

УДК 622.532:004.4

А.Е.Медведев, К.П. Волыков

АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ РЕЖИМА РАБОТЫ ВОДОГРЕЙНОГО КОТЛА СО СЛОЕВОЙ УГОЛЬНОЙ ТОПКОЙ

Водогрейные котлы являются важнейшими элементами в системах отопления и горячего водоснабжения. Эти котлы могут работать на различном виде топлива – газе, мазуте, угольной пыли и кусковом угле. В связи с постоянно растущими ценами на газ и мазут актуальна замена этих дорогих энергоносителей более дешевым угольным топливом, особенно для Кузбасса, являющегося одним из крупнейших поставщиков угля в России.

Однако большинство водогрейных котлов, работающих на кусковом угле в настоящее время, оснащены аппаратными средствами контроля, управления и регулирования. Для улучшения показателей эффективности их работы, экономии расхода топлива и электроэнергии, повышения надежности функционирования, снижения вредных выбросов в окружающую среду необходима

модернизация устаревших систем управления с использованием современных программируемых микропроцессорных средств автоматизации, а также разработка более совершенных способов автоматического управления режимными параметрами. В первую очередь это требуется для водогрейных котлов со слоевыми угольными топками [1]. Решению данной задачи и посвящается данная работа.

Водогрейный котел с подвижной колосниковой решеткой в топке, работающей на кусковом угле, как объект автоматического управления режимными параметрами, может быть представлен схемой, показанной на рис. 1. На схеме приняты следующие обозначения переменных и элементов котла:

