

УДК 65.011.56

**П. Волкова, В.В. Дмитриева**

## **РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ КОТЕЛЬНОГО АГРЕГАТА**

*Рассмотрена комплексная система автоматизации котельного агрегата. Для ее создания отслеживаются наиболее важные величины и выявляются взаимосвязи между ними. Полученные зависимости между характеристики позволяют построить общую схему регулирования.*

*Ключевые слова: котельный агрегат, комплексная система регулирования котельного агрегата, автоматизация котельной установки, единая схема регулирования.*

---

**О**сновным энергоемким агрегатом, от которого зависит экономичная работа тепловой станции, является котельный агрегат. Поэтому особое значение придается системе регулирования теплового процесса котельного агрегата.

Источником энергии для котельных установок различного назначения на промышленных предприятиях являются природные и искусственные топлива, в твердом, жидким и газообразном состояниях.

Внедрение систем автоматизированного управления паровыми и водогрейными котлами, построенных на основе программируемых контроллеров, позволяет автоматизировать процесс производства тепловой энергии в котлах и значительно упростить контроль и управление этим процессом. Применение указанной системы повышает эффективность функционирования котлоагрегата за счет снижения потребления энергоресурсов, рационального сжигания топлива, использования технологического оборудования, оперативного управления оборудованием и технологическим процессом, позволяет снизить влияние человеческого фактора в производственном процессе и вероятность возникновения аварийных режимов функционирования котла, повысить экологические характеристики котельной и культуру производственного процесса. Благодаря программному управлению система автоматически отслеживает все параметры текущих процессов, реализуемых водогрейными и паровыми котлами, и управляет технологическим оборудованием, обеспечивая нормальное и безаварийное функционирование котельной установки. Система контролирует исправность оборудования и при возникновении поломок и аварийных ситуаций сигнализирует об этом обслуживающему персоналу.

В настоящее время все параметры котельного агрегата регулируются автономно, в контурах, не зависящих друг от друга. Это приводит к тому, что каждый контур реагирует на внешние возмущения изменением регулируемой величины. В комплексной системе регулирования изменения внешних условий отрабатываются единожды, не вызывая скачкообразных изменений всех параметров. Также единая схема регулирования сокращает сроки монтажа и на-



**Рис. 1. Задачи комплексной автоматизации котла**

ладки, что является немаловажным фактором при автоматизации объектов энергетики.

Задачей комплексной автоматизации котельной установки является выявление регулируемых величин и обнаружение связей между ними, а также определение дестабилизирующих величин, влияющих на регулируемые параметры.

Система автоматизации котельного агрегата включает в себя следующие регулируемые параметры:

- температура пара;
- уровень воды в барабане;
- избыток воздуха в топке;
- расход топлива;
- разрежение в верхней части топки.

**1. Регулятор температуры пара.** На выходе из котлоагрегата пар должен иметь определенную температуру. При повышении температуры пара срабатывают, так называемые, впрыски, которые впрыскивают в трубопровод конденсат, тем самым понижая температуру пара.

**2. Регулятор уровня воды в барабане.** Поддержание уровня воды в барабане котла в заданных пределах означает соответствие расхода питательной воды, поступающей в барабан, расходу пара (нагрузке).

К регулированию предъявляются особо высокие требования, так как упуск уровня или перепитка котла могут привести к серьёзным авариям: пережогу экранных труб или забросу воды в магистральный паропровод.

На колебание уровня в барабане котла оказывает влияние не только изменение нагрузки, но и явление «набухания» воды — изменение объема, занимаемого паром в пароводяной смеси, проходящей через циркуляционный контур котла. «Набухание» происходит при резких изменениях давления в барабане (брос или нарастание нагрузки) либо при колебаниях тепловыделений в топке, связанных с изменениями подачи топлива или воздуха. Например, при увеличении расхода пара уровень сначала за счет «набухания» начнет повышаться и только через некоторое время понизится.

Значение уровня в барабане котла с датчика уровня поступает на контроллер, где оно сравнивается с заданным значением и где формируется закон

управления. Управляющий сигнал от контроллера поступает на исполнительное устройство, расположенное на трубопроводе.

Если в статическом режиме положение уровня воды в барабане котла определяется состоянием материального баланса, то в динамике на положение уровня влияет большое количество возмущений. Основными из них являются изменения:

- подачи воды в котел;
- паросъема котла при изменении нагрузки потребителя;
- паропроизводительности при изменении нагрузки топки;
- температуры воды, подаваемой в котел.

