

*к.т.н., доц. Зотов В.А.,
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ СЖИГАНИЯ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА

Наведені результати теоретичних досліджень, отримані залежності, які описують процеси в системах автоматичного керування процесами спалювання твердого палива. Запропонований алгоритм керування теплотехнічними агрегатами, який забезпечує задану точність стабілізації вихідних характеристик та враховує екологічний критерій.

В настоящее время тепловую энергию для собственных нужд горных предприятий получают, в основном, за счет сжигания твердого топлива. Основными источниками загрязнения атмосферы в угольной промышленности являются шахтные котельные и сушильные установки обогатительных фабрик.

Весьма токсичными компонентами дымовых газов этих установок являются оксиды азота. Они образуются из азотистых соединений топлива, а при большой температуре в зоне горения - из азота воздуха. В связи с этим не следует допускать чрезмерно высоких температур в зоне горения топочных устройств, хотя это и увеличивает коэффициент использования топлива. Снижение температуры приводит к неполному сгоранию топлива, выделению окиси углерода и сажи.

Если в шахтных котельных основной причиной загрязнения окружающей среды является процесс сжигания топлива, то в сушильных установках углеобогатительных фабрик отклонение температурного режима приводит к пересушке сушеного материала и выносу его вместе с дымовыми газами. Так, унос сушеного материала иногда достигает 20% поступающего концентрата, что существенно загрязняет окружающую среду угольной пылью и приводит к значительным потерям.

Уменьшение загрязнения окружающей среды горными предприятиями задача комплексная, требующая разработки специальных методов сжигания топлива и газоочистки, но ее решение невозможно без создания эффективных средств автоматической стабилизации режимов работы топочных устройств.

Преобладающее распространение в СНГ получили слоевые топки, работающие на твердом топливе (83,9%), остальные - камерные (пылеугольные, на жидком и газообразном топливе).

В котельных и сушильных установках применяют, в основном, унифицированный набор топочных устройств, но ввиду особенностей используемых каналов управления и невозможности рассматривать топку отдельно, создание универсального управляющего устройства для агрегатов различного назначения оказалось затруднительным. Для управления такими агрегатами используются традиционные алгоритмы управления в виде ПИ и ПИД - регуляторов (и их модификаций в виде нелинейного ПИ - регулятора).

Так как объекты управления обладают нестационарными параметрами и подвержены как аддитивным, так и мультипликативным стохастическим возмущающим воздействиям, данные алгоритмы не обеспечивают высокой точности управления.

Кроме того, оказалось невозможным эффективно использовать каналы управления, обладающие наибольшей чувствительностью к управляющим воздействиям, так как они обладают существенным запаздыванием

$$\frac{\tau}{T} \geq 3,$$

где τ - время запаздывания объекта;

T - постоянная времени объекта.

В связи с этим управление производится по косвенным параметрам, что вносит дополнительную погрешность.

Как показывают исследования, наибольшей чувствительностью обладает канал управления расход топлива - выходная координата системы. Выходной координатой котельной установки служит конечная температура теплоносителя или давление пара, сушильной - влажность высушенного продукта.

Управление по этим каналам позволят получить наиболее высокий КПД использования агрегатов. В целях безопасности эксплуатации система автоматического управления должна выполняться в виде контуров подчиненного управления, снабженных средствами контроля и ограничения координат.

В основу такой системы может быть положен параметрический регулятор с управляемым коэффициентом усиления [1].

Эта идея использована в системе автоматического управления процессом сушки угольного концентрата [2] и получила дальнейшее развитие для автоматизации ряда промышленных объектов с большим запаздыванием [3]

Анализ динамических характеристик котельных и сушильных установок, а также других теплотехнических агрегатов, показал, что их основные каналы управления аппроксимируются одинаковыми передаточными функциями и имеют сходный характер взаимного влияния. Следовательно, для автоматизации таких объектов может быть использован унифицированный алгоритм управления.

