



Инженерный центр
«Автоматизация
ресурсосберегающих
технологий»
www.ic-art.ru

*Публикации специалистов
Инженерного центра «АРТ»*

Автоматизация котлоагрегатов с применением технологии частотного регулирования

*Сербин Юрий Владимирович, д.т.н., Пермяков Андрей
Дмитриевич, Тараненко Георгий Валентинович*

Опубликовано в издании
“ТЕПЛОЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ”,
информационный бюллетень № 2 (47) 2007, специальный выпуск
“Системы частотного регулирования на объектах городского
хозяйства и промышленности”

Офис Инженерного центра «АРТ»

195196, г. Санкт-Петербург, Таллинская ул., д. 7, литер «А»

Офисный центр «К12». Офис 2-Н

+7 (812) 445-24-22; 445-24-76; 445-23-47

e-mail: office@ic-art.ru

www.ic-art.ru



YouTube Канал «Инженерный центр «АРТ»

АВТОМАТИЗАЦИЯ КОТЛОАГРЕГАТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ ЧАСТОТНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Сербин Юрий Владимирович, д. т. н., Пермяков Андрей Дмитриевич,
Тараненко Георгий Валентинович

Привлекательность использования частотного регулирования для управления параметрами дутьевых вентиляторов и дымососов котлов у большинства специалистов не вызывает сомнений. При работе котлов в режиме переменных нагрузок параметры топочных процессов в соответствии с режимной картой изменяются, что требует регулирования тягодутьевых машин (ТДМ) в широких пределах. Кроме того, многие котлы за время эксплуатации претерпели ряд модернизаций, в том числе и перевод с одного вида топлива на другой без замены тягодутьевых машин. По этим и другим причинам применение частотного регулирования ТДМ дает, как правило, существенное снижение удельных расходов электроэнергии (до 45...70% от энергопотребления при регулировании входными направляющими аппаратами).

Почему же не наблюдается повсеместного применения частотного регулирования ТДМ при реконструкции систем автоматизации котлов? Ведущие российские и зарубежные производители котельной автоматики применяют программируемые средства автоматизации, мощные средства отображения и архивирования информации и др. В то же время, решения с применением частотного способа регулирования средних и крупных дутьевых вентиляторов (ДВ) и дымососов (ДС) встречаются редко.

На первый взгляд, что может быть проще: включить преобразователи частоты (ПЧ) в расщелку силовых кабелей электродвигателей вен-

тилятора и дымососа и изменять их скорость для обеспечения параметров режимной карты. Однако при ближайшем рассмотрении возникает ряд вопросов.

Что делать с имеющимся входным направляющим аппаратом? На него «завязана» существующая система управления параметрами топочных процессов котла. Использовать его или нет?

Как должны вести себя частотно-регулируемые приводы при авариях котла, исчезновении и восстановлении электропитания?

Кто и как будет изменять параметры ТДМ при изменении нагрузки на котел, изменении количества работающих горелок, типа используемого топлива или изменении его качества?

Надо ли вмешиваться в существующую систему защиты котла?

Как будет организовано взаимодействие системы управления топочными процессами с имеющейся или создаваемой АСУ ТП?

Этот перечень не является исчерпывающим.

По-видимому, управление параметрами топочных процессов котлов предполагает применение не только собственно частотного способа регулирования скорости электродвигателей ТДМ, но комплексное решение по автоматизации котельного агрегата, включая управление работой вспомогательного оборудования.

Применение технологии частотного регулирования (ТЧР) для управления параметрами топочных процессов котлов

Формирование заданных параметров топочных процессов котла является важнейшей задачей, позволяющей обеспечить как саму работу, так и безопасность функционирования котельного агрегата и энергетического объекта в целом. При этом, кроме установившихся режимов, параметры которых приводятся в режимных картах котлов, необходимо реализовать пусковые и переходные режимы, обеспечить безопасность в нештатных и аварийных режимах и предусмотреть многое другое.

Инженерный центр «АРТ» с 1999 года по настоящее время разрабатывает системы

частотного регулирования (СЧР) для котлов различных типов – от распространенных повсеместно ДКВР-6,5 до КВ-ГМ 120 и котлов с «кипящим слоем». Типовые решения СЧР ТДМ предполагают автоматизацию следующих режимов.

1. Режим «Подготовка к работе и пуск» с вентиляцией топки изменяемой продолжительности, определенной последовательностью включения ТДМ и управлением входными направляющими аппаратами (ВНА) ДВ и ДС.
2. Режим «Розжиг», в процессе которого устанавливаются оптимальные для данного котла и его газовоздушного тракта параметры давления воздуха перед горелками и разрежения в топке, в определенное положение устанавливаются ВНА ТДМ и др. Это



Рис. 1. Система частотного регулирования тяго-дутьевых машин котла ДКВР-6,5

позволяет обеспечить безопасный и плавный розжиг котла.