F_D , F_B , F_y , F_{OB} – расход, соответственно,

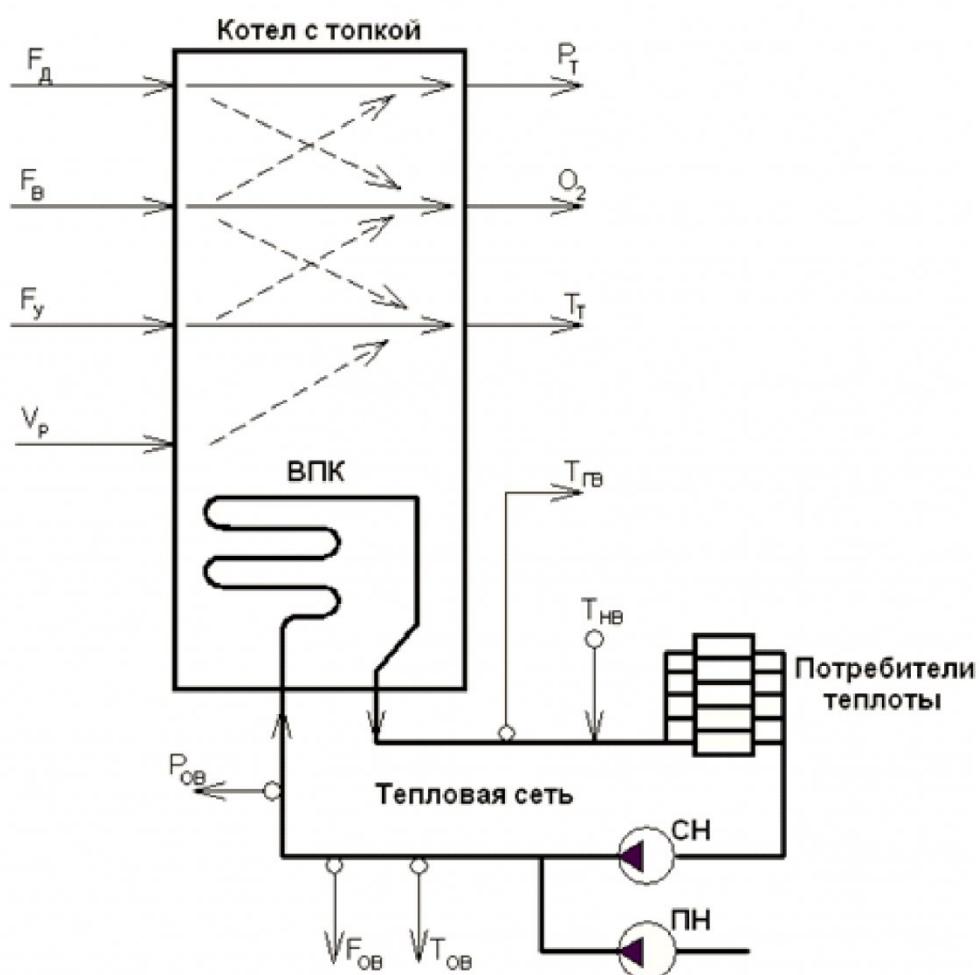


Рис. 1. Схема взаимосвязи между входными и выходными величинами в водогрейном кotle

дымовых газов, воздуха, подаваемого в топку, угля, обратной воды в тепловой сети;

P_T, P_{OB} – разряжение в топке котла, давление обратной воды на входе в котел;

$T_T, T_{GB}, T_{OB}, T_{HB}$ – температура, соответственно, в топке котла, горячей воды на выходе из котла и обратной воды на его входе, наружного воздуха;

O_2 – объемное (в %) содержание кислорода в отходящих дымовых газах;

V_p – скорость движения колосниковой решетки, на которой происходит сжигание слоя угля;

ВПК – водонагревающая поверхность котла;

СН, ПН – насосы, соответственно, сетевой и подпитывающий.

Внутри водогрейного котла сплошными линиями показаны основные, а пунктирными – дополнительные связи между входными и выходными величинами. Следовательно, котел, как объект управления, является сложной динамической системой. Однако явно выраженная направленность отдельных участков по основным каналам регулирующих воздействий, таким как каналы: «Расход F_D – разряжение P_T », «Расход F_B – содержание O_2 », «Расход F_y – температура T_T », позволяет осуществить стабилизацию регулируемых величин с помощью автономных контуров регулиро-

вания с автоматической коррекцией их заданий с учетом дополнительных взаимосвязей.

Возможные варианты автоматического управления подачей угля в топку водогрейного котла, полученные на основе анализа способов и схем регулирования подачи топлива для паровых котлов [2], представлены на рис.2., на котором приняты следующие обозначения:

ВЗТ – вычислитель заданной тепловой нагрузки котла;

PP_Y, PT_T, PT_{GB}, PQ – автоматические регуляторы, соответственно, расхода угля, температуры в топке, температуры горячей воды и тепловой нагрузки котла;

ПУ – питатель угля (дозирующее устройство с механическим забрасывателем);

ДQ – датчик тепловой нагрузки котла;

Гузад, Тгзад, Тгвзад – заданные значения (уставки регуляторов), соответственно, расхода угля, температуры в топке, температуры горячей воды, формируемые оператором или верхним уровнем управления, например главным регулятором ГР;

$U_{Py}, U_{PT}, U_{GRB}, U_{PQ}$ – выходные сигналы соответствующих регуляторов;

$Q, Q_{изм}, Q_{зад}$ – тепловая нагрузка котла, соответственно фактическая, измеренная и заданная.

