

Разработка и внедрение систем регулирования основных параметров котла в составе АСУ ТП энергоблока 500 МВт Рефтинской ГРЭС

Биленко В.А.¹, канд. техн. наук, Деркач Н.Н., Микушевич Э.Э., Никольский Д.Ю., инженеры

ЗАО «Интеравтоматика» — Рефтинская ГРЭС

Изложены результаты внедрения систем автоматического регулирования энергоблока 500 МВт с пылеугольным прямоточным котлом. Рассмотрены научно-технические решения, положенные в основу реализации систем, и особенности использованной аппаратуры АСУ ТП. Описаны структурные схемы систем, приведены графики промышленной эксплуатации.

В 1997 г. на энергоблоке № 10 мощностью 500 МВт Рефтинской ГРЭС в рамках модернизации существовавших средств контроля и управления была внедрена распределенная микропроцессорная АСУ ТП, разработанная ЗАО «Интеравтоматика» на базе аппаратуры Телерегт МЕ-ХР фирмы «Сименс» [1]. Информация о работах ЗАО «Интеравтоматика» по созданию современных АСУ ТП энергоблоков на базе Телерегт МЕ-ХР, а также российского аналога ТПТС51 производства ВНИИА имени Духова приведена в [2, 3].

Внедрение на мощном энергоблоке с прямоточным пылеугольным котлом, оснащенным схемой прямого вдувания пыли, модернизированной АСУ ТП позволило выйти на принципиально новый уровень автоматизации. Этот уровень характеризуется обеспечением работоспособности во всем диапазоне режимов практически всех автоматических регуляторов (свыше 150) и широким внедрением логических автоматов (более 80): пошаговых программ и отключаемых блокировок. Такая степень автоматизации дала возможность принципиально изменить характер действий оперативного персонала, сняв с него большую часть непосредственного управления исполнительными органами и оставив контроль за ходом автоматизированного процесса, коррекцию действия автоматических устройств и выполнение неотчетливых операций управления. В результате мощный энергоблок управляется только через

восемь операторских мониторов без использования ключей, кнопок, индивидуальных показывающих приборов, обзорных мнемосхем и табло сигнализации (оставлен лишь небольшой набор кнопок аварийной останова оборудования, но необходимость в них в процессе эксплуатации не возникла).

В данной статье рассмотрен один из существенных аспектов обеспечения достигнутого уровня автоматизации — ввод в эксплуатацию комплекса автоматических систем регулирования (АСР) основных параметров котла. Известно, что на большинстве энергоблоков 500 и 800 МВт с пылеугольными прямоточными котлами, оснащенными системами прямого вдувания пыли задача введения в постоянную эксплуатацию основных режимных регуляторов котла (топлива, воздуха, температурной коррекции) даже в режиме рабочих нагрузок до конца не решена. В рамках данного проекта указанные регуляторы после их внедрения постоянно находятся в эксплуатации во всем диапазоне режимов.

Основные решения по построению АСР котла и факторы, обеспечившие результативность их внедрения

Энергоблок № 10 был введен в эксплуатацию в 1980 г. Он включает в себя: котел П-57-111 ЗиО производительностью 1 650 т/ч на закритические параметры перегретого пара 25,5 МПа и 545 °С и параметры промперегрева 3,92 МПа и 545 °С с расчетным КПД брутто 92,2 % турбину К-500-240-2 ПОАТ «Харьковский турбинный завод» номинальной мощностью 500 МВт на давлении

¹ 109280, Москва, Автозаводская ул., д. 14/23. ЗАО «Интеравтоматика».

температуру свежего пара соответственно 24 МПа и 540 °С с девятью нерегулируемыми отборами; генератор ТВМ-500 завода «Сибэлектротяжмаш» мощностью 500 МВт, напряжением 36,5 кВ с тиристорным возбуждением и с масляно-водяным охлаждением.

Котел имеет Т-образную компоновку с размещением конвективных поверхностей нагрева в двух симметричных опускных шахтах; 24 вихревые горелки установлены в два яруса на боковых стенах топки. Система теплеприготовления — индивидуальная, замкнутая, с восемью молотковыми тангенциальными мельницами, каждая из которых работает на три горелки. В качестве основного топлива предполагалось использовать хибастузский уголь (в настоящее время наряду с ним сжигаются угли других месторождений с существенно отличающимися характеристиками).

Гидравлическая схема котла принята двухпоточной. Поверхности нагрева каждого из регулируемых потоков размещены симметрично относительно вертикальной плоскости, перпендикулярной боковым стенкам топочной камеры. Радиационные поверхности нагрева в пределах топочной камеры образуют две двухходовые части (НРЧ и СРЧ). Кроме них в испарительный тракт входят экономайзер и переходная зона, вынесенная в конвективные шахты, потолочный пароперегреватель и паро-паровой теплообменник. Пароперегреватель котла (после встроенных узлов) состоит из верхней радиационной части, двухходового ширмового пароперегревателя, расположенного в горизонтальной оборотной камере, и конвективного пароперегревателя, размещенного в вертикальном газоходе. Конвективный пароперегреватель состоит из двух пакетов, установленных в конвективных шахтах.

Были приняты следующие принципиальные решения по устройству АСР котла в режиме рабочих нагрузок:

1. Распределение функций между регуляторами питания и топлива таким образом, что поддержание нагрузки котла возлагается на регуляторы питания, а стабилизация температурного режима по тракту котла первого впрыска — на регуляторы подачи топлива полутопкам. Такое решение обусловлено наличием в углеугольных котлах возмущений высокого уровня по тракту подачи топлива, устранение которых целесообразно воздействием на расход топлива. В случае же расширения диапазона регулирования расхода топлива полутопке осуществляется так называемый «переворот», т.е. переход на поддержание температурного режима путем воздействия на расход питательной воды по потоку, соответствующему данной полутопке. При этом нагрузка котла сохраняется неизменной благодаря тому, что уменьшение расхода воды по рассматриваемому потоку компенсируется увеличением расхода воды по другому потоку. Такое увеличение возможно до тех пор, пока не будет исчерпан диапазон регулирования расхода топлива по второй полутопке или разность расходов воды по потокам не превысит допустимый уровень (150 т/ч).

