

## СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ КОТЛОАГРЕГАТОВ

*В статье приведена функциональная схема с описанием работы системы автоматического регулирования прямоточных котлоагрегатов, реализующих функцию первичного регулирования частоты тока и мощности энергоблока. Рассматриваются вопросы построения функциональных блоков.*

**Ключевые слова:** котлоагрегат, система автоматического регулирования, регулятор, первичное регулирование частоты и мощности.

*V.N. Vetoshkin, V.A. Garmashov,  
L.I. Zhuyko, D.V. Shchepanskiy*

## THE AUTOMAT ICCONTROL SYSTEM OF BOILER UNITS

*The function scheme with the description of the automatic controlsystem work of direct-flow boiler units realizing the primary regulation function of the current frequency and energy-unit power is given in the article. The issues of the functional block designing are considered.*

**Key words:** boiler unit, system of automatic control, regulator, primary regulation of frequency and power.

---

**Введение.** Обеспечение энергопотребителей, в том числе объектов агропромышленного комплекса, электроэнергией высокого качества, соответствующего европейским стандартам, является одной из важнейших задач, стоящих перед российской энергетикой.

Утвержденные электроэнергетическим советом СНГ (протокол №32 от 12.11.2007 г.) «Правила и рекомендации по регулированию частоты и перетоков» устанавливают жесткие нормы и высокие требования к качеству регулирования частоты и перетоков активной мощности энергосистемами, которые соответствуют действующим международным стандартам *ENSO-E (European Network of Transmission System for Electricity – европейская сеть системных операторов передачи электроэнергии)*, в частности, нормальный уровень частоты  $50,00 \pm 0,05$  Гц; допустимый уровень частоты  $50,00 \pm 0,2$  Гц; время восстановления нормального уровня частоты не более 15 мин. Обеспечение таких показателей требует обязательного участия электрических станций в первичном регулировании частоты тока в сети, что является одним из основных условий их подключения к ЕЭС России. Указанные выше условия потребовали внедрение на тепловых электрических станциях новых систем автоматического регулирования (САР) котлоагрегатов с использованием современных средств автоматики и вычислительной техники.

**Цель исследований.** Разработка современной эффективной системы регулирования технологическими процессами в прямоточных котлоагрегатах.

**Объекты и методы исследований.** В настоящей работе рассматривается система САР котлоагрегатов с прямоточными котлами ПК-38, разработанная при участии авторов и внедренная в промышленную эксплуатацию на пяти энергоблоках Красноярской ГРЭС-2.

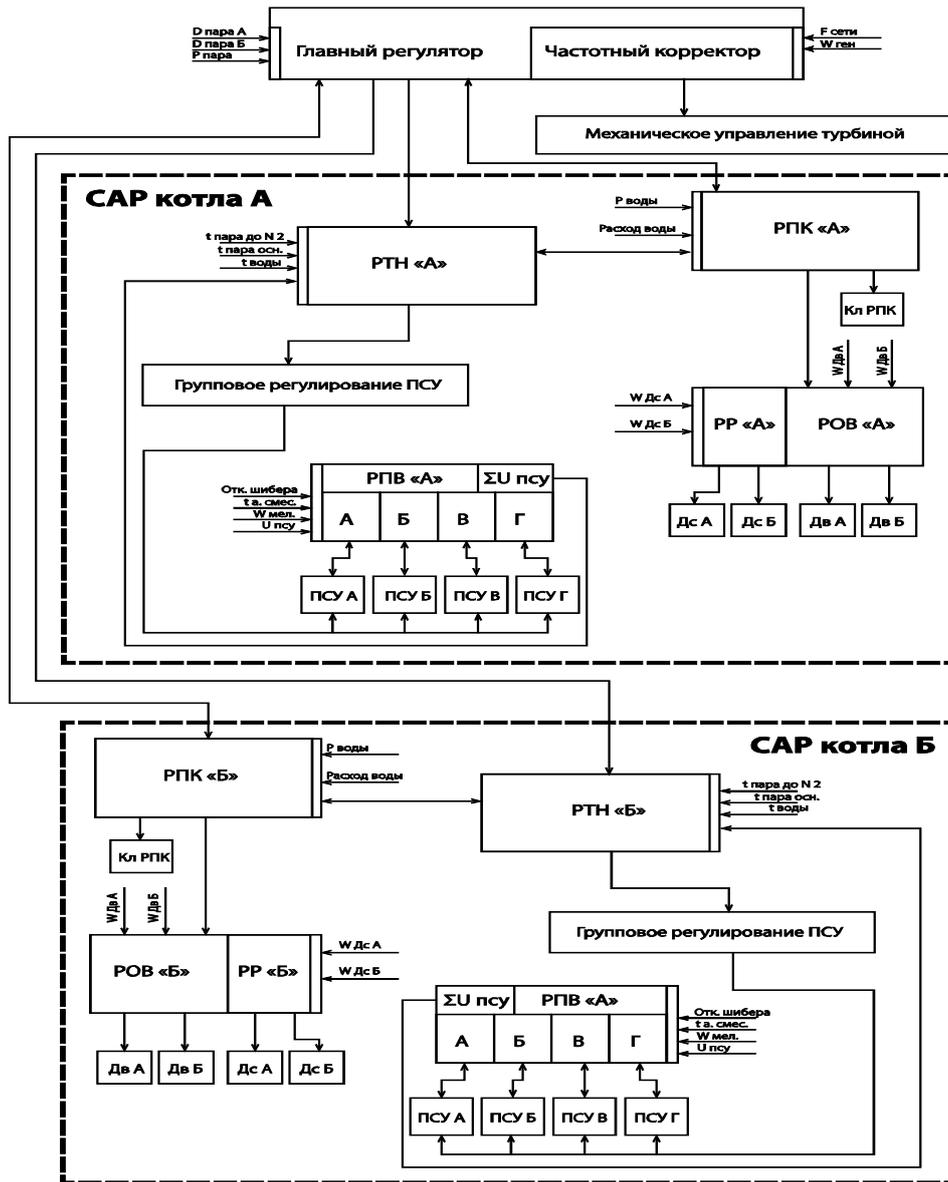
Принципы управления котлоагрегатами хорошо известны и в достаточной мере освещены в литературе [1]. Теория и практика регулирования энергоблоков показывает, что система автоматического регулирования такими объектами должна строиться как многоконтурная с несколькими регулирующими воздействиями [2], для анализа которой возможно применение известных методов теории автоматического управления [3].