3. Режим «Работа» со стабилизацией параметров давления воздуха и разрежения в соответствии с давлением газа перед горелками, количеством работающих горелок, требуемого количества работающих ТДМ, с коррекцией режимной карты по температуре наружного воздуха и/или газа, поступающих на горение.
4. Режим «Останов», (плановый или аварийный), с вентиляцией топки изменяемой продолжительности и управлением ВНА ДВ и ДС.

Перечисленные режимы реализуются при использовании частотного способа регулирования параметров ТДМ. Кроме того, при разработке решения СЧР ТДМ, как правило, обеспечивается возможность резервного питания электродвигателей ДВ и ДС от промышленной сети при использовании традиционных способов управления.

При реконструкции котла возможно сохранение существующей системы управления, что позволяет дежурному оператору перейти на работу от существующей САУ поворотом одного ключа (фото на рис. 1). Это снимает «психологический барьер» и обеспечивает привыкание дежурных смен к новой технике в период опытной эксплуатации.

Прежней может оставаться и система защиты котла. При этом порядок минимального взаимодействия двух систем автоматизации может быть следующим:

- из системы частотного регулирования в систему защиты котла передается сигнал об отказе СЧР, который приводит к останову котла по заложенному в САУ алгоритму;
- из системы защиты в СЧР поступает сигнал об аварийном останове котла, по которому система частотного регулирования переводит ТДМ в режим вентиляции топки.

Для котлов, работающих на газообразном топливе, реализуется следующий набор функций СЧР ТДМ.

Функции управления:

- включение системы ключом с поста оператора;
- автоматический выбор режима СЧР ТДМ в соответствии с режимом работы котлоагрегата;
- автоматический переход в режим вентиляции топки котла после пропадания и восстановления питающего напряжения;
- автоматическое изменение уставки разрежения в топке котла и давления воздуха перед горелками в зависимости от режима работы котлоагрегата;
- автоматическая коррекция параметров режимной карты в зависимости от температуры подаваемого на горение воздуха;

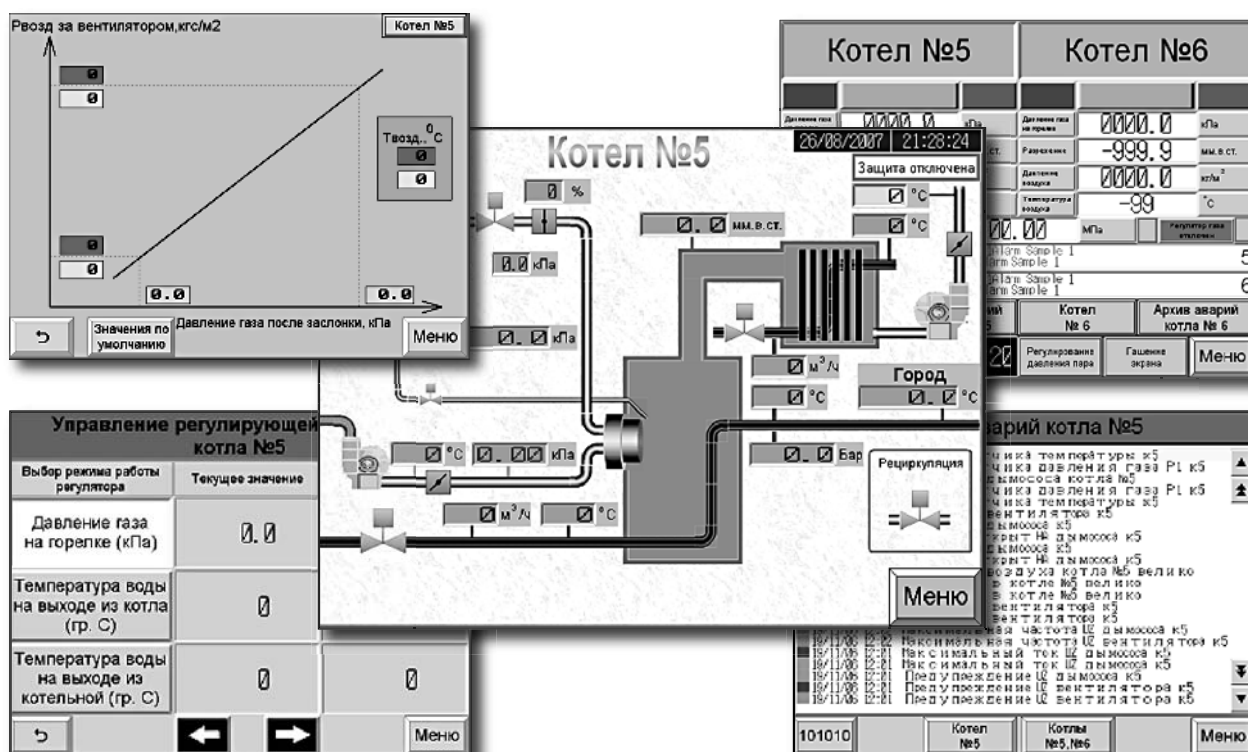


Рис. 2. Примеры экранов операторской панели в различных режимах работы СЧР ТДМ



Рис. 3. Оборудование преобразовательного звена СЧР с высоковольтными электроприводами тягодутьевых машин