2. Организация управления пылесистемой, при которой ее нагрузка регулируется воздействием на частоту вращения питателя сырого угля (ПСУ), а эффективность работы мельницы, оцениваемая по ее загрузке и характеризующаяся зависимостью между электрической мощностью мельницы и расходом воздуха через мельницу, поддерживается изменением расхода воздуха. В данном случае также используется идея «переворота» (называемого «малым переворотом»), обеспечивающего при исчерпании диапазона регулирующего воздействия по расходу первичного воздуха (в качестве регулирующего органа здесь использован направляющий аппарат индивидуального вентилятора горячего дутья — ВГД) переход на поддержание оптимальной нагрузки мельницы воздействием на ПСУ, чем практически устраняется возможность «завала».

3. Применение в качестве сигнала по расходу пыли произведения частоты вращения ПСУ на сигнал, характеризующий качество топлива (часто называемый сигналом калорийности топлива) и определяемый по усредненному отношению электрической мощности энергоблока к суммарной частоте вращения ПСУ котла с учетом расхода мазута.

4. Использование программатора нагружения ПСУ при пуске пылесистемы и управляющей им пошаговой программы ее пуска, обеспечивающих при подключении пылесистемы к уже работающим по данной полутопке плавное увеличение частоты вращения ПСУ и безударное подключение АСР этой пылесистемы к регулятору топлива полутопки.

5. Применение для температурной коррекции соотношения вода — топливо сигнала по положению клапана первого впрыска. Использование более «физичного» сигнала по перепаду температур или энтальпии на впрыске существенно затруднено не только вследствие нахождения его в зоне максимальных теплоемкостей, но и вследствие значительного изменения свойств среды в этой зоне в зависимости от наличия или отсутствия ПВД и нагрузки.

6. Обеспечение качественной и надежной работы АСР подачи воздуха благодаря применению в качестве сигнала по расходу воздуха отношения активной мощности двигателя дутьевого вентилятора (ДВ) к перепаду давлений на нем с учетом КПД ДВ и специального алгоритма формирования сигнала по содержанию кислорода на основе сигналов четырех кислородомеров.

Некоторые из перечисленных решений внедрены впервые, другие в том или ином объеме включены в проекты автоматизации энергоблоков 300 МВт Ермаковской и Рязанской ГРЭС, реализованные в конце 80-х — начале 90-х годов на аппаратуре Ремиконт-110, а также в типовые решения по автоматизации энергоблоков с прямоточными котлами, оснащенными системами прямого вдувания пыли, выполненные на аппаратуре того же типа. В разработке указанных решений наряду с авторами данной статьи принимали участие спе-

специалисты ВТИ, УралВТИ, ВНИИАМ, Казтехэнерго, заводов-изготовителей котельного оборудования. Особо хотелось бы отметить роль бывшего сотрудника УралВТИ И.Х. Рабовицера, которому принадлежат идеи использования и формирования сигнала по качеству топлива, измерению расходов воздуха через ДВ с помощью сигналов по его мощности и перепаду давлений, выбора параметра, характеризующего загрузку мельницы. При построении и наладке рассматриваемых АСР были широко применены разработанные ВТИ общие принципы построения многосвязных АСР энергоблоков [4—7].

В то же время правильный выбор структурных решений по построению этих систем является лишь одним из трех основных условий, обеспечивающих успех их внедрения. Два других — это аппаратно-алгоритмические характеристики аппаратуры Teleperm ME-XP (ТПТС51) и высокий уровень организации эксплуатации на Рефтинской ГРЭС.

Среди факторов, определяющих существенные преимущества используемой распределенной микропроцессорной АСУ ТП на базе указанной аппаратуры для реализации сложных многосвязных АСР отечественных энергоблоков по сравнению с ранее используемыми чисто контроллерными системами (например, на базе Ремиконтов-110), а частично и по сравнению с другими микропроцессорными АСУ ТП, имеющимися сейчас на российском рынке, необходимо выделить следующие.

1. Высокая надежность аппаратуры и ее глубокая самодиагностика, позволяющие практически исключить при разработке многосвязной АСР возможность влияния отказа ее отдельных частей, а в маловероятном случае возникновения такого отказа — своевременно выявить его и практически автоматически (за счет средств базовой математики) устранить его влияние.

2. Применение стандартной аппаратной и алгоритмической диагностики периферийного оборудования (датчиков, арматуры, приводов), позволяющее своевременно выявить практически любые нарушения их функционирования, а следовательно, обеспечить учет этих нарушений в схемах АСР и предоставление оператору исчерпывающей информации о возникшем отказе.

3. Широко развитая библиотека базовых математических функций, включающая в себя:

стандартные функции обработки сигналов датчиков и управления исполнительными органами, усовершенствованные ЗАО «Интеравтоматика» с учетом особенностей российского периферийного оборудования (в частности, используемых в данном проекте датчиков 0...5 мА) и существующих на отечественных ТЭС традиций эксплуатации;

разнообразные математические модули элементов построения всережимных многосвязных АСР, позволяющие решать как традиционные задачи построения многоконтурных АСР с разнообразными законами ре-

гулирования, реализации их структурных перестроений и автоподстройки (непрерывной и/или дискретной) параметров настройки АСР, так и вводить новые функции: автоматическое изменение зоны нечувствительности регулятора в зависимости от уровня возмущения; использование модели объекта в контуре регулирования и т.д.

4. Предоставление условий для широкого внедрения логических программ, позволяющих своевременно и «безударно» обеспечить ввод АСР в работу, изменение ее структуры, вывод из работы, сняв эти часто не простые проблемы с оператора.