**3. Регулятор подачи воздуха.** Процесс сжигания топлива должен осуществляться с максимальной экономичностью. Топливо, поступающее в топку должно сгорать по возможности полностью, а потери выделившегося тепла при его передаче поверхностям нагрева должны быть минимальными. Для экономичного сжигания топлива необходимо, чтобы количество воздуха подаваемого в топку котла, строго соответствовало количеству тепла, поступающего с топливом, причем коэффициент избытка воздуха —  $\alpha$ , определяемый содержанием  $O_2$  в продуктах сгорания, должен поддерживаться в соответствии с режимной картой котлоагрегата. Достаточно точное поддержание коэффициента избытка воздуха  $\alpha$  затруднительно, т.к. газоанализаторы, используемые в настоящее время для анализа уходящих газов, являются инерционными и, следовательно, не позволяют получить желаемое качество регулирования. Поэтому подача воздуха в топку должна регулироваться по косвенным показателям, более или менее точно учитывающим количество тепла, вносимое в топку котла. Если воздуха будет подаваться больше, чем его необходимо для полного сгорания топлива, то на нагрев этого воздуха в топке расходуется дополнительное топливо, что снижает КПД котла. При нехватке воздуха в топке будет происходить неполное сгорание топлива, что также снижает КПД.

**4. Регулятор топлива.** При работе котлоагрегата основным возмущением является изменение потребления пара. При сбросе нагрузки, например, давление в барабане растет. Давление пара поддерживается в пределах допустимых отклонений, что обуславливается требованиями заданного режима работы. Давление пара отклоняется от расчетного значения во всех случаях небаланса между количествами потребляемого пара и вырабатываемого и регулируется посредством изменения тепловыделения в топке, т.е. главным образом изменением подачи топлива.

**5. Регулятор разрежения.** Для нормального протекания топочного режима в верхней части топки котла поддерживается разрежение. Создание устойчивого разрежения в топке должно осуществляться автоматически в пределах от -20 до -30 Па (от -2 до -3 кгс/см<sup>2</sup>).

В противном случае наблюдается выбивание пламени из топки при уменьшении разрежения или присосы холодного воздуха через кладку топки при увеличении разрежения.

При отклонении разрежения от нормы подается сигнал на контроллер, который воздействует на направляющие аппараты дымососов.

Значение разрежения в верхней части топки с датчика разрежения поступает на контроллер, где оно сравнивается с заданным значением и где формируется закон управления. Управляющий сигнал от контроллера поступает на исполнительное устройство, расположенное на трубопроводе дымовых газов.

Для обеспечения сбора значений параметров технологических процессов котельный агрегат и его технологическое оборудование должны быть оснащены датчиками, а для управления параметрами — исполнительными устройствами. Для осуществления анализа значений контролируемых параметров, формирования управляющих воздействий необходимо вычислительное устройство — автоматический регулятор, обеспечивающий сравнение полученных значений параметров со значениями параметров нормального течения процесса — уставок.

На основе результатов сравнения регулятор обеспечивает формирование управляющих воздействий на исполнительные устройства с целью компенсации отклонений и восстановления значений параметров, соответствующих нормальному течению процесса.

В системе используются датчики:

- уровня в барабане;
- расхода топлива;
- расхода воздуха;
- расхода конденсата;
- расхода пара;
- температуры пара;
- температуры питательной воды;
- давления воздуха в топке;
- разрежения в топке.

Исполнительными механизмами в контурах регулирования являются регулирующие клапаны, приводимые в действие механизмами электрическими односторонними (МЭО).

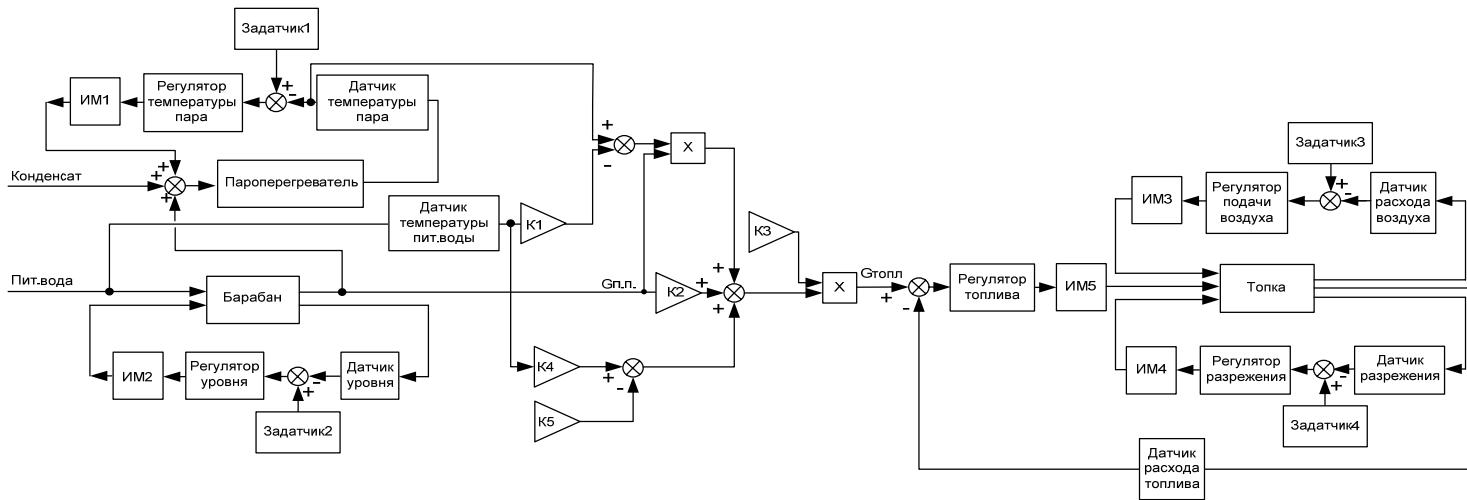
Чтобы объединить отдельные модели регулируемых величин необходимо обнаружить связи между ними.