- автоматическое управление положением ВНА ДВ И ДС;
 - корректировка режимной карты оператором вручную; при этом изменяются уставки давления воздуха перед горелками и разрежения в топке для всех режимов работы котла.
- Функции регулирования:*
- автоматическое поддержание заданного разрежения в топке котлоагрегата и давления воздуха перед горелками в соответствии с режимной картой во всех технологических режимах.
- Функции диагностирования и защиты:*
- определение неисправностей элементов цепей электропитания двигателей вентилятора и дымососа, линий подключения датчиков технологических параметров, преобразователей частоты;
 - защита электродвигателей вентилятора и дымососа, работающих от преобразователей частоты, в объеме функций преобразователя частоты;
 - защита преобразователей частоты от перегрузок и коротких замыканий;
 - защита в случае неисправности датчиков технологических параметров СЧР ТДМ.
- Функции визуализации и настройки:*
- визуализация технологической схемы и технологических параметров котла (газовоздушный, водяной, паровой тракты);
 - визуализация схемы подключения электродвигателей ТДМ, электромеханических параметров электродвигателей и электрических параметров преобразователей частоты;
 - архивирование параметров СЧР ТДМ и котла в нормальных и аварийных режимах с выдачей соответствующих сообщений;
 - настройка параметров работы СЧР (коэффициентов и постоянных времени регуляторов, уставок срабатывания защит и т. п.).
- На 3 стр. цв. вкладки показано рабочее место оператора, а на рисунке 2 – примеры экранов в различных режимах работы СЧР ТДМ.
- Информация на панель выдается постранично. Аварийные и предупредительные сообщения отображаются поверх любой из экранных форм. Для удобства восприятия информации предусматривается подсветка текущих значений параметров в зависимости от их величины по сравнению с предельно допустимыми значениями.
- Разрабатываемые Инженерным центром «АРТ» аппаратно-программные комплексы СЧР ТДМ могут управлять параметрами топочных процессов нескольких котлов. В последнем случае используется коммутационная сборка, позволяющая подключать к выходу соответствующего ПЧ электродвигатели ТДМ любого из группы котлов и дополнительный комплект датчиков технологических параметров. Такое решение используется в «бюджетных» проектах, если на котельной в работе находится, как правило, один котлоагрегат. Это позволяет уменьшить сроки окупаемости СЧР при использовании энергосберегающего оборудования в течение всего отопительного периода.

