

# ОПЕРАТИВНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ЭКОНОМИЧНОСТИ ГОРЕНИЯ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОТЛАХ

Л.С. Казаринов, Т.А. Игнатова, А.В. Кинаш, О.В. Колесникова, Д.А. Шнайдер

Рассматривается способ автоматической оптимизации процесса горения в топке энергетического котла на основе прогнозного значения КПД котла, позволяющего понизить инерционность автоматической системы регулирования экономичности процесса горения. Приводятся временные характеристики поиска оптимального значения КПД.

*Ключевые слова:* перовые котлы, энергетические котлы, процесс горения, оптимизация процесса горения, экономичность процесса горения, регулирование процесса горения.

Оптимизация экономичности процессов горения в топке энергетического котла является актуальной задачей, непосредственно связанной с минимизацией расхода топлива. Типовым подходом к решению данной задачи является регулирование соотношения «топливо-воздух» на входе топки котла по содержанию кислорода ( $O_2$ ) в дымовых газах [1-3]. Однако содержание  $O_2$  не является постоянным в процессе эксплуатации, так как его значение зависит от многих факторов: паровой нагрузки, качественного состава топлива, потерь теплоты с уходящими газами и др.

В этой связи представляется целесообразным осуществлять регулирование экономичности процесса горения по прямым показателям. Однако использование регулирования по прямым показателям экономичности котла обладает повышенной инерционностью. Этот недостаток особенно проявляется для котлов, работающих в условиях переменных характеристиках топлива. Подобные режимы характерны для котлов, в которых сжигаются вторичные энергетические ресурсы технологических производств.

В данной работе предлагается для оптимизации режима горения в топке котла использовать прогнозные значения КПД котла, которое позволяет понизить инерционность автоматической системы регулирования экономичности процесса горения.

Казаринов Лев Сергеевич - д.т.н., профессор, декан приборостроительного факультета ЮУрГУ, заведующий кафедрой автоматики и управления ЮУрГУ; [kazarinov@ait.susu.ac.ru](mailto:kazarinov@ait.susu.ac.ru).

Игнатова Татьяна Александровна - инженер кафедры автоматики и управления ЮУрГУ; [tanva\\_ignatova@mail.ru](mailto:tanva_ignatova@mail.ru).

Кинаш Александр Викторович - ведущий специалист по автоматизации ЦЭС ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат»; [kinash@mmk.ru](mailto:kinash@mmk.ru).

Колесникова Ольга Валерьевна - к.т.н., доцент кафедры автоматики и управления ЮУрГУ; [popova\\_ov@ait.susu.ac.ru](mailto:popova_ov@ait.susu.ac.ru).

Шнайдер Дмитрий Александрович - к.т.н., доцент кафедры автоматики и управления ЮУрГУ; [shnyder@ait.susu.ac.ru](mailto:shnyder@ait.susu.ac.ru).

## 1. Экстремальная автоматическая система регулирования экономичности процессов горения

Функциональная схема экстремальной автоматической системы регулирования экономичности процессов горения изображена на рис. 1. Система состоит из двух контуров. Внутренний контур образуют объект 1 регулирования и автоматический регулятор 2 подачи общего воздуха, действующий по упрощенной схеме пар  $D_n$  - воздух  $G_a$ . Внешний контур составляет объект 1 регулирования, экстремальное устройство 3 с входным сигналом по прогнозной оценке показателя экономичности процесса горения  $\varphi^{np}(t)$ , а также устройство выработки прогнозной оценки показателя экономичности процесса горения 4 с входным сигналом по тепловой мощности  $Q_{вх}(t)$ , вносимой в топку котла с топливом, и сигналом  $Y_{вых}(t)$ , характеризующим значение выходной тепловой мощности, который в варианном исполнении может измеряться:

- на выходе котла;
- на выходе барабана для барабанных котлов;
- как оценка тепловыделения в топке котла;
- как сигнал, пропорциональный тепловосприятию топочных экранов.