5. Широкие возможности оператора по контролю работы АСР и коррекции их функционирования, включая всестороннюю сигнализацию о работе АСР — информацию о возникновении технологических ограничений, превышении допустимого уровня небаланса на входе регулятора и т.д.;

использование видеопрограмм структурных схем сложных АСР, позволяющих дать информацию о том, по какой именно структуре работает в данный момент тот или иной регулятор, оценить значения внутренних параметров АСР, принудительно изменить при необходимости ее структуру;

удобное представление динамики изменения параметров, позволяющее выводить на один график до 10 параметров и оперативно задавать их состав, менять масштаб по оси времени (от 5 мин до 24 ч) и масштаб любого параметра.

Модернизация АСУ ТП была произведена без замены датчиков и арматуры, что не помешало достичь современного уровня автоматизации. Проведенная модернизация стала заботой не только цеха ТАИ, но и всех цехов. Все проблемы успешно решались под руководством заместителя главного инженера Л.Л. Грохова. Поэтому все то, что должны были сделать эксплуатационники для обеспечения работоспособности АСР (своевременное обслуживание датчиков; приведение в приемлемое состояние характеристик регулирующих органов; упорядочивание технологии с учетом совершенствования АСР и технологическая поддержка разработки и опробования новых решений; обучение оперативного и дежурного персонала работе с новыми структурными схемами АСР) выполнялось качественно, творчески, с большой ответственностью за полученный результат.

Структурные схемы основных АСР котла

На рис. 1, 2 представлены укрупненные структурные схемы организации управления нагрузкой котла и АСР подачи топлива, на рис. 3 — детальная структурная схема АСР общего воздуха.

Задание по нагрузке котла, характеризующейся суммарным значением расхода питательной воды в котле ΣW , формируется (см. рис. 1) автоматическим задатком нагрузки котла (АЗНК), который воспринимает

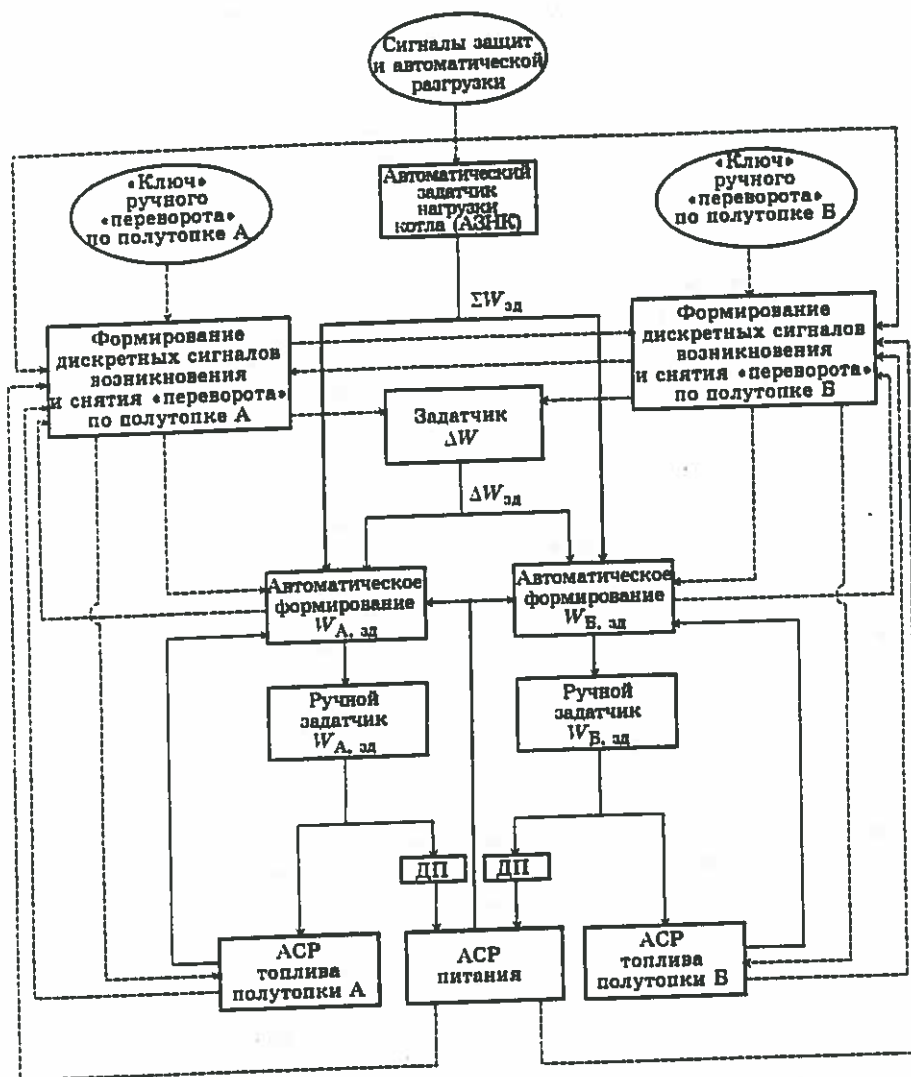


Рис. 1. Структурная схема управления нагрузкой котла в режиме рабочих нагрузок

от оператора два заданных значения — конечное значение суммарного расхода и скорость его изменения — и формирует линейную зависимость изменения задания $\Sigma W_{зд}$. Он принимает также дискретные сигналы автоматической разгрузки энергоблока при отключении одного из основных механизмов [питательного турбонасоса (ПТН), дутьевого вентилятора (ДВ), дымососа (ДС) или циркуляционного насоса], и практически безынерционно устанавливает задание на уровне аварийной разгрузки 70 %.

Выходной сигнал АЗНК $\Sigma W_{зд}$ и сигнал от задатчика разности расходов воды по ниткам $\Delta W_{зд}$ подаются на входы устройств автоматического формирования расходов питательной воды по потокам. При нормальном режиме работы схемы управления нагрузкой, т.е. при отсутствии «переворота» хотя бы по одному из потоков, сигналы $W_{А,зд}$ и $W_{В,зд}$ формируются путем суммирования (для потока А) или вычитания (для потока В) сигналов $\Sigma W_{зд}$ и $\Delta W_{зд}$ и через схемы ручных задатчи-

ков, разрешающих оператору при необходимости перейти на ручное формирование заданного значения расхода воды по соответствующему потоку, подаются на вход АСР питания и топлива.