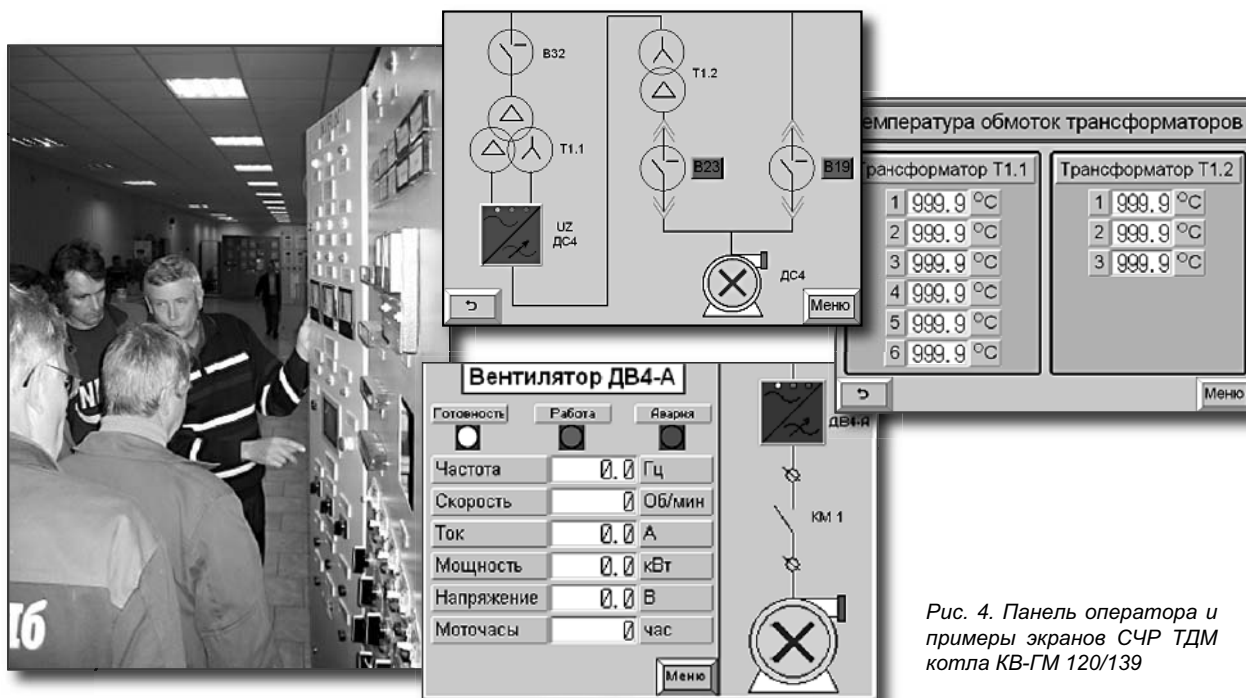


Рис. 4. Панель оператора и примеры экранов СЧР ТДМ котла КВ-ГМ 120/139

Крупные котлы оснащаются высоковольтными электроприводами тягодутьевых машин мощностью 400 кВт и более (фото на рис. 3).

Системы частотного регулирования в этом случае имеют ряд особенностей.

При использовании двухтрансформаторной схемы включения преобразователей частоты пуск нагнетателей происходит не «с нуля», а с фиксированной минимально допустимой для работы повышающего трансформатора частоты. Это может вызвать трудности при обеспечении параметров котла в режимах «Розжиг» и при минимальных нагрузках.

Крупные ТДМ имеют существенные размеры и маховые массы, что ухудшает динамику приводов. При настройке режимов пуска и торможения таких машин невозможно обеспечить интенсивное изменение параметров технологического процесса без применения дополнительных средств торможения в составе оборудования преобразовательного звена (остановка ТДМ «самовыбегом» иногда занимает несколько минут).

Особое внимание приходится уделять герметизации газозоудного тракта неработающих ТДМ и контролю их состояния (вал неподвижен или вращается). В ряде случаев необходимо обеспечить торможение ротора ТДМ перед его пуском и последующий разгон ДВ или ДС в требуемом направлении.

На рисунке 4 показана панель оператора и приведены примеры экранов СЧР ТДМ котла КВ-ГМ 120/139.

Персонал котельной с панели СЧР может отслеживать сборку цепей электропитания ТДМ, контролировать и задавать предельные значения скорости, тока и мощности электродвигателей ДВ и ДС, температуры трансформаторов СЧР ТДМ и др. Связь с АСУ ТП (в данном случае поставка АСУ производилась группой компаний «АМАКС») осуществляется по стандартным интерфейсам.

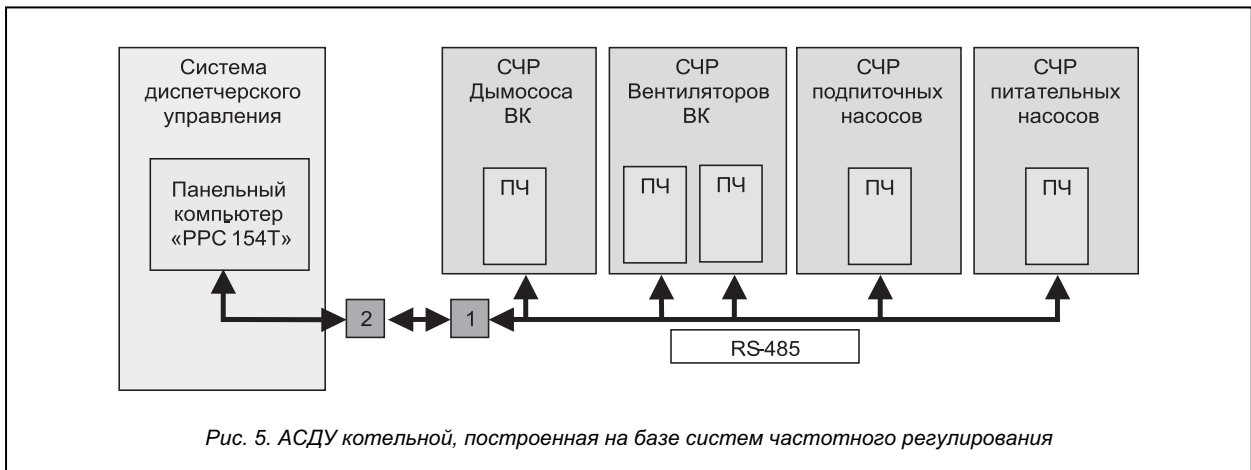
Автоматизация котлоагрегатов с применением ТЧР

Автоматическое управление параметрами топочных процессов с применением ТЧР является одной из составляющих более сложной задачи – автоматизации котлоагрегата в целом.

