и 2, ее называют передаточной функцией инерционного участка;

$W_{TH} W_T$ передаточную функцию главного участка;

W_D передаточную функцию ПП при возмущении расходом пара;

W_F передаточную функцию ПП при топочных возмущениях по теплоте дымовых газов.

$$W_{TH}(p) = k_{vpr} \frac{T_3 p + 1}{T_4 p + 1}$$

$$W_T(p) = k_T e^{-\left(\frac{Tkp}{Tp+1} + \tau_0 p\right)}$$

$$W_p(p) = -k_p \frac{0.2Tp + 1 \left[1 - \exp - \left(\tau_0 p + \frac{Tkp}{Tp + 1}\right)\right]}{Tp + 1 \left(\tau_0 p + \frac{Tkp}{Tp + 1}\right)} \left[1 - e^{-\left(\tau_0 p + \frac{Tkp}{Tp+1}\right)}\right]$$

Передаточная функция W_F - по теплоте газов, уходящих из топки, имеет вид

$$W_F(p) = k_F \frac{\left[1 - \exp - \left(\tau_0 p + \frac{Tkp}{Tp + 1}\right)\right]}{Tp + 1 \left(\tau_0 p + \frac{Tkp}{Tp + 1}\right)} \left[1 - e^{-\left(\tau_0 p + \frac{Tkp}{Tp+1}\right)}\right]$$

Характерные параметры участка пароперегревателя, состоящего из одного пакета, определяют по формулам:

$$T = 3600 \frac{G_M C_M}{a_{IC} F_{INC}}$$

$$\tau_0 = \frac{l}{w}$$

где a_{IC} - условный коэффициент теплоотдачи от стенки змеевика к пару на внутренней поверхности змеевиков, $\text{кДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})$;

C_{ST} - средняя изобарная теплоёмкость пара, проходящего через пакет, $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$;

F_{IN} , F_{OUT} соответственно внутренняя и наружная поверхности змеевиков пакета, омываемые паром и дымовыми газами, м^2 ;

G_M - масса металла змеевиков пакета, кг ;

l - длина пути от входа до выхода из обогреваемой поверхности нагрева, м ;

w - средняя скорость пара, $\text{м}/\text{с}$.

Синтез системы управления пароперегревателем

На рисунке 2 приведена функциональная схема управления пароперегревателем. На этой схеме приняты следующие условные обозначения: *TE* термопары (установлены после пароперегревателя по ходу пара; *DSH* пароохладитель; *COL* коллектор.

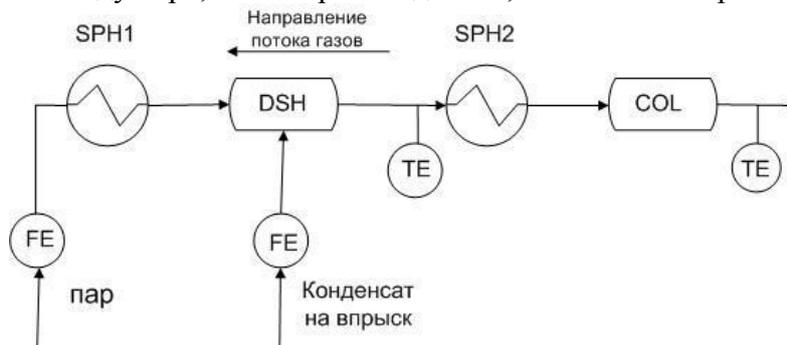


Рисунок 2. Функциональная схема пароперегревателя как объекта управления

На рисунке 3 приведена структурная схема пароперегревателя как объекта управления в системе регулирования температуры.