Установка динамических преобразователей (ДП) в канале передачи сигнала нагрузки (потока или полutoпки) на вход АСР питания обусловлена необходимостью выравнивания динамических свойств входного сигнала корректора температурного режима — положения клапана первого впрыска при изменении нагрузки через каналы питательной воды и топлива. Такое решение не только обеспечивает инвариантность входного сигнала корректора при изменении нагрузки [4], но и позволяет сохранить заданную степень колебательности переходных процессов при «перевороте», когда температурный режим поддерживается воздействием на расход питательной воды [5].

Автоматическая система регулирования подачи топлива по полutoпке (см. рис. 2) включает в себя собственно регулятор и управляемые им АСР каждой из пы-

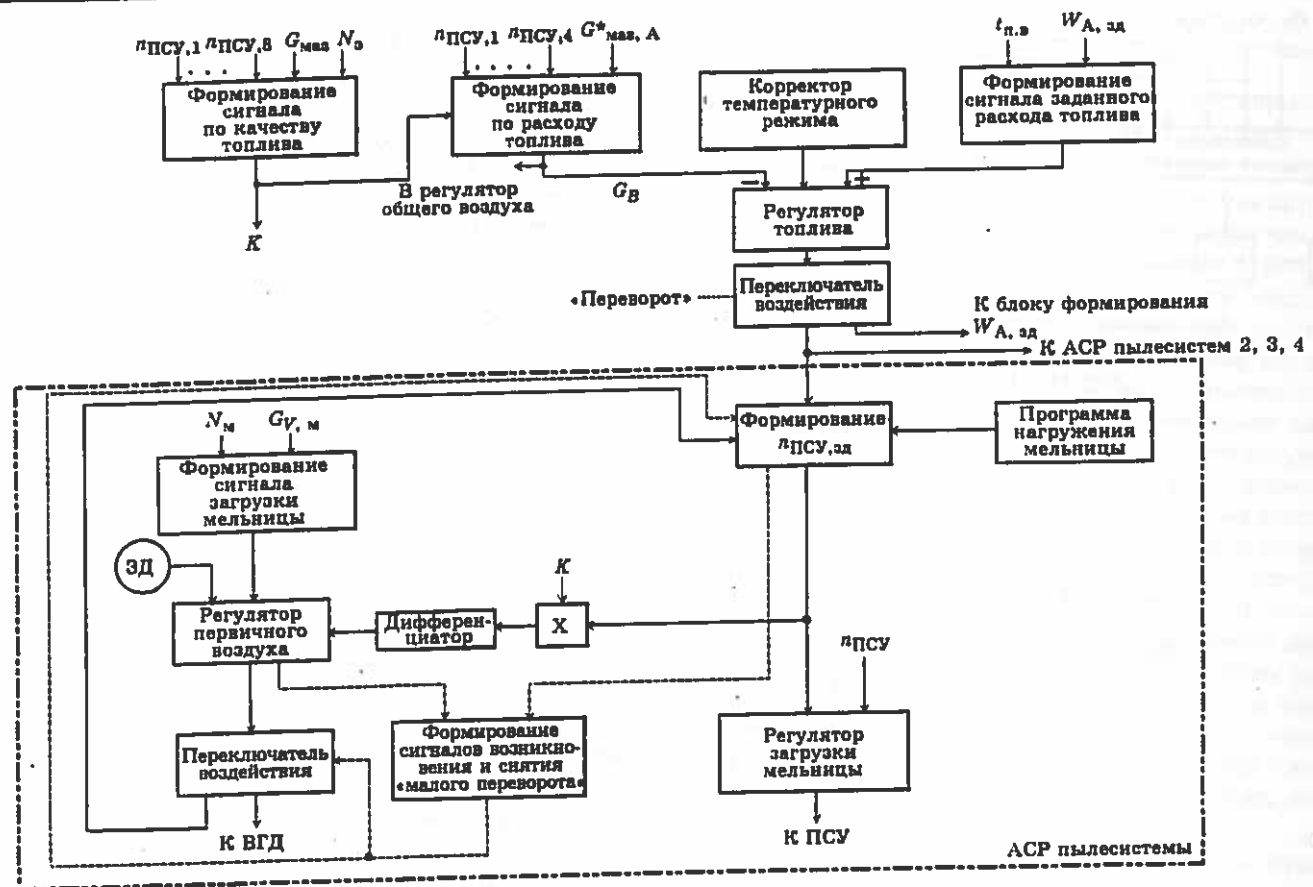


Рис. 2. Структурная схема АСР подачи топлива по полутопке А

лесистем, относящихся к данной полутопке. Заданное значение расхода топлива по последней формируется на основе сигналов заданного расхода воды по соответствующему потоку и температуры питательной воды на входе в котел $t_{п.в}$: чем она ниже, тем больше требуется расход топлива при том же расходе питательной воды. Сигнал по фактическому расходу топлива формируется путем суммирования сигналов, характеризующих расходы пыли и мазута (если последний сжигается), а сигнал по расходу пыли — путем умножения суммы сигналов по частоте вращения ПСУ данной полутопки на сигнал качества топлива K . Сигнал по расходу мазута в соответствующую полутопку $G_{маз,А}$ тоже является расчетным и определяется на основе сигнала суммарного расхода мазута в котел $G_{маз}$ и доли числа включенных мазутных форсунок в данной полутопке от их общего количества на котел.