Состав функций системы автоматического управления и регулирования зависит от конкретного типа котла, особенностей управления оборудованием объекта и средств, которые заказчик готов затратить на создание автоматизированной системы.

В общем виде это:

- стабилизация уровня в верхнем барабане парового котла с учетом динамики отбора пара, характерной для различных режимов;
- обеспечение заданной температуры теплоносителя в линии рециркуляции водогрейных котлов с возможностью изменения уставки температуры или кратности рециркуляции в зависимости от нагрузки и количества работающих котлов, температурного графика работы тепловой сети;



- стабилизация расхода теплоносителя через водогрейный котел или сетевые подогреватели;
- регулирование температуры теплоносителя на выходе из водогрейного котла в зависимости от режима работы котла;
- регулирование давления пара в верхнем барабане парового котла при изменении расхода пара во всем диапазоне нагрузок;
- регулирование температуры уходящих дымовых газов в соответствии с режимной картой котла;
- обеспечение заданного расхода теплоносителя через экономайзер котла и др.

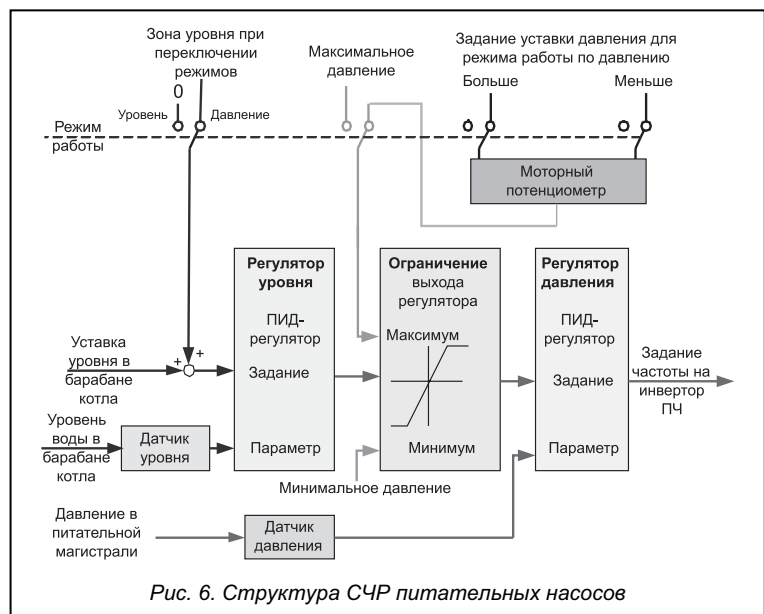
Большинство перечисленных функций реализуется по индивидуальным алгоритмам. Например, подсистема управления параметрами экономайзера водогрейного котла при пуске из «холодного» состояния стабилизирует расход теплоносителя через экономайзер. После выхода котла на определенный температурный режим обеспечивается температура уходящих дымовых газов, соответствующая режимной карте. При дальнейшем росте нагрузки стабилизируется температура теплоносителя на выходе из экономайзера.

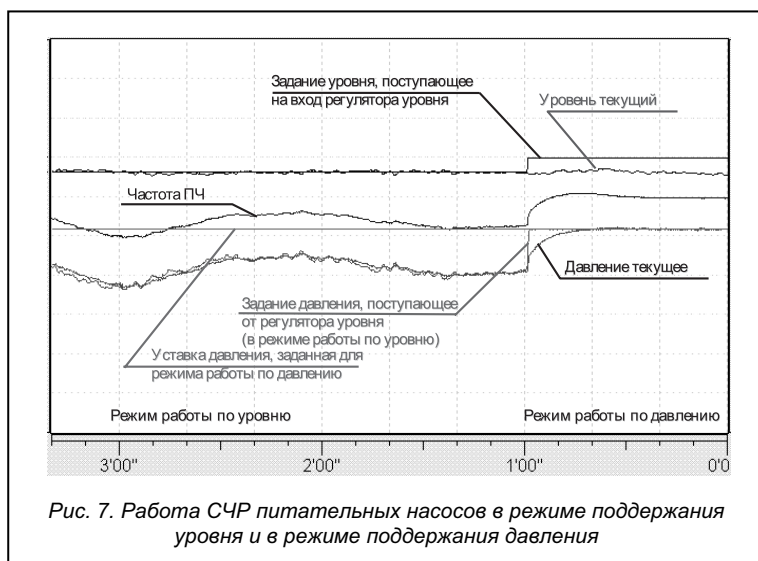
АСУ котла усложняется в случае автоматизации параллельной работы котлоагрегатов и автоматического обеспечения температурного графика тепловой сети с учетом изменений температуры наружного воздуха. При этом появляются ветви алгоритма, отвечающие за управление газовыми и воздушными заслонками горелок котлов, связанные с подчиненностью котлоагрегатов («Ведущий», «Ведомый»).