На этом рисунке приняты следующие обозначения:

$W_C(p)$ передаточная функция основного регулятора САР,

p - оператор дифференцирования,

W_2 - передаточная функция компенсирующего звена расхода пара,

W_3 - передаточная функция компенсирующего звена температуры дымовых газов,

W_{T1}, W_{T2} - передаточные функции термопар,

W_{K1}, W_{K2} - передаточные функции звеньев, компенсирующих инерционность термопар,

W_{FS2} - передаточная функция, связывающая расход газа и расход пара в канале возмущения на температуры пара после пароохладителя,

W_{FS1} - передаточная функция, связывающая расход газа и расход пара в канале возмущения на температуры пара после пароперегревателя,

W_{T-Tim} - передаточная функция, связывающая температуру дымовых газов и температуру пара после пароохладителя,

W_{T-Te} - передаточная функция, связывающая температуру дымовых газов и температуру пара после пароперегревателя,

W_{ST-PV} - задание температуры пара после пароперегревателя, пароохладителя.

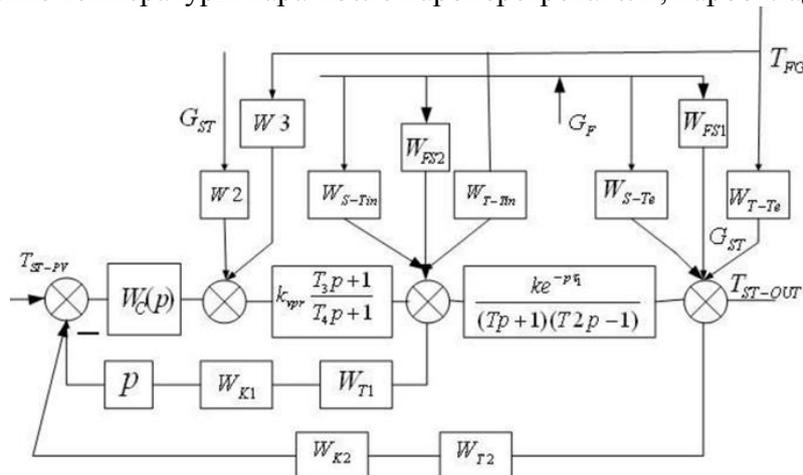


Рисунок 3. Структурная схема системы управления температурой перегретого пара

G_F приращение расхода топлива, G_S приращение расхода пара, T_S температура дымовых газов. Как видно из рассмотрения структурной схемы системы управления пароперегревателем, инерционные звенья, включенные в цепи сигналов главной обратной связи и сигнала опережения по производной сигнала из промежуточной точки, существенно замедляют реакцию системы. Поэтому включим последовательно с этими звеньями, звенья, компенсирующие инерционность термопар.

Передаточная функция компенсирующего звена имеет вид:

$$W_{K2(K3)} = k_T (T_{T2(T3)} p + 1)$$

В этом уравнении постоянные времени зависят от ряда факторов, определяемых как конструкцией узлов измерения температур, так и скоростью, и температурой и давлением перегретого пара. Определение этих постоянных времени представляет собой решение классической задачи параметрической идентификации и не входит в задачу данного исследования.

На рисунке 4 приведен результат моделирования системы при задании по температуре пара относительно базового значения -30°C и возмущении по расходу топлива равному 10% от базового значения и возмущению коэффициентом избытка воздуха.