Корректор температурного режима по потоку пароводяного тракта, осуществляющий коррекцию разности заданного и фактического расходов топлива в соответствующую полутопку, выполнен по простейшей одноконтурной схеме с сигналом по положению клапана первого впрыска. Попытки введения опережающего сигнала по температуре или энтальпии в более ранних точках тракта не дали положительного результата. Это обусловлено тем, что их динамические характеристики

при возмущениях по расходу топлива не оказались заметно лучше динамических характеристик температурного сигнала, используемого в качестве опережающего в схеме регулятора, первого впрыска и фактически определяющего динамику реакции регулирующего клапана впрыска на топливное возмущение.

Автоматическая система регулирования каждой пылесистемы включает в себя два взаимосвязанных регулятора: загрузки мельницы, управляющего частотой вращения ПСУ, и первичного воздуха, воздействующего на направляющий аппарат индивидуального вентилятора горячего дутья (ВГД). Третий регулятор пылесистемы — температуры азросмеси — при использовании сортов угля является стерегущим и в совместной работе с регулятором топлива участия не принимает. Выходной сигнал регулятора топлива полутопки через схему формирования заданного значения частоты вращения ПСУ подается напрямую в регулятор загрузки мельницы и через дифференциатор — в регулятор первичного воздуха, причем в последнем случае коэффициент передачи сигнала зависит от текущего значения сигнала качества топлива.

При исчерпании диапазона регулирования подачи первичного воздуха выполняется «малый переворот»: регулятор топлива полутопки отключается от регулятора загрузки мельницы данной пылесистемы, а управление последним осуществляется от регулятора

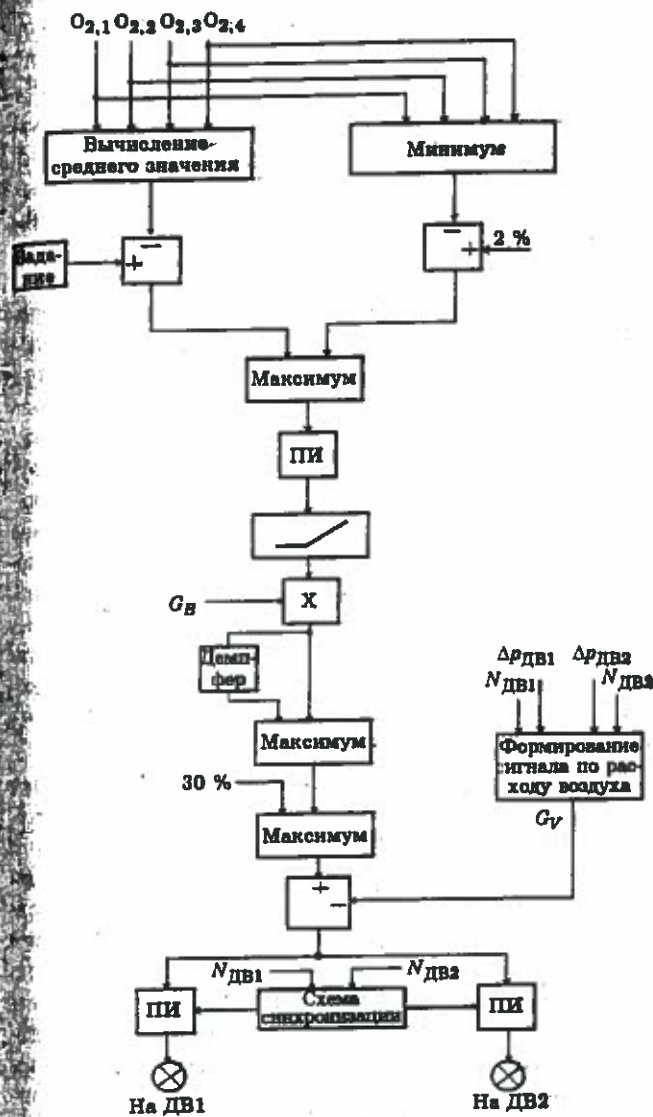


Рис. 3. Структурная схема АСР подачи воздуха

вичного воздуха с целью поддержания оптимальной загрузки мельницы. Снятие «малого переворота» осуществляется по первому срабатыванию регулятора топлива полутопки на «меньше».

Важным элементом структурной схемы АСР подачи топлива является блок формирования сигнала по качеству топлива. Это единственный блок на рис. 2, являющийся общим для всего котла. Сигнал формируется путем усреднения за определенный период отношения разности между электрической мощностью энергоблока $N_{ДВ}$ и ее частью, приходящейся на мазут, к сумме сигналов по частоте вращения всех работающих ПСУ котла. Предусмотрена также возможность ручного формирования сигнала по качеству топлива оператором. При принятии за единицу оценки качества наиболее характерного топлива диапазон изменения K составил 0,6...1,3.

Рассмотрим реализацию общего «переворота», т.е. перехода на поддержание температурного режима путем воздействия на расход питательной воды. Он воз-

никает в том случае, когда на всех включенных в работу пылесистемах данной полутопки отсутствует возможность увеличения расхода топлива: или возник «малый переворот», или нагрузка мельницы регулируется вручную, т.е. АСР пылесистемы отключена от регулятора топлива полутопки (наиболее типичная причина «переворота» — отключение одной из пылесистем). Дискретный сигнал на «переворот», полученный в блоке формирования сигналов возникновения и снятия «переворота» (рис. 1), отключает регулятор топлива от подчиненных АСР пылесистем (рис. 2) и подключает его к блоку формирования заданного расхода воды по данному потоку, соответственно отключая от него сигналы $\Sigma W_{зд}$ и $\Delta W_{зд}$ и переводя задатчик ΔW в режим отслеживания текущей разности расходов.