При необходимости автоматического обеспечения заданной температуры теплоносителя в тепловой сети на выходе из котельной осуществляется (наряду с регулированием подачи топлива на горение) изменение положения регулирующего клапана на балансной перемычке, подающей часть теплоносителя из обратного трубопровода тепловой сети в прямую без подогрева. Управление клапаном на балансной перемычке производится с учетом стабилизации температурного и гидравлического режимов работающих котлов, котлов «горячего резерва» и тепловой сети.

Локальные системы частотного регулирования удобно использовать при автоматизации котельного оборудования и построении АСУ ТП «снизу вверх».

Примером реализации такого подхода является система, выполненная Инженерным центром





«АРТ» для отопительной котельной тепловой мощностью 315 МВт с паровыми и водогрейными котлами (рис. 5).

СЧР подпиточных насосов обеспечивает поддержание давления в обратной магистрали тепловой сети и плавное регулирование производительности одного из трех насосных агрегатов (НА). Переход ПЧ на работу с резервным насосом выполняется автоматически при отказе основного насосного агрегата или при выводе его из автоматического режима.

СЧР питательных насосов обеспечивает поддержание давления в питательном трубопроводе котельной или уровня воды в барабане одного из паровых котлов и плавное регулирование производительности одного из трех насосных агрегатов. Системой обеспечивается контроль состояния оборудования и параметров технологического процесса, автоматический ввод резервного насосного агрегата при отказе или остановке основного. Система управления питательными насосами имеет два регулятора: регулятор уровня и подчиненный ему регулятор давления (рис. 6).

На рисунке 7 приведены графики процессов регулирования в режиме поддержания уровня воды в барабане котла и в режиме поддержания давления в питательном трубопроводе, а также графики перехода из одного режима в другой.

СЧР дымососа обеспечивает поддержание разрежения в топке котла и плавное регулирование производительности дымососа. Пуск дымососа выполняется с последовательным выполнением режимов вентиляции и розжига. Топка водогрейного котла имеет шесть горелок, но после завершения операции розжига первой и второй горелок СЧР дымососа переводится