**Результаты исследований и их обсуждение.** Разработанная система САР котлоагрегатов обеспечивает их нормальную работу в постоянном и переменном регулируемом диапазоне нагрузок, а также участие энергоблока в первичном регулировании частоты электрического тока, за счет изменения мощности котлоагрегатов при уменьшении или увеличении частоты тока в ЕЭС России за пределы заданных установок стабильности.

САР представляет собой распределенную многопроцессорную систему с выраженными отдельными взаимосвязанными контурами управления узлами энергоблока. Выделяются следующие контуры автоматического регулирования: питания котла; тепловой нагрузки и процесса горения; температуры перегретого пара; подачи топлива; первичного регулирования частоты тока в сети ЕЭС России.

Функциональная схема САР приведена на рисунке. Каждый энергоблок имеет в своем составе два котла ПКЗ8, работающих на одну турбину (дубль-блок) и соответственно два комплекта регуляторов. Первый котел и относящиеся к нему блоки имеют обозначение «А», второй – «Б». Главный регулятор (ГР) один на два котла.

ГР предназначен для поддержания требуемого значения давления пара перед турбиной путем формирования корректирующего сигнала, подаваемого в схемы РПК и РТН котлов «А» и «Б» при внешних и внутренних возмущениях котлов и переходных процессах при изменении мощности турбины, возникающих по причине изменения частоты переменного тока в сети. На вход ГР поступают сигналы расхода пара каждого котла  $D_{\text{пара}}$ , давления пара  $P_{\text{пара}}$ , частоты тока в сети  $F_{\text{сети}}$  и мощности генератора  $W_{\text{ген}}$ .



Функциональная схема САР котлоагрегатов. Основные узлы: ПСУ – питатель сырого угля; РПК – регулятор питания котла; РТН – регулятор тепловой нагрузки; РОВ – регулятор общего воздуха; РР – регулятор разрежения; РПВ – регулятор первичного воздуха

ГР построен на двух регуляторах: регуляторе мощности и частотном корректоре. Регулятор мощности обеспечивает поддержание давления свежего пара перед турбиной, равного 130 ат. Частотный корректор работает в стерегущем режиме и включается в работу при отклонениях частоты сети, превышающих  $\pm 0,05$  Гц от значения 50 Гц. При этом изменение давления острого пара перед турбиной компенсируется воздействием на другие регуляторы САР котлоагрегатов, обеспечивая изменение активной мощности на 10 % номинальной ( $\pm 16$  МВт) и восстановление давления острого пара перед турбиной в течение 6 мин (при аварийных режимах совокупность систем автоматики котлоагрегатов позволяет поддерживать диапазон первичного регулирования величиной до 20 % номинальной мощности). Первые 5–6 % изменения мощности производятся в течение 20 с от момента получения сигнала изменения частоты. Таким образом, ГР, воздействуя на турбину и регуляторы (РПК, РТН, РОВ), производит компенсацию изменения частоты сети.

РТН получает данные о температуре парового тракта, загрузке топлива и расходе воды и выдаёт корректирующее воздействие в схему ПСУ. Основным параметром регулирования является температура перегретого пара  $t_{\text{пара.осн.}}$ , определяющая соответствие тепловыделения в топке заданной нагрузке котла. Данный параметр характеризуется инерционностью и большим запаздыванием. Поэтому для повышения качества регулирования используется дополнительный сигнал по скорости изменения температуры в промежуточной части парового тракта, что позволяет ускорить воздействие регулятора при возмущениях, вызванных изменением расхода и температуры питательной воды. Регулятор впрыска №2, входящий в состав РТН, обеспечивает окончательную доводку температуры перегретого пара на выходе из котла до требуемого уровня 545°C.