Далее управление нагрузкой котла осуществляется следующим образом. Корректор, стремясь не допустить падения температуры по данному потоку (для конкретности примем поток А), уменьшает расход питательной воды W_A . Блок автоматического формирования $W_{Б,зд}$ работая по разности сигналов $\Sigma W_{зд}$ и W_A , компенсирует уменьшение нагрузки по потоку А и увеличивает расход питательной воды по нитке Б. Такое перераспределение расходов будет продолжаться до тех пор, пока в полутопке Б не возникнет «переворот» или разность расходов воды по потокам не превысит допустимого значения 150 т/ч. При этом сигнал $W_{Б,зд}$ будет формироваться под влиянием регулятора топлива полутопки Б (при «перевороте») или с целью поддержания допустимого значения ΔW . Вследствие достаточно ощутимого взаимного влияния полутопки перераспределение тепловыделения между ними, а следовательно, и разность расходов воды по потокам оказываются меньше разности расходов топлива по полутопкам. Реально превышение допустимой разности расходов воды по потокам наблюдается только в случае отключения в одной полутопке двух пылесистем при всех работающих пылесистемах второй полутопки. Логика формирования дискретных сигналов снятия «переворота» учитывает наличие «переворота» или режима поддержания допустимого значения ΔW по другому потоку. Если последний продолжает управляться по разности сигналов $\Sigma W_{зд}$ и W_A , то условием снятия «переворота» по потоку А является возвращение расхода питательной воды к тому значению, при котором произошел «переворот». В противном случае это условие дополняется условиями возникновения «переворота» по другому потоку или ограничением допустимой разности расходов воды по потокам. Режим «переворота» снимается также при срабатывании защит или аварийной разгрузке энергоблока.

В разработанной структуре АСР котла для каждой полутопки предусмотрен также переключатель ручного «переворота», который может быть использован, во-первых, для принудительного перевода АСР в режим поддержания температурного режима воздействием

на расход питательной воды, а во-вторых, для осуществления принудительного снятия «переворота» при возникновении нештатных ситуаций. В случае применения ручного «переворота» его снятие может быть выполнено только обратным воздействием этого же ключа или по сигналам защит и аварийной разгрузки.

Принцип действия АСР общего воздуха виден из представленной на рис. 3 структурной схемы. ПИ-корректор содержания кислорода в уходящих газах формирует корректирующий сигнал коэффициента избытка воздуха, умножение которого на сигнал расхода топлива G_B (рис. 2) образует заданное значение расхода воздуха. Ограничитель на выходе корректора обеспечивает защиту от снижения заданного значения коэффициента избытка ниже допустимого уровня. Узел демпфирующего звена и выделителя максимального сигнала позволяет замедлить уменьшение расхода воздуха при снижении нагрузки, а последующий выделитель максимума исключает возможность снижения расхода воздуха ниже допустимого значения. В схеме коррекции по O_2 используются четыре кислородомера, расположенных по два в каждой из конвективных шахт. В качестве основного регулируемого параметра принимается среднее значение сигналов датчиков, в качестве стерегущего — минимальное из них. При этом и для усреднения, и для выделения минимального значения применяются только те сигналы, которые имеют аппаратную и параметрическую достоверность. Сигнал по расходу воздуха сформирован в виде суммы двух сигналов расхода через дутьевые вентиляторы, каждый из которых образован путем деления сигнала активной мощности ДВ ($N_{ДВ}$) на перепад давлений на нем ($\Delta p_{ДВ}$) с учетом текущего значения КПД ДВ.

Наладка и эксплуатация АСР энергоблока

Наряду с рассмотренными в предыдущем разделе вновь введенными АСР основных параметров котла в процессе внедрения новой АСУ ТП был впервые включен в работу или существенно усовершенствован ряд других АСР энергоблока. В первую очередь это касается всего комплекса пусковых регуляторов и программаторов, опыт внедрения которых будет рассмотрен в последующих публикациях. Для режима рабочих нагрузок необходимо отметить ввод в эксплуатацию группы регуляторов температуры воздуха перед трубчатыми подогревателями, а также усовершенствование эксплуатировавшихся ранее АСР путем реализации мер по обеспечению их всережимной работы: введение непрерывной автоподстройки параметров настройки, безударное включение регуляторов и т.д. По технологическим причинам не может быть полностью решена задача регулирования температуры свежего пара на выходе из котла, так как в связи с необходимостью ограничения значения температуры пара за ширмовым пароперегревателем тепловосприятное конвективное пароперегревание оказывается недостаточным для достижения номинального значения температуры пара

на выходе. В результате клапаны выходных впрысков в нормальных условиях оказываются закрытыми, а их регуляторы работают в стерегущем режиме.

Часть вновь реализованных АСР: регуляторы загрузки мельниц, первичного воздуха, топлива, схема «малого переворота» (рис. 2), схема формирования заданных расходов воды по потокам (рис. 1) — были введены в эксплуатацию уже в период «горячей» наладки, т.е. в первые 2—3 недели после первого пуска энергоблока с новой АСУ ТП. Впоследствии в процессе опытно-промышленной эксплуатации были последовательно внедрены АСР общего воздуха, коррекции температуры, АЗНК, схема общего «переворота». С этого периода на энергоблоке постоянно работает описанный состав автоматических устройств, что в режиме рабочих нагрузок практически исключает необходимость вмешательства оператора в процесс управления. Любое изменение нагрузки, в том числе охватывающее весь рабочий диапазон 360...500 МВт (ночная разгрузка и утреннее нагружение), производится только путем установки оператором конечного значения заданного расхода питательной воды на одном из двух задатчиков АЗНК (скорость изменения нагрузки на энергоблоке принята постоянной и обычно заново не устанавливается).