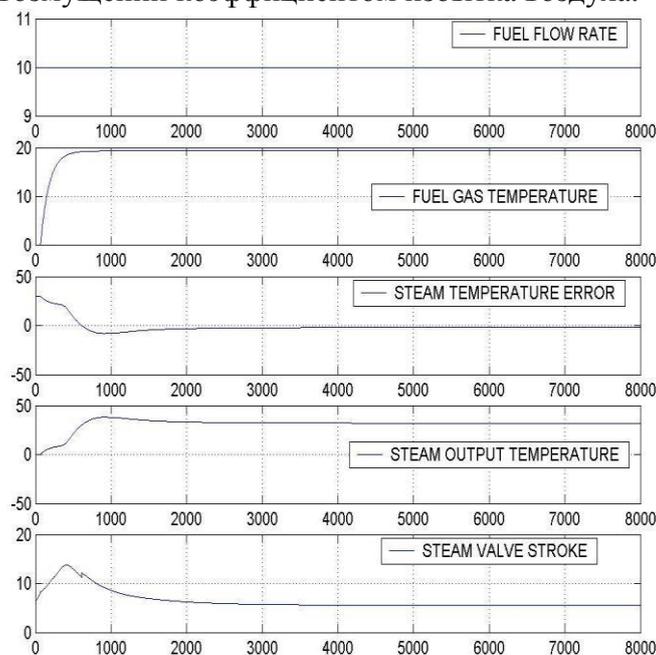


Рисунок 4. Графики работы модернизированной системы при положительном знаке изменения расхода пара и температуры дымовых газов

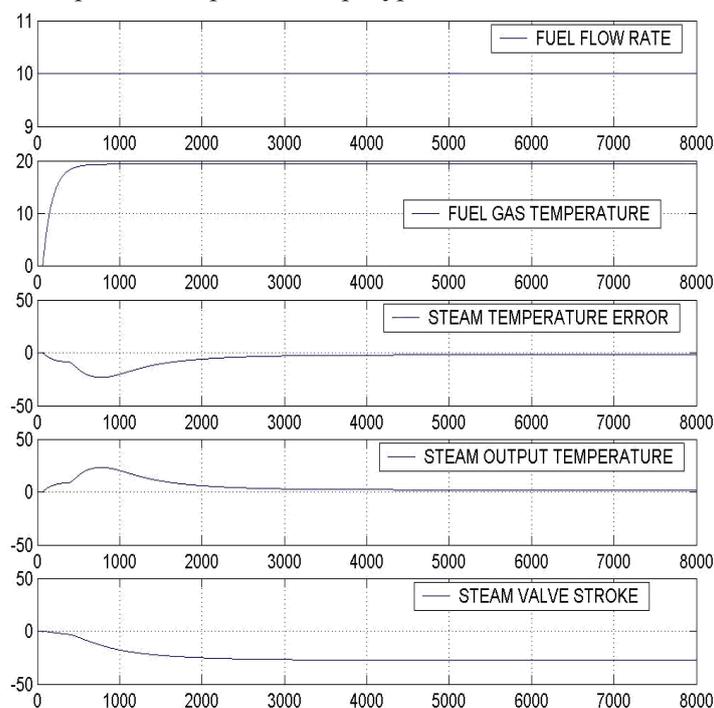


Рисунок 5. Графики работы модернизированной системы при положительном знаке изменения расхода пара и температуры дымовых газов и нулевых начальных условиях по температуре пара

Время переходного процесса (время достижения отклонением пара от заданного (базового) значения температуры равного 2°C) составляет для этого случая 568 с., а значение квадратичного критерия качества (интеграла квадрата рассогласования) равно $1.5158\text{e}+004$. Рассмотрим тот же вариант расчета, но для типовой системы (рис.9).

Время переходного процесса (время достижения отклонением пара от заданного (базового) значения температуры равного 2°C) составляет для этого случая 983,4 с., а значение квадратичного критерия качества (интеграла квадрата рассогласования) $2.9140\text{e}+004$.

Как следует из изложенного, время переходного процесса для модернизированной системы сократилось на 73%, а значение квадратичного критерия качества сократилось на 92%. Как известно [2], снижение температуры пара на 10°C эквивалентно перерасходу топлива на 0,2%. Так как происходит уменьшение величины критерия качества в модернизированной системе, по сравнению с типовой, следовательно, при сбросах нагрузки происходит экономия тепловой энергии (за счет снижения отрезка времени, в течение которого снижается температура пара). При набросах нагрузки за счет снижения времени превышения температурой пара заданного значения повышается долговечность пароперегревателя.

Литература

1. Плетнев Г.П. Автоматическое управление и защита теплоэнергетических установок электростанций: Учебник для техникумов. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 344 с.
2. Кулаков Г.Т. Инженерные экспресс-методы расчета промышленных систем регулирования: Спр. Пособие. - Мн.: Выш. Шк., 1984. – 192 с.