Вычислитель задания ВЗТ и датчик тепловой

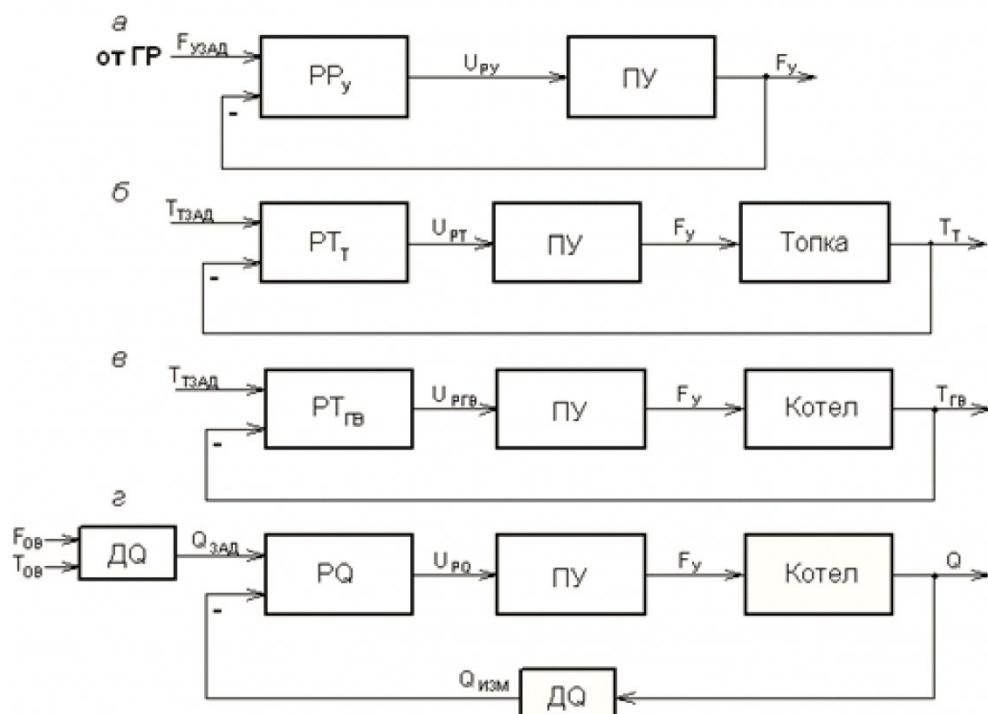


Рис. 2. Способы автоматического управления подачей угля в топку водогрейного котла на принципе стабилизации: а – расхода угля; б – температуры в топке; в – температуры горячей воды на выходе котла; г – тепловой нагрузки котла (теплопроизводительности)

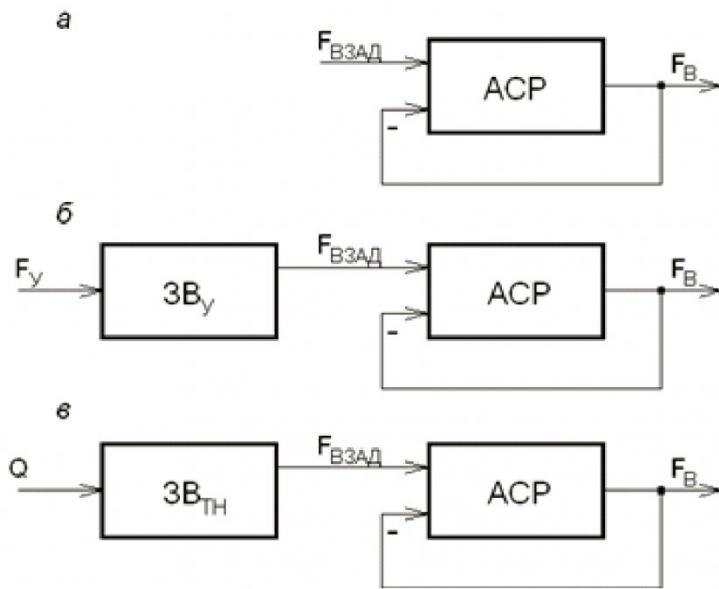


Рис. 3. Способы автоматического управления подачей воздуха в топку водогрейного котла на принципе стабилизации: а – расхода воздуха на заданном уровне; б, в – соотношения параметров, соответственно «Расход угля – расход воздуха», «Тепловая нагрузка котла – расход воздуха»

нагрузки котла ΔQ формируют соответствующие сигналы по выражениям:

$$\left. \begin{aligned} Q_{\text{ЗАД}} &= c \cdot F_{\text{ОВ}} (T_{\text{ГВ}}^{\text{ЗАД}} - T_{\text{ОВ}}) \\ Q_{\text{ИЗМ}} &= c \cdot F_{\text{ОВ}} (T_{\text{ГВ}} - T_{\text{ОВ}}), \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где c – удельная теплоемкость воды.

Сравнивая способы автоматического управления подачей угля в топку, представленные на рис. 2, можно отметить следующее.