Заметим, что питательная вода проходит последовательно барабан и пароперегреватель, т.е. выходной сигнал барабана будет являться входным для пароперегревателя.

Контуры стабилизации разрежения и расходов топлива и воздуха связаны единым объектом регулирования — топкой, в которой происходит процесс горения природного газа под определенным разрежением с необходимым для этого количеством воздуха.

Расход топлива (задание для регулятора топлива) зависит от ряда параметров, в том числе и от температуры питательной воды, подаваемой на котел. Для определения вида связи воспользуемся уравнением теплового баланса.

Тепловой баланс котельного агрегата устанавливает равенство между поступающим в котел количеством теплоты и его расходом:



**Рис. 2. Структурная схема комплексной системы автоматизации котельной установки**

$K_1 (c_{\text{пара}})$  — удельная теплоемкость пара ( $1,97 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$ );  $K_2 (I')$  — удельная теплота парообразования ( $2256 \text{ кДж}/\text{кг}$ );  $K_3 (1/Q_p^h)$  — величина, обратная удельной теплоте сгорания топлива (для газа  $1/33500 \text{ м}^3/\text{кДж}$ );  $K_4 (c_{\text{воды}})$  — удельная теплоемкость воды ( $4,2 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$ );  $K_5 (T_{\text{пит.воды},ex})$  — температура питательной воды на входе в водяной экономайзер ( $\approx 250^\circ \text{C}$ ); ИМ — исполнительный механизм.

$$G \cdot Q_p^u = r \cdot G_{napa} + c_{napa} \cdot G_{napa} (T_{num.воды} - T_{nn}) + \\ + c_{воды} \cdot G_{napa} (T_{num.воды} - T_{num.воды.вх}), \quad (1)$$

где  $G$  — расход топлива ( $\text{м}^3/\text{ч}$ );  $Q_p^u$  — удельная теплота сгорания топлива (для газа  $1/33500 \text{ м}^3/\text{кДж}$ );  $r$  — удельная теплота парообразования (2256 кДж/кг);  $G_{napa}$  — расход пара (т/ч);  $c_{napa}$  — удельная теплоемкость пара ( $1,97 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{°К})$ );  $c_{воды}$  — удельная теплоемкость пара ( $4,2 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{°К})$ );  $T_{num.воды}$  — температура питательной воды (на входе в барабан);  $T_{nn}$  — температура перегретого пара;  $T_{num.воды.вх}$  — температура питательной воды на входе в водяной экономайзер ( $\approx 250^\circ$ ).

Первое слагаемое описывает контур циркуляции пара, второе — пароперегреватель, а третье — водяной экономайзер.

Выразим расход топлива:

$$G = \frac{r \cdot G_{napa} + c_{napa} \cdot G_{napa} (T_{num.воды} - T_{nn}) + c_{воды} \cdot G_{napa} (T_{num.воды} - T_{num.воды.вх})}{Q_p^u}$$

Исходя из этого, схема комплексной системы автоматизации котельной установки выглядит следующим образом (см. рисунок).

Разрабатываемая система позволит перейти от автономных подсистем регулирования основных величин, к единой схеме автоматизации, позволяющей отрабатывать внешние возмущения единожды, не вызывая скачкообразных изменений всех параметров.

Схему можно дополнить другими регуляторами котельной установки, не являющимися основными, но обеспечивающими безопасную эксплуатацию котла: регулятор солесодержания котловой воды, регулятор давления газа (для котлов на природном газе), регулятор мощности молотковой мельницы (для котлов на угольном топливе).

---

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Паршин А.А., Митор В.В., Безгрешников А.Н. и др. Тепловые схемы котлов.
2. Шилов А. Модернизация котлов путем замены системы автоматики.
3. Поршаков Б.П., Романов Б.А. Основы термодинамики и теплотехники.
4. Резников М.И., Липов Ю.М. Паровые котлы тепловых электростанций. ГИАС

---

## КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

---

*Волкова Полина* – магистр кафедры Автоматика и управления в технических системах.  
povo\_neru@mail.ru

*Дмитриева Валерия Валерьевна* – кандидат технических наук, доцент кафедры Автоматика и управление в технических системах,  
dm-valeriya@yandex.ru

Московский государственный горный университет,  
Moscow State Mining University, Russia, [ud@msmu.ru](mailto:ud@msmu.ru)