Полностью автоматически происходит и обработка наиболее тяжелого и достаточно характерного в режиме нормальной эксплуатации возмущения, вызванного аварийным отключением пылесистемы. Регулятор топлива (рис. 2) до вступления в работу корректора подгружает другие пылесистемы, компенсируя возникшее возмущение. Если в процессе нагружения пылесистемы направляющий аппарат ВГД исчерпывает свой диапазон, то выполняется «малый переворот», и нагружение приостанавливается. Если же диапазон регулирования первичного воздуха будет исчерпан для всех оставшихся в работе пылесистем (чаще это происходит при работе без ПВД), то происходит общий «переворот», и под воздействием корректора температуры уменьшается расход воды по данному потоку. Соответственно увеличатся расход питательной воды по второму потоку и расход топлива по второй полутопке, а нагрузка котла останется без изменения. Также автоматически происходит и восстановление исходного состояния на энергоблоке после включения приведенной в порядок пылесистемы в работу. Оператор запускает шаговую программу пуска пылесистемы, которая после вывода ПСУ на холостой ход обеспечивает через программатор увеличение его частоты вращения до среднего значения других ПСУ данной полутопки и подключение регулятора загрузки пылесистемы к регулятору топлива. К этому моменту вследствие увеличения подачи топлива в полутопку уже должны произойти возвращение расхода питательной воды по потоку к исходному значению (при котором произошел «переворот») и снятие «переворота», а также восстановление на исходном уровне расходов питательной воды и топлива по другой полутопке.

на расход питательной воды, а во-вторых, для осуществления принудительного снятия «переворота» при возникновении нештатных ситуаций. В случае применения ручного «переворота» его снятие может быть выполнено только обратным воздействием этого же ключа или по сигналам защит и аварийной разгрузки.

Принцип действия АСР общего воздуха виден из представленной на рис. 3 структурной схемы. ПИ-корректор содержания кислорода в уходящих газах формирует корректирующий сигнал коэффициента избытка воздуха, умножение которого на сигнал расхода топлива G_B (рис. 2) образует заданное значение расхода воздуха. Ограничитель на выходе корректора обеспечивает защиту от снижения заданного значения коэффициента избытка ниже допустимого уровня. Узел демфирующего звена и выделителя максимального сигнала позволяет замедлить уменьшение расхода воздуха при снижении нагрузки, а последующий выделитель максимума исключает возможность снижения расхода воздуха ниже допустимого значения. В схеме коррекции по O_2 используются четыре кислородомеры, расположенных по два в каждой из конвективных шахт. В качестве основного регулируемого параметра принимается среднее значение сигналов датчиков, в качестве стерегущего — минимальное из них. При этом и для усреднения, и для выделения минимального значения применяются только те сигналы, которые имеют аппаратную и параметрическую достоверность. Сигнал по расходу воздуха сформирован в виде суммы двух сигналов расхода через дутьевые вентиляторы, каждый из которых образован путем деления сигнала активной мощности ДВ ($N_{ДВ}$) на перепад давлений на нем ($\Delta p_{ДВ}$) с учетом текущего значения КПД ДВ.

Наладка и эксплуатация АСР энергоблока

Наряду с рассмотренными в предыдущем разделе вновь введенными АСР основных параметров котла в процессе внедрения новой АСУ ТП был впервые включен в работу или существенно усовершенствован ряд других АСР энергоблока. В первую очередь это касается всего комплекса пусковых регуляторов и программаторов, опыт внедрения которых будет рассмотрен в последующих публикациях. Для режима рабочих нагрузок необходимо отметить ввод в эксплуатацию группы регуляторов температуры воздуха перед трубчатыми подогревателями, а также усовершенствование эксплуатировавшихся ранее АСР путем реализации мер по обеспечению их всережимной работы: введение непрерывной автоподстройки параметров настройки, безударное включение регуляторов и т.д. По технологическим причинам не может быть полностью решена задача регулирования температуры свежего пара на выходе из котла, так как в связи с необходимостью ограничения значения температуры пара за ширмовым пароперегревателем тепловосприятие конвективного пароперегревателя оказывается недостаточным для достижения номинального значения температуры пара

на выходе. В результате клапаны выходных впрысков в нормальных условиях оказываются закрытыми, а их регуляторы работают в стерегущем режиме.

Часть вновь реализованных АСР: регуляторы загрузки мельниц, первичного воздуха, топлива, схема «малого переворота» (рис. 2), схема формирования заданных расходов воды по потокам (рис. 1) — были введены в эксплуатацию уже в период «горячей» наладки, т.е. в первые 2—3 недели после первого пуска энергоблока с новой АСУ ТП. Впоследствии в процессе опытно-промышленной эксплуатации были последовательно внедрены АСР общего воздуха, коррекции температуры, АЗНК, схема общего «переворота». С этого периода на энергоблоке постоянно работает описанный состав автоматических устройств, что в режиме рабочих нагрузок практически исключает необходимость вмешательства оператора в процесс управления. Любое изменение нагрузки, в том числе охватывающее весь рабочий диапазон 360...500 МВт (ночная разгрузка и утреннее нагружение), производится только путем установки оператором конечного значения заданного расхода питательной воды на одном из двух задатчиков АЗНК (скорость изменения нагрузки на энергоблоке принята постоянной и обычно заново не устанавливается).

Полностью автоматически происходит и отработка наиболее тяжелого и достаточно характерного в режиме нормальной эксплуатации возмущения, вызванного аварийным отключением пылесистемы. Регулятор топлива (рис. 2) до вступления в работу корректора подгружает другие пылесистемы, компенсируя возникшее возмущение. Если в процессе нагружения пылесистемы направляющий аппарат ВГД исчерпывает свой диапазон, то выполняется «малый переворот», и нагружение приостанавливается. Если же диапазон регулирования первичного воздуха будет исчерпан для всех оставшихся в работе пылесистем (чаще это происходит при работе без ПВД), то происходит общий «переворот», и под воздействием корректора температуры уменьшается расход воды по данному потоку. Соответственно увеличится расход питательной воды по второму потоку и расход топлива по второй полутопке, а нагрузка котла останется без изменения. Также автоматически происходит и восстановление исходного состояния на энергоблоке после включения приведенной в порядок пылесистемы в работу. Оператор запускает шаговую программу пуска пылесистемы, которая после вывода ПСУ на холостой ход обеспечивает через программатор увеличение его частоты вращения до среднего значения других ПСУ данной полутопки и подключение регулятора загрузки пылесистемы к регулятору топлива. К этому моменту вследствие увеличения подачи топлива в полутопку уже должны произойти возвращение расхода питательной воды по потоку к исходному значению (при котором произошел «переворот») и снятие «переворота», а также восстановление на исходном уровне расходов питательной воды и топлива по другой полутопке.