Каждый котел имеет в своем составе четыре мельницы (А, Б, В, Г), для каждой мельницы имеется свой регулятор первичного воздуха РПВ, аппаратно размещенный в одном контроллере. Подачей первичного воздуха на мельницы регулируется тонкость помола угольной пыли.

РПВ представляет собой одноконтурную систему регулирования с жесткой обратной связью по положению шиберов подачи первичного воздуха и поддерживает соотношение воздуха и угольной пыли с заданной неравномерностью в диапазоне температуры  $t_{\text{а.мес.}}$  пылегазовой смеси 60–70°C, а также тонину помола. В РПВ реализован пропорционально-интегральный закон регулирования.

Каждый РПВ получает данные о положении шиберов, температуре аэросмеси, мощности мельницы  $W_{\text{мел.}}$ , управляющем напряжении ПСУ ( $U_{\text{псу}}$ ). Сумма напряжений ПСУ котлоагрегата передается в РТН.

Регулятор питания котла РПК обеспечивает управление клапаном КлРПК и предназначен для поддержания заданного расхода питательной воды, подаваемой в котел. На вход РПК поступают сигналы о расходе и давлении воды, поступающей в котел, а также сигнал с ГР, назначение которого поддержание заданного номинального давления пара перед турбиной при переходных процессах в энергосистеме.

Регулятор общего воздуха РОВ и регулятор разряжения в топке РР размещены в одном контроллере и воздействуют на двигатели дымососов Дс и двигатели, нагнетающие воздух Дв, и регулируют баланс соотношения «топливо – воздух»,  $W_{\text{дс}}$  и  $W_{\text{дв}}$  – мощность двигателей соответственно дымососов и воздуховодов.

В качестве элементной базы используются устройства автоматики серии ADAM-5000 фирмы “Advan-tech”, выбор которых обусловлен высоким соотношением качества и цены. Все регуляторы САР реализованы на компактных IBM PC совместимых программируемых логических контроллерах ADAM-5510, выполненных на базе микропроцессора 80188 и работающих под управлением операционной системы ROM DOS. Прикладные программы для ADAM5510 написаны на языке высокого уровня Си. Программное обеспечение регуляторов разработано в программных пакетах ULTRALOGIK и GENI DAQ.

Для ввода-вывода дискретных сигналов используются универсальные модули дискретного ввода-вывода ADAM5050, для ввода и вывода аналоговых сигналов – соответственно быстродействующие модули аналогового ввода ADAM 5017H и модули вывода аналоговых сигналов ADAM5024. Для гальванической развязки по дискретным сигналам используются релейные интерфейсы фирмы FINDER, для гальванической развязки и нормализации аналоговых сигналов – преобразователи RS1706-1FD00 фирмы SIMENS. Аналоговые сигналы с датчиков основных контролируемых технологических параметров (давление острого пара, расход пара, температура пара в разных точках парового тракта, температура питающей воды, температура аэросмеси) поступают на контроллеры ADAM-5510 через универсальные измерители-регуляторы типа ИРТ5920, которые обеспечивают согласование с датчиками и вычисление значений контролируемых параметров по значениям сигналов.

Для передачи данных в информационную «СКАДА-систему» организована локальная сеть типа PLC net. Физически сеть организована по двухпроводному интерфейсу RS485. Контроллеры регуляторов соединены в многоточечную сеть «витой парой» и через преобразователь интерфейсов ADAM4520 по ин-

терфейсу RS232 подключены к панельному компьютеру с сенсорным экраном. Организация «человека-машинного» интерфейса осуществлена через пакет *GENI DAQ*. На способ автоматического регулирования технологическими процессами в прямоточных котлоагрегатах, реализованный в САР, получен патент (*RU 2278321 C1*, 01.12.2004).

По результатам контрольных испытаний энергоблока, оснащенного разработанной САР котлоагрегатов, уполномоченным представителем ЕЭС России – ОАО «Инженерный центр ЕЭС» «Фирма ОГРЭС» – выдано заключение о готовности энергоблока к участию в общем первичном регулировании частоты и высоком качестве регулирования. Время стабилизации мощности после внесения возмущения составляет 2–3 мин, что существенно меньше установленного отраслевым стандартом ЕЭС России допустимого значения 10 мин.

**Заключение.** Таким образом, система автоматического регулирования, построенная как распределённая многопроцессорная система с выраженными отдельными взаимосвязанными контурами управления отдельными узлами энергоблока, реализованная на базе средств автоматики *ADAM-5000* фирмы “*Advantech*”, позволяет обеспечить высокое качество регулирования технологическими процессами прямоточных котлоагрегатов.

### Литература

1. Плетнёв Г.П. Автоматическое управление объектами тепловых электростанций. – М.: Энергоиздат, 1981. – 368 с.
2. Биленко В.А. Теория и практика многосвязного регулирования энергоблоков // Теплоэнергетика. – 2010. – № 10. – С. 27–36.
3. Бесекиерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. – Изд. 4-е, перераб. и доп. – СПб.: Профессия, 2003. – 752 с.