- Вариант управления по принципу $F_Y = F_{\text{УЗАД}} = \text{const}$ характеризуется простой реализацией, малыми значениями инерционности и запаздывания объекта (питателя). Определенную трудность представляет непрерывное прямое измерение расхода кускового угля из-за отсутствия надежных датчиков. Задание $F_{\text{УЗАД}}$ может быть обеспечено только главным регулятором тепловой нагрузки котла.
- Варианты управления по температуре в топке $T_t = T_{\text{TЗАД}} = \text{const}$ и по температуре горячей воды $T_{\text{ГВ}} = T_{\text{ГВЗАД}} = \text{const}$ работают с тепловыми объектами (топка, котел), имеющими большие значения показателей инерционности и запаздывания, что потребует существенного усложнения регуляторов для обеспечения требуемого качества регулирования. Однако формирование задания может быть обеспечено вручную при установке базового режима работы котла, так как, в частности, температура горячей воды является целевым параметром.
- Вариант управления по тепловой нагрузке котла является достаточно сложным, так как требуются специальные вычислители $Q_{\text{ЗАД}}$ и $Q_{\text{ИЗМ}}$

. При этом динамические свойства объекта являются такими же невысокими, как и варианте управления по температуре.

Определенный практический интерес представляют объединение вариантов «б» и «в» (см. рис.2.) в каскадную схему регулирования, в которой контур «б» встраивается в контур «в». Такая структура позволяет существенно повысить динамические показатели качества регулирования.

Возможные варианты автоматического управления подачей воздуха в топку котла представлены на рис. 3, на котором приняты следующие обозначения:

ACP – автоматическая система регулирования производительности дутьевого вентилятора, включающая в себя регулятор производительности, частотно-регулируемый электропривод вентилятора, воздуховод и датчик производительности;

$3B_Y$, $3B_{\text{TH}}$ – задатчики расхода воздуха (производительности дутьевого вентилятора), соответственно, в функции расхода угля и в функции тепловой нагрузки котла;

F_B , $F_{\text{ВЗАД}}$ – фактический и заданный расход воздуха.

Рассматриваемые способы управления подачей воздуха в качестве базового элемента содержит АСР и различаются лишь принципом формирования задания. В первом варианте заданный расход воздуха определяется либо оператором при установке базового режима работы котла, либо верхним уровнем управления котельной установкой. Во втором и третьем вариантах управления заданный расход воздуха формируется специальными задатчиками в функции расхода угля или тепловой нагрузки котла.

Основные показатели эффективности процесса горения (полнота сгорания топлива, тепловые потери с уходящими газами, затраты электроэнергии на дутье и тягу, содержание вредных выбросов в атмосферу) существенно зависят от способа управления подачей воздуха в топку. Важнейшей характеристикой качества сжигания топлива является коэффициент α избытка воздуха в топке котла.

Примерное значение этого коэффициента для случая полного сгорания топлива можно определить по так называемой «кислородной» формуле:

$$\alpha = \frac{21}{21 - O_2}, \quad (2)$$

где O_2 – процентное содержание кислорода в продуктах горения; 21 – процентное содержание кислорода в единице объема воздуха.

Из выражения (2) можно записать уравнение для определения оптимального содержания кисло-

рода в дымовых газах:

$$O_2^{OPT} = \frac{21(\alpha_{OPT} - 1)}{\alpha_{OPT}}, \quad (3)$$

где α_{OPT} – оптимальное значение коэффициента избытка воздуха в топке, соответствующее минимальным потерям теплоты и затратам электроэнергии на дутье и тягу. Значение α_{OPT} определяется экспериментальным способом и составляет (1.2 ÷ 1.3).

Полагаем, что наиболее эффективным способом управления подачей воздуха в топку является первый вариант (рис. 3, а), дополненный блоками коррекции уставки по кислороду и расходу угля.