Система, построенная по таким принципам представлена на рис.1. Здесь объект управления представлен в обобщенном виде и состоит из топки, теплотехнического агрегата (котла или сушильного барабана) и дымососа. Входными воздействиями на топку являются расход топлива Q_T и степень открытия направляющего аппарата дутьевого вентилятора α_d , выходные параметры - температура T и разрежение P в топке. Вход теплоагрегата - нагрузка по исходному углю сушильного барабана. Для котла этот параметр отсутствует, не применяется также контур управления агрегатом. Выход теплоагрегата представлен обобщенной выходной координатой Y . Для сушильной установки это влажность высушенного продукта, для котельной- температура теплоносителя или давление пара.

Вход дымососа - степень открытия α его направляющего аппарата, выход- вектор экологических параметров E .

Для управления теплотехнической установкой требуются две взаимосвязанные подсистемы: управления топкой и собственно теплоагрегатом. Канал управления сушильным агрегатом аппроксимируется аperiodическим звеном первого порядка с запаздыванием, поэтому управление производится параметрическим регулятором, масштабирующим ошибку регулирования временной зависимостью [3], представленной в дискретной форме для n -х моментов времени:

$$\gamma = \frac{K_3}{K_0 \cdot T_3 h} \left[\frac{T_0}{h} (A_n - 2A_{n-1} + A_{n-2}) + A_n - A_{n-1} \right], \quad (1)$$

где K_0 - коэффициент усиления канала управления;

K_3, T_3 - заданные коэффициент усиления и постоянная времени канала управления;

h - шаг квантования по времени;

A - промежуточная переменная.

Промежуточная переменная A определяется по формуле:

$$A_n = \left[(2T_3 - h)A_{n-1} + T_3 h(x_n + x_{n-1}) \right] / (2T_3 + h), \quad (2)$$