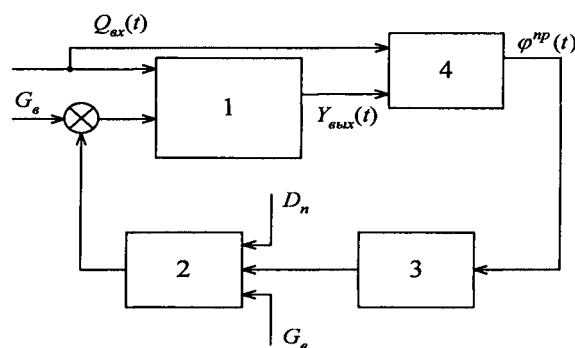


Рис. 1. Функциональная схема экстремальной автоматической системы регулирования

Процесс автоматической оптимизации процесса горения в топке для энергетических котлов осуществляется следующим образом.

Автоматический регулятор 2 подачи воздуха (рис. 1) действует как регулятор соотношения рас-

ход пара  $D_n$  – расход воздуха  $G_b$  и обеспечивает в первом приближении оптимум этого соотношения в статике в соответствии с режимной картой энергетического котла при постоянном расходе топлива. Далее экстремальное устройство 3, действующее по принципу запоминания и оценки экстремума по приращению, устраняет возможную статическую неточность регулятора 2 при действии на экономичность процесса горения изменяющихся во времени факторов и выводит систему регулирования в область экстремума сигнала по прогнозной оценке показателя экономичности процесса горения  $\varphi^{np}(t)$  путем принудительного изменения в заданных пределах расхода воздуха, поступающего в топку энергетического котла.

Схема устройства выработки прогнозной оценки показателя экономичности процесса горения приведена на рис. 2.

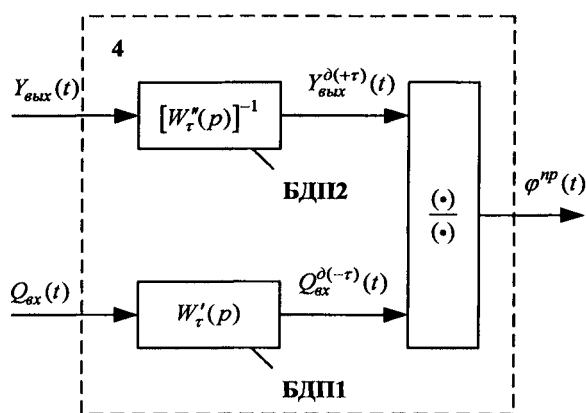


Рис. 2. Схема устройства выработки прогнозной оценки показателя экономичности процесса горения

Здесь БДП1 – блок динамической задержки сигнала  $Q_{вх}(t)$  с передаточной функцией  $W_{\tau}'(p)$  (где  $p = d/dt$ ), соответствующей переходной функции  $h'(t)$ ; БДП2 – блок динамического опережения сигнала  $Y_{вых}(t)$  с передаточной функцией  $[W_{\tau}''(p)]^{-1}$ , соответствующей переходной функции  $h''(t)$ ;  $(\circ)/(\circ)$  – блок деления;  $Q_{вх}^{\Delta(-\tau)}(t)$  – входной сигнал  $Q_{вх}(t)$  с динамическим запаздыванием на тактовый сдвиг  $\tau$ ;  $Y_{вых}^{\Delta(+\tau)}(t)$  – выходной сигнал  $Y_{вых}(t)$  с динамическим опережением на тактовый сдвиг  $\tau$ .

На рис. 3 приведены типовые переходные функции, характеризующие динамические свойства энергетического котла и устройства выработки прогнозной оценки показателя экономичности процесса горения.

На рис. 3 введены следующие обозначения:  $h_n(t)$  – нормированная переходная функция котла, определяемая по соотношению

$$h_n(t) = \frac{h(t)}{h(\infty)},$$

где  $h(t)$  – переходная функция котла по выходному сигналу  $Y_{вых}(t)$  при подаче с топливом на вход кот-

ла импульса тепловой мощности  $Q_{вх}(t)$ ;  $h_n'(t)$  – нормированная переходная функция, совпадающая с переходной функцией  $h_n(t)$  в интервале  $[0; \tau]$  и равная единице при  $t > \tau$ ;  $h_n''(t - \tau)$  – нормированная переходная функция, совпадающая с переходной функцией  $h_n(t)$  в интервале  $[\tau; \infty)$ .