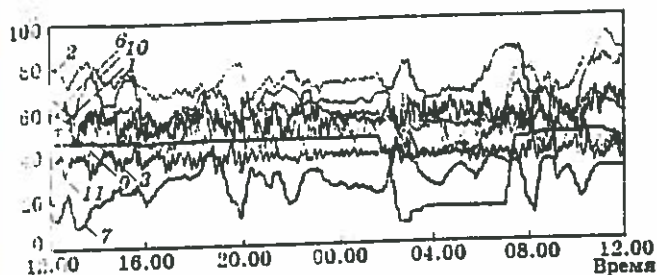


Рис. 4. Работа АСР в режиме нормальной эксплуатации

Номер кривой	Параметр	Нижняя граница	Верхняя граница
1	Расход топлива в полутопке А $Q_{т,А}$ по ПСУ, об/мин	0	4 000
2	Расход топлива в полутопке Б $Q_{т,Б}$ по ПСУ, об/мин	0	4 000
3	Заданный расход воды по нитке А $W_{А,зд}$ т/ч	Рис. 4 — 400 Рис. 5 — 150	800 1 000
4	Заданный расход воды по нитке Б $W_{Б,зд}$ т/ч	450	1 000
5	Заданный суммарный расход воды $W_{зд}$ т/ч	0	1 600
6	Выходной сигнал температурного корректора полутопки, %		
7	А	30	55
8	Б	30	55
9	Температура острого пара за котлом по нитке Б, °С	300	600
10	Указатель положения регулирующего клапана первого впрыска по нитке, %		
11	А	0	100
12	Б	0	100
13	Среднее содержание кислорода в уходящих газах, %	0	10

На рис. 4 показан пример суточного графика нормальной эксплуатации энергоблока. Уровень нагрузки может быть оценен по сигналу $W_{А,зд}$. Рассмотрен типовой режим для зимнего периода эксплуатации. Большую часть суток держалась максимальная нагрузка, приблизительно в 2 ч ночи энергоблок был разгружен до 300 МВт, в 7 ч утра началось нагружение до номинального значения. Энергоблок работал с ПВД. В дневное время произошли два отключения (а затем включения) пылесистем, несколько раз при этом возникали малые перевероты, но до «большого переверота» дело ни разу не дошло. Показатель качества топлива K менялся в диапазоне 0,8...1,1.

Качество работы основных АСР котла может быть оценено по графикам изменения сигналов положения клапанов первых впрысков и содержания кислорода в уходящих газах. Как видно из рис. 4, положения клапанов аспрысков оставались в диапазоне 40...60 %, а от-

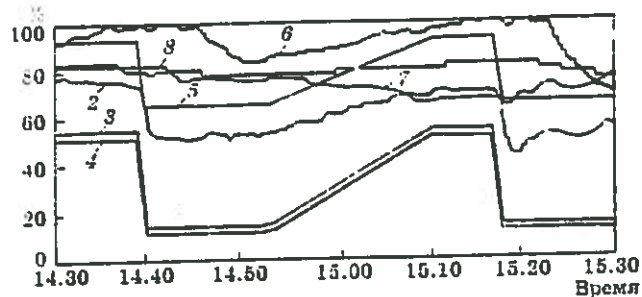


Рис. 5. Работа АСР в режимах аварийного отключения основных механизмов.

Расшифровку кривых 1—8 см. рис. 4

клонения O_2 не превышали $\pm 20\%$ номинального значения, составляющего 4 %, т.е. $\pm 0,8\%$ по O_2 , что является достаточно хорошим показателем для пылеугольных котлов. Особенно важно отсутствие ухудшения качества регулирования в переходных режимах. Ранее, до внедрения рассматриваемых АСР, и процесс изменения нагрузки, и режимы включения и отключения пылесистем сопровождался выходом клапанов первых впрысков из указанных диапазонов и существенно большим отклонением O_2 .

На рис. 5 представлены режимы аварийной разгрузки энергоблока до уровня 70 % нагрузки при отключениях соответственно одного из двух ДС и одного из двух ПТН. Разгрузка выполнялась автоматически через АЗНК при всех включенных в работу регуляторах. Как видно из графиков изменения расходов питательной воды и топлива, а также выходных сигналов корректоров температуры по потокам, в обоих случаях отработка столь ощутимых возмущений сопровождается удовлетворительными переходными процессами без возникновения каких-либо колебаний или другого ухудшения качества регулирования.

Список литературы

- Грехов Л.Л., Биленко В.А., Струков А.П. Модернизация системы управления блоком № 10 500 МВт Рефтинской ГРЭС // Приборы и системы управления. 1998. № 8. С. 45—51.
- Перспективы применения на российском рынке технических средств фирмы Siemens для автоматизации теплоэнергетического оборудования / В.В. Лыско, А.Г. Свилюцкий, Ю.Н. Бармаков и др. // Теплоэнергетика. 1997. № 10. С. 2—7.
- Лыско В.В., Свилюцкий А.Г., Бармаков Ю.Н. Автоматизация энергетических процессов на базе новейших программно-технических средств // Приборы и системы управления. 1998. № 8. С. 41—45.
- Биленко В.А., Давыдов Н.И. Вопросы автономности в связанных двухконтурных системах автоматического регулирования современных энергоблоков // Теплоэнергетика. 1979. № 12. С. 32—38.
- Биленко В.А., Давыдов Н.И. Перестройки связанных двухконтурных автоматических систем регулирования энергоблоков // Электрические станции. 1984. № 3. С. 32—36.
- Биленко В.А., Миклушевич Э.Э. Выбор структуры и принципы настройки многосвязных автоматических систем регулирования энергоблоков // Теплоэнергетика. 1989. № 10. С. 21—26.
- Биленко В.А. Организация настройки многосвязных систем регулирования энергетического оборудования // Теплоэнергетика. 1990. № 11. С. 18—24.