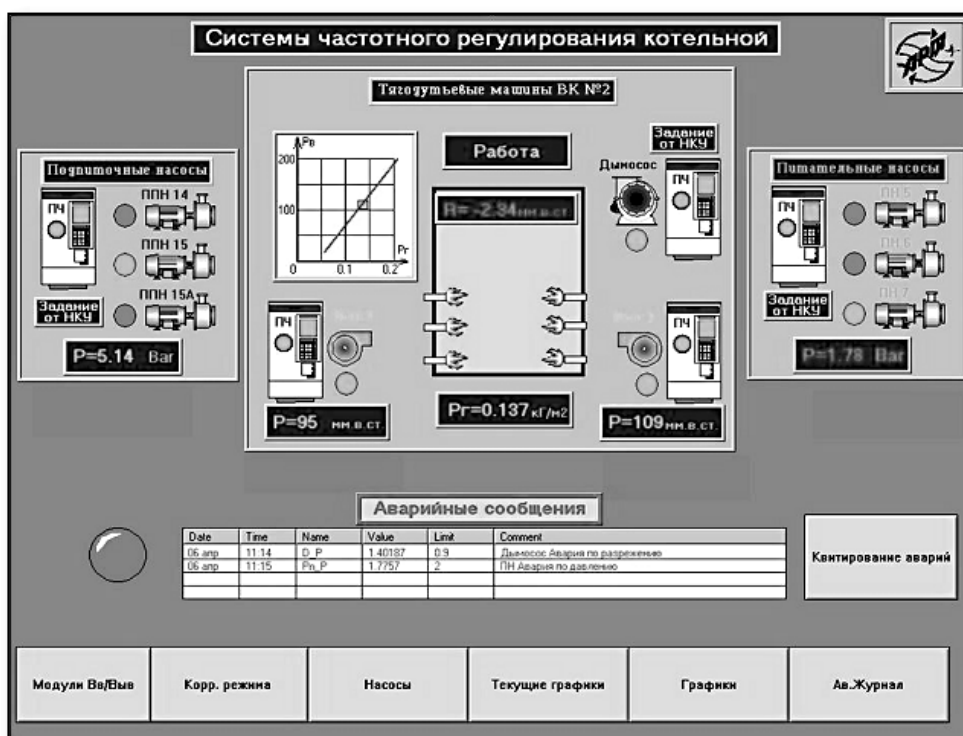


Рис. 8. Главное окно поста оператора

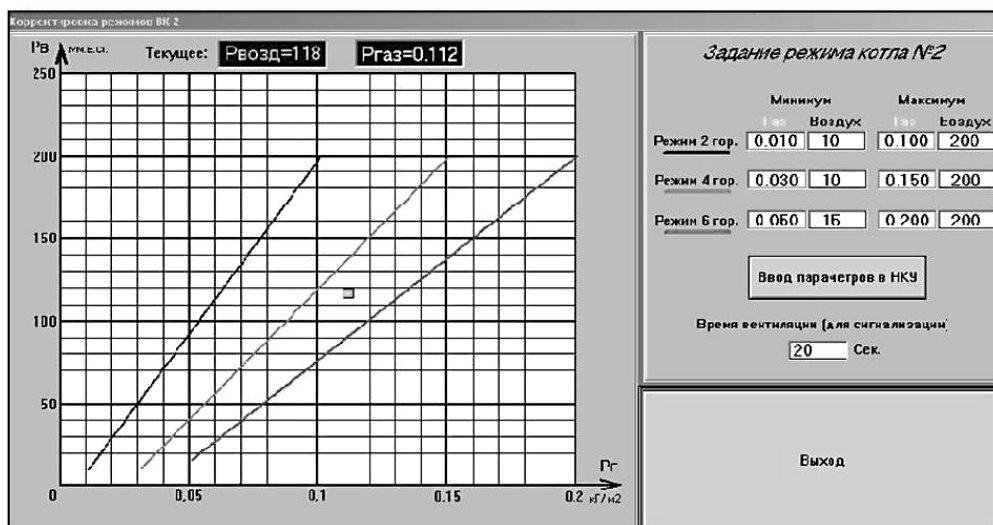


Рис. 9. Окно корректировки режимной карты котла и настройки СЧР вентиляторов

в рабочий режим поддержания заданного разрежения в топке котла. При штатной или аварийной остановке котла переход дымососа в режим «Розжиг» или «Работа» возможен только после предварительного выполнения режима «Вентиляция» и проведения полной вентиляции топки котла.

СЧР дутьевых вентиляторов поддерживает давление воздуха в воздуховоде горелок в соответствии со значением давления газа, поступающего на горелки, и режимной картой котла и обеспечивает плавное регулирование производительности двух дутьевых вентиляторов изменением частоты вращения с контролем состояния оборудования и параметров технологического процесса. Каждый из вентиляторов работает на три из шести горелок топки котла и управляется от своего ПЧ с независимыми настройками.

СЧР обеспечивает работу дутьевых вентиляторов в трех режимах:

- в режиме вентиляции на фиксированной частоте при полностью открытом направляющем аппарате вентилятора;
- в режиме розжига на фиксированной частоте при регулировании оператором давления воздуха направляющим аппаратом вентилятора;
- в рабочем режиме автоматического поддержания давления воздуха в зависимости от давления газа согласно режимной карте котла.

В рабочем режиме, в зависимости от тепловой нагрузки котла, возможна работа с двумя, четырьмя или шестью горелками. Для этого во встроенном контроллере ПЧ запрограммированы графики трех режимных карт котла для поддержания требуемого соотношения

«газ– воздух». Коррекция режимных карт может выполняться как с панели управления ПЧ, так и от АСДУ.

Система диспетчерского управления предназначена для автоматизированного сбора, предварительной обработки, хранения, отображения и документирования информации о технологических параметрах и состоянии локальных СЧР и технологического оборудования, а также для дистанционного задания уставок регулирования технологических параметров и коррекции режимных карт работы тягодутьевых механизмов котлов.

Главное окно поста оператора показано на рисунке 8.

В центральной части окна расположены три панели отображения основной текущей информации по системам частотного регулирования – панель подпиточных насосов, панель тягодутьевых машин водогрейного котла и панель питательных насосов паровых котлов.

На панели выводится: состояние ПЧ и нагнетателей – подсветкой разными цветами, значения технологических параметров и источник задания уставок (с поста управления СЧР или от СДУ) – текстовыми сообщениями. Цвет отображения значений технологических параметров меняется в зависимости от соотношения этих значений с установленными для них аварийными и предупредительными пределами.

Кроме этого, на панели тягодутьевых машин находится планшет режимной карты с выполняемым графиком соотношения газ/воздух и текущей рабочей точкой. В центральной части панели размещается изображение топки котла, меняющее цвет фона в зависимости от выполняемого режима.