На основании ранее изложенных положений, а также учитывая необходимость автоматической стабилизации разряжения в топке и скорости движения колосниковой решетки, предлагается, на наш взгляд, наиболее рациональная структура САР режима работы водогрейного котла со слоевой

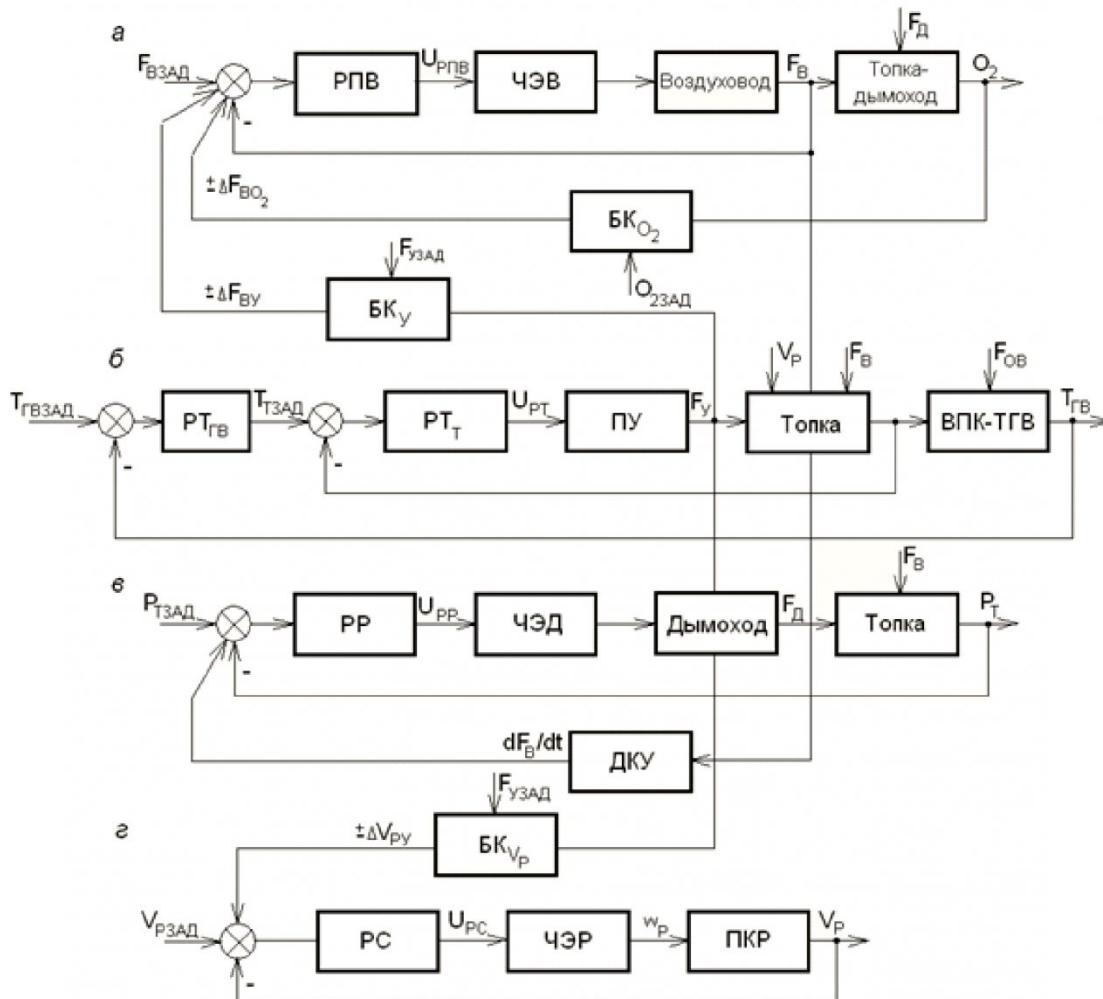


Рис. 4. Система автоматического регулирования режима работы водогрейного котла со слоевой угольной топкой: а – подсистема регулирования подачи воздуха с автоматической коррекцией задания по кислороду и расходу угля; б – подсистема регулирования температуры горячей воды на выходе котла; в – подсистема регулирования разряжения в топке котла; г – подсистема регулирования скорости подвижной колосниковой решетки