где X – единичное ступенчатое воздействие, формируемое с периодом управления T_y

$$T_y = \tau + 4 T_3.$$

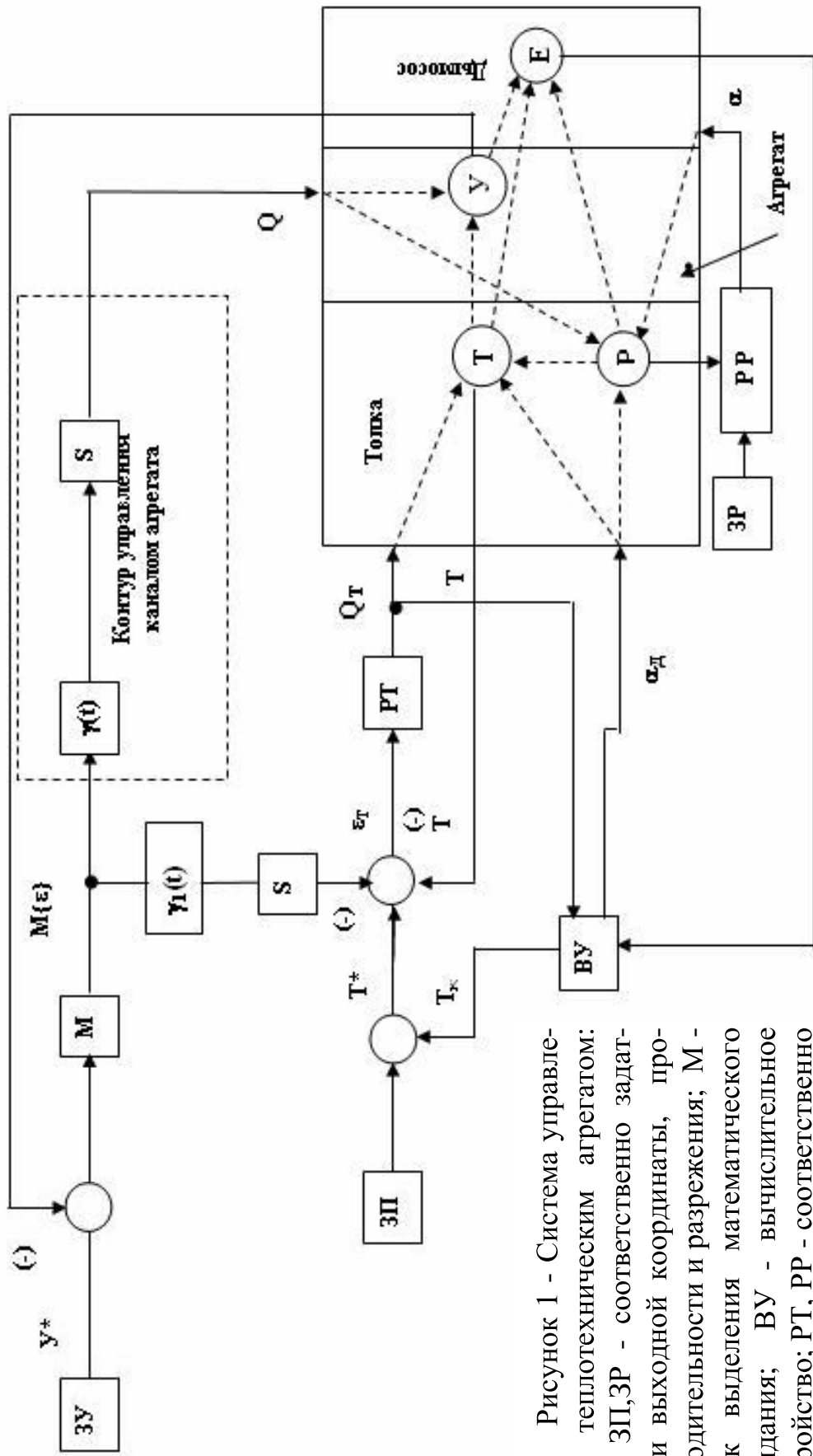


Рисунок 1 - Система управления теплотехническим агрегатом: ЗУ, ЗП, ЗР - соответственно задатчики выходной координаты, производительности и разрежения; М - блок выделения математического ожидания; ВУ - вычислительное устройство; РТ, РР - соответственно регуляторы температуры и разрежения.

По истечению времени T_y расчет масштабирующей функции повторяется. При этом:

$$n = 0; \text{ если } t > T_y;$$

$$(X_{n-1} = A_{n-1} = A_{n-2} = t) /_{n=0} = 0;$$

$$X_n = \begin{cases} 1; & n \neq 0 \\ 0; & n = 0. \end{cases}$$

Топка является наиболее инерционным элементом, колебания температурного режима приводят к снижению ее КПД и долговечности, а также к появлению недопустимых концентраций вредных продуктов сгорания. Поэтому температура стабилизируется на заданном уровне.

Непрерывное регулирование температуры в топке осуществляется регулятором РТ с помощью нелинейного ПИ - закона, достаточно эффективно подавляющего случайные возмущения:

$$Q_T = K_1 \varepsilon_T + K_2 \varepsilon_T^3 + K_3 \int_0^t \varepsilon_T dt,$$

где K_1, K_2, K_3 – постоянные коэффициенты;

ε_T – ошибка регулирования температуры.

Образованный с помощью этого регулятора канал управления влажностью высушенного угля (путем изменения задания температуры) аппроксимируется апериодическим звеном второго порядка с запаздыванием. Управление по этому каналу производят в случае недостаточности диапазона изменения нагрузки по исходному углю.

Масштабирующая функция второго параметрического регулятора имеет вид:

$$\gamma_{1,n} = \frac{K_{\dot{K}}}{K_0 T_{\dot{K}} h} \left[\frac{T_0^2}{h^2} (A_n + 3(A_{n-2} - A_{n-1}) - A_{n-3}) + \frac{2\xi T_0}{h} (A_n - 2A_{n-1} + A_{n-2}) + A_n - A_{n-1} \right],$$

где ξ – коэффициент демпфирования канала управления.

Промежуточная переменная A в соответствующие моменты времени вычисляется по формуле (2).

В котельной установке канал управления агрегатом отсутствует, поэтому алгоритм управления несколько упрощается. В этом случае регулятор РТ не применяется, что позволяет аппроксимировать канал управления выходной координатой аperiodическим звеном первого порядка с запаздыванием. Поэтому управление по этому каналу производится параметрическим регулятором при помощи периодически повторяющихся масштабирующих функций $\gamma_1(t)$, рассчитываемых по формуле (1).

