

## ВНЕДРЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ – ОДИН ИЗ ЛУЧШИХ СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В.А. МЕНДЕЛЕВИЧ (ЗАО “НВТ–Автоматика”)



В статье рассказано об опыте ЗАО “НВТ-Автоматика” по созданию эффективных систем автоматического регулирования (САР). Рассмотрено несколько типовых САР, выполненных на базе ПТК “САРГОН”: САР энергетических котлов ТЭС с поперечными связями, САР энергоблока; САР мощного воздушного компрессора с турбинным приводом; САР установки по производству непрерывного стекловолокна. Отмечены особенности реализации САР в ПТК “САРГОН”.

Одним из наиболее результативных способов повышения эффективности основного теплоэнергетического оборудования электростанций и других промышленных предприятий является внедрение современных систем всережимного автоматического регулирования.

“Традиционные” локальные автоматические регуляторы, до настоящего времени функционирующие на многих объектах, физически и морально устарели и не отвечают современным требованиям по объему и уровню функциональности, качеству регулирования. На элементарных регуляторах невозможно реализовать современные эффективные алгоритмы. На многих объектах препятствиями для эффективной работы также являются изношенные исполнительные механизмы и неточные измерения регулируемых величин.

Современная система автоматического регулирования (САР) энергетической установки/энергоблока, поддерживая оптимальные значения технологических параметров для каждого режима, обеспечивает одновременное решение нескольких важнейших задач:

- значительное снижение расхода топлива и других энергоресурсов;
- продление сроков службы основного технологического оборудования за счёт оптимизации как установившихся режимов, так и переходных процессов;
- повышение надёжности и безопасности работы энергооборудования, включая выполнение требований Ростехнадзора;
- снижение вредных выбросов в окружающую среду;

- снижение эксплуатационных расходов (затраты на ремонты и обслуживание, повышение готовности).

Внедрение систем эффективного регулирования сложных технологических процессов выработки тепловой и электрической энергии позволяет существенно повысить экономичность работы энергооборудования, обеспечивая до 5 % экономии топлива. В случае потребления энергоресурсов другого вида (пара, электроэнергии, сжатого воздуха и т.п.) их экономия может быть ещё больше.

Современные САР обеспечивают точное поддержание значений регулируемых параметров во всех режимах эксплуатации, что достигается применением эффективных методов автоматического регулирования технологических параметров: использование корректирующих регуляторов и опережающих звеньев, автоподстройка параметров регулирования, учёт люфта исполнительных механизмов, возможность динамического изменения структуры регулятора. Обеспечиваемая этим стабильность режимов работы основного оборудования позволяет **увеличить срок его эксплуатации на 10–15 %** (по данным экспертов ЕЭС).

Повышение надёжности и безопасности работы энергооборудования обеспечивается ослаблением влияния ошибок оператора (“человеческого фактора”) и более высокой, чем у человека, скоростью реакции системы на различные внешние воздействия (например, на резкое изменение нагрузки). В результате, внедрение САР технологической установки значительно сокращает число аварийных ситуаций.