Измерение прогнозной оценки показателя экономичности процесса горения в предлагаемом устройстве 4 (рис. 2) отличается от известных способов тем, что используется динамически синхронизированное отклонение сигнала выработки тепла на выходе котла к количеству тепла, внесенного в топку. Существующие подходы к решению данной задачи основаны, например, на использовании среднестатистической оценки показателя экономичности процесса горения:

$$\varphi^{cp} = \frac{Y_{вых}^{cp}}{Q_{вх}^{cp}},$$

где  $Q_{вх}^{cp}$  – среднее количество тепловой мощности, вносимой в топку котла с топливом за период наблюдения;  $Y_{вых}^{cp}$  – значение сигнала, характеризующего среднее количество выходной тепловой мощности, выработанной за период наблюдения.

Данная оценка является инерционной и не может служить для целей оперативной оптимизации процесса горения в топке энергетического котла.

Использование для указанной цели оценки показателя экономичности процесса горения по текущим значениям сигналов

$$\varphi(t) = \frac{Y_{вых}(t)}{Q_{вх}(t)}$$

некорректно, так как импульс тепловой мощности на входе котла проходит на выход котла с динамическим запаздыванием. Поэтому оба сигнала  $Q_{вх}(t)$  и  $Y_{вых}(t)$  являются динамически не синхронизированными.

Предлагается корректное измерение показателя экономичности процесса горения, основанное на динамической синхронизации сигналов процессов подачи тепловой мощности с топливом на вход котла и выработки тепловой мощности на выходе котла [4] в соответствии со схемой устройства на рис. 2:

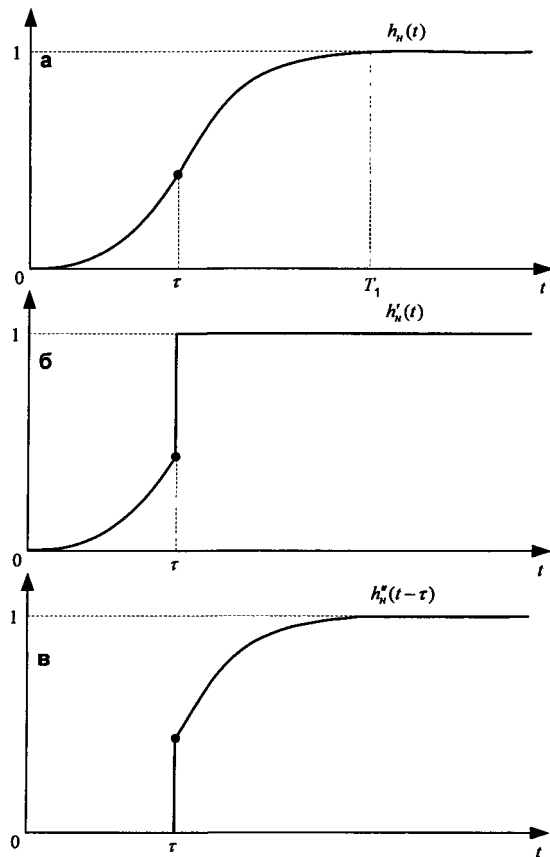
$$\varphi^{np}(t) = \frac{Y_{вых}^{\Delta(+\tau)}(t)}{Q_{вх}^{\Delta(-\tau)}(t)}.$$

При этом величина тактового сдвига  $\tau$  выбирается исходя из условий обеспечения требуемой скорости сходимости процесса поиска оптимального соотношения топливо-воздух и заданной точности прогноза.