Регулятор разряжения в топке воздействует на направляющий аппарат дымососа и может быть выполнен в виде типового ПИ регулятора .

Вычислительное устройство системы решает комплексную задачу: управление расходом первичного воздуха, изменяя степень открытия направляющего аппарата дутьевого вентилятора α_d и коррекцию температуры в топке по экологическим критериям E . Сигнал коррекции температуры T_k является функцией ряда параметров:

$$T_k = f(Q_t, \alpha_d, E).$$

В простейшем случае величина α_d может быть представлена линейной зависимостью:

$$\alpha_d = Q_t \cdot K_1 - \alpha K_2,$$

где K_1, K_2 - коэффициенты пропорциональности.

В зависимости от набора датчиков экологических параметров может быть образовано несколько каналов управления с различными динамическими характеристиками. Компенсация инерционности по этим каналам может быть осуществлена путем использования типовых законов управления, а в случае возникновения существенного запаздывания - параметрическим регулятором, управление которым рассчитывается по формулам [3].

Комплексным критерием управления по экологическим параметрам может служить минимум функционала:

$$F = \left| \sum_{i=1}^m (K_{v,i} E_i) - K_{v,\Pi} \Pi \right|,$$

где E_i – экологический параметр;

$K_{v,i}$ – весовой коэффициент соответствующего экологического параметра;

Π – задание производительности установки;

$K_{v,\Pi}$ – весовой коэффициент производительности.

Датчиками экологических параметров в настоящее время могут служить устройства, описанные, например в [4,5], но для получения высоких показателей качества управления по экологическим критериям требуется решение ряда научных задач по созданию технологических датчиков, поставленных в [6].

Исследование основных контуров системы управления, выполненные на примере барабанной сушильной установки с барабаном диаметром 2,8 м и длиной 14 м, со слоевой топкой БЦРМ 2370×6500. При этом установлено, что разработанный алгоритм управления сокращает время запуска процесса на 46,7 % и снижает среднеквадратическую ошибку регулирования влажности конечного продукта на 54,9%.

Приведены результаты теоретических исследований, получены зависимости, описывающие процессы в системах автоматического управления процессами сжигания твердого топлива. Предложен алгоритм управления теплотехническими агрегатами, обеспечивающий заданную точность стабилизации выходных параметров и учитывает экологический критерий.

This article deals the results of the theoretical researches, formulas describing the process in the systems of automatic control, such is used during the process of burning firm fuels. The algorithm of controlling of heat a technical units is offered in it too. The given algorithm provides the set accuracy of stabilisation of the target parameters. It also takes into account ecological criterion.

Библиографический список.

1. Зотов В.А., Ульшин В.А. Квазиоптимальное управление объектами с существенным запаздыванием регуляторами с управляемым коэффициентом усиления. - Алчевск, 1993. - 10с. - Деп. в ГНТБ Украины 31.05.93, №1080 - Ук 93.
2. Ульшин В.А., Зотов В.А. Адаптивная система управления процессом сушки угольного концентрата // Кокс и химия. - 1994. - № 10. - с. 32-34.
3. Ульшин В.А., Зотов В.А. Автоматическое управление промышленными объектами с большим запаздыванием // Автоматизация и современные технологии. - 1996. - № 12. - с. 2-8.
4. Автоматизация производства на углебогатительных фабриках /Л.Г.Мелькумов, В.А.Ульшин, М.А.Бастунский и др.- М.: Недра, 1983.-295с.

5. Маметьев В.А., Логачев А.П. Промышленные испытания системы авторегулирования процесса сушки по фактору запыленности // Обогащение и брикетирование угля. - 1980. - №11. - с.10-14.

6. Зотов В.А. Совершенствование систем автоматического управления процессом сушки угольного концентрата // Уголь Украины. - 1995. - №3. - с.24-26.

Рекомендовано к печати д.т.н., проф. Зеленовым А.Б.