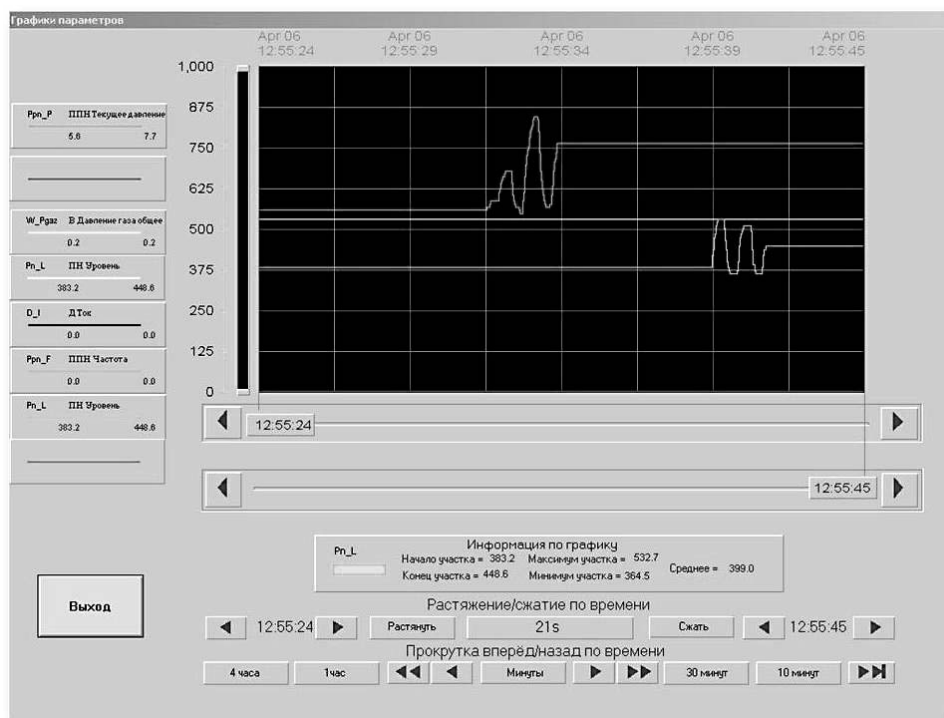


Рис. 10. Окно просмотра архивной информации

Ниже панелей СЧР расположено окно аварийных сообщений. Одновременно эти сообщения записываются в аварийный журнал.

В нижней части окна расположены кнопки перехода в другие окна СДУ. Например, для корректировки режимной карты котла нажатием клавиши «Корр. Режима» в главном окне вызывается всплывающее окно корректировки режима, показанное на рисунке 9.

При работе СДУ автоматически осуществляется архивирование значений технологических параметров в базе данных специального формата в суточных файлах, размещаемых на жёстком магнитном диске промышленного компьютера (рис. 10).

Связь между локальными СЧР и оборудованием автоматизированной системы диспетчерского управления (АСДУ) осуществляется по интерфейсу RS-485 с обменом данными по протоколу Modbus. Локальные СЧР построены на базе преобразователей частоты фирмы Vascon PLC, которые допускают программирование встроенного контроллера дополнительными функциями управления.

Все локальные СЧР имеют свои посты управления, допускают работу нагнетателей прямым пуском от сети с местных постов.

Котлы, работающие на природном газе, «поддаются» автоматизации достаточно легко. В то же время существуют котлы, работающие на

смеси газов. Например, в топках утилизационных котлов ТЭЦ ОАО «Северсталь» может одновременно сжигаться доменный газ, коксовый газ и природный газ. При этом калорийность смеси, как правило, неизвестна. Автоматическое управление параметрами топочных процессов в подобных случаях возможно обеспечить при наличии автоматически работающих калориметров и режимных карт, разработанных для сжигания газовых смесей различного состава.

Для котлов, работающих на жидком топливе, при разработке СЧР ТДМ также требуется учитывать качество топлива (особенно мазута), предусматривать управление дополнительным оборудованием, обеспечивающим подготовку и подачу топлива на горение. В состав управляемого средствами АСУ котла оборудования целесообразно включать, например, устройства подогрева топлива, блоки управляемых фильтров, диспергаторы, топливные насосы и т. п.

Наиболее сложными являются решения СЧР для управления параметрами топочных процессов котлов, работающих на твердом топливе. К этой категории котлов относятся, например, энергетические парогенераторы крупных ТЭЦ и ГРЭС. Применение ТЧР для управления параметрами топочных процессов твердотопливных котлов позволяет получить существенный эффект при одновременной реконструкции и автоматизации их систем топли-

воподготовки и топливоподачи, обеспечения точного дозирования количества подаваемого на горение топлива.

В период с 1999 по 2007 год Инженерным центром «АРТ» разработаны типовые решения СЧР для основных технологических подсистем котельных с учётом особенностей применяемого сегодня оборудования.

Эти локальные системы частотного регулирования окажутся полезными на большинстве

эксплуатирующихся сегодня в России отопительных и производственных котельных. Они могут приобретаться конечными пользователями или включаться в проекты генподрядных организаций, выполняющих строительство или реконструкцию объектов. Имеющие стандартные интерфейсы СЧР легко включаются в информационные системы объектов и позволяют строить АСУ ТП, повышающие качество и надёжность управления и облегчающие труд персонала.