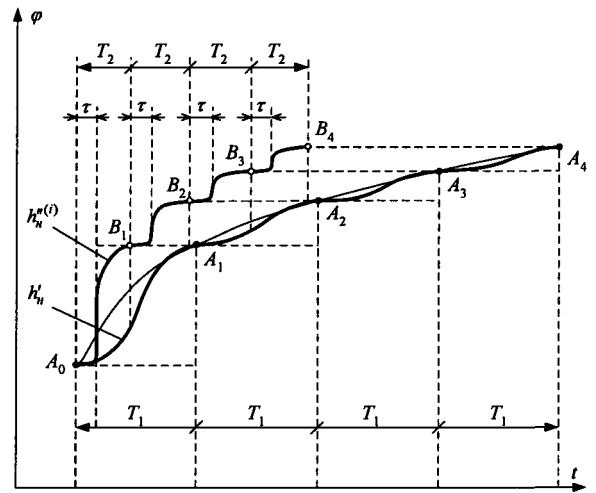
## 2. Результаты расчетов

Сравнительные временные характеристики поиска оптимального значения КПД, получаемые в соответствии с предлагаемым способом и способом, изложенным в [3], приведены на рис. 4.

Здесь представлены траектории выхода экстремального регулятора в область максимума показателя экономичности процесса горения:  $A_0-A_1-A_2-A_3-A_4$ ... для способа, изложенного в [3];  $A_0-B_1-B_2-B_3-B_4$ ... для предлагаемого способа. Шаги поиска экстремального регулятора равны интервалу времени  $T_1$  переходного процесса  $h_n(t)$  (см. рис. 3). Шаги поиска предлагаемого экстремального регулятора состоят из такта задержки  $\tau$ , переходный процесс в котором соответствует переходной функции  $h'(t)$ , и интервалу времени  $T_{пр}$  переходного процесса, соответствующего переходной функции  $h_n^{(i)}(t)$  обратного динамического оператора  $[W''(p)]^{-1}$ . Так как обратный динамический оператор  $[W''(p)]^{-1}$  дает прогнозную оценку показателя экономичности процесса горения, суммарный шаг поиска  $T_2$  по заявленному способу будет меньше интервала времени  $T_1$ :  $T_2 < T_1$ . В итоге быстродействие системы экстремального регулирования по заявленному способу будет выше. Эксперименты с котлом типа ТП-200-1, показали, что при величине шага  $T_1 = 2$  мин величина шага  $T_2$  соответствовала 0,8 мин.



**Рис. 3. Типовые переходные функции**



**Рис. 4. Сравнительные временные характеристики поиска оптимального значения КПД**

**Заключение**

1. Для повышения эффективности процессов горения в топках энергетических котлов, работающих в резко выраженных динамических режимах, целесообразно использовать системы автоматической оптимизации по прямым показателям экономичности.
2. Использование в качестве критерия оптимизации прямых показателей экономичности, вычисляемых на основе статистических оценок, приводит к повышенной инерционности системы автоматического регулирования. Для решения быстродействия системы автоматической оптимизации целесообразно использовать прогнозные оценки показателей.
3. В работе предложена прогнозная оценка показателей экономичности, основанная на динамической синхронизации.

**Литература**

1. Плетнев, Г. П. Автоматизированное управление объектами тепловых электростанций / Г. П. Плетнев. -М.: Энергоиздат, 1981. -368 с.
2. А. с. 735869 СССР. Способ автоматической оптимизации процесса горения в котле / В. Ю. Вадов, Ю. С. Денисов. - Оpubл. 1980, Бюл. №19.
3. А. с. 1064078 А СССР. Способ автоматической оптимизации процесса горения в топке барабанного парового котла/Г. П. Плетнев, А. Н. Лесничук, В. С. Мухин — Оpubл. 1983, Бюл. № 48.
4. Казаринов, Л. С. Оперативное управление технологическими процессами с прогнозом показателей энергетической эффективности / Л. С. Казаринов, Д. А. Шнайдер // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». — 2008. — Вып. 8, №17(117). -С. 9-12.

Поступила в редакцию 28 апреля 2008 г.