угольной топкой, схема которой представлена на рис. 4, где использованы следующие дополнительные обозначения:

РПВ, РР, РС – автоматические регуляторы, соответственно, производительности дутьевого вентилятора, разряжения в топке, скорости колосниковой решетки;

БК_{O_2} , БК_y , БК_{V_p} – блоки автоматической коррекции, соответственно, задания расхода воздуха по кислороду и расходу угля, задания скорости колосниковой решетки;

ЧЭВ, ЧЭД, ЧЭР – частотно-регулируемые электроприводы, соответственно, дутьевого вентилятора, дымососа, колосниковой решетки;

ДКУ – динамическое корректирующее устройство (дифференциальное звено), необходимое для предупреждения нарушения баланса $F_B=F_D$ и увеличения быстродействия регулятора (РР), возникающего при изменении расхода воздуха в переходных режимах;

ПКР – подвижная колосниковая решетка;

ΔF_{BO_2} , ΔF_{By} , ΔV_{Py} – сигналы коррекции, со-

ответственно, задания расхода воздуха по кислороду и расходу угля, задания скорости решетки по расходу угля;

$U_{\text{РПВ}}$, $U_{\text{РР}}$, $U_{\text{РС}}$ – выходные сигналы соответствующих регуляторов;

$P_{\text{зад}}$, $V_{\text{зад}}$ – заданные значения разряжения в топке и скорости решетки.

Предлагаемая САР режима работы водогрейного котла со слоевой угольной топкой содержит четыре взаимосвязанные подсистемы автоматического регулирования технологических параметров, обеспечивающие высокие экономические, экологические и динамические показатели процесса выработки котлом требуемого количества теплоты. Настройка системы управления сводится к заданию уставок регуляторам и блокам коррекции для базового режима работы котла. При изменении тепловой нагрузки блоки коррекции автоматически изменяют уставки, поддерживая тем самым эффективный режим работы котла.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Медведев А.Е. Микропроцессорная система автоматизации водогрейного котлоагрегата для работы на угле // Вестн. Кузбасского гос. тех. унив., 2008, №3. С. 60-63.
2. Плетнев Г.П. Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике. – М.: Издательство МЭИ, 2005. – 352 с.

□ Авторы статьи:

Медведев
Алексей Елисеевич
– канд. техн. наук, доц. каф. электропривода и автоматизация КузГТУ, тел.: 8(384-2)58-23-29

Волыков
Кирилл Павлович
– студент группы ЭА-051 КузГТУ,
тел.: 8(384-2)28-44-62

УДК 532.72:532.584:538.4+621.928

В.А. Старовойтов

МАГНИТНОЕ РАЗДЕЛЕНИЕ ЖИДКОСТНЫХ ТОНКОДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ

Ниже проводится аналитическое исследование процессов магнитной сепарации в бинарной системе парамагнитный дисперсный материал – вязкая жидкость в псевдогомогенном приближении, которое позволяет вычислить траектории частиц и распределение концентраций в потоке.

Пренебрегая инерцией частиц [1], распределение объемной концентрации \tilde{c} дисперсных частиц можно описать уравнением

$$\frac{\partial \tilde{c}}{\partial t} + \nabla \tilde{j} = 0, \quad (1)$$

где \tilde{j} – поток вещества дисперсного материала.

Выражение для магнитодиффузионного потока можно получить методами неравновесной термодинамики

$$\begin{aligned} \tilde{j} &= \tilde{c} \tilde{v} - D \nabla \tilde{c} + D \frac{V(\chi - \chi_c) \mu_0}{kT} \tilde{c} \nabla \frac{H^2}{2} =, \quad (2) \\ &= \tilde{c} \tilde{v} + \tilde{j}_0 + \tilde{j}_M \end{aligned}$$

где $\tilde{c} \tilde{v}$; \tilde{j}_0 ; \tilde{j}_M – потоки, обусловленные соответственно конвекцией, диффузией и неоднородность магнитного поля; χ и χ_c – восприимчивости парамагнитного компонента и суспензии на единицу объема; V – объем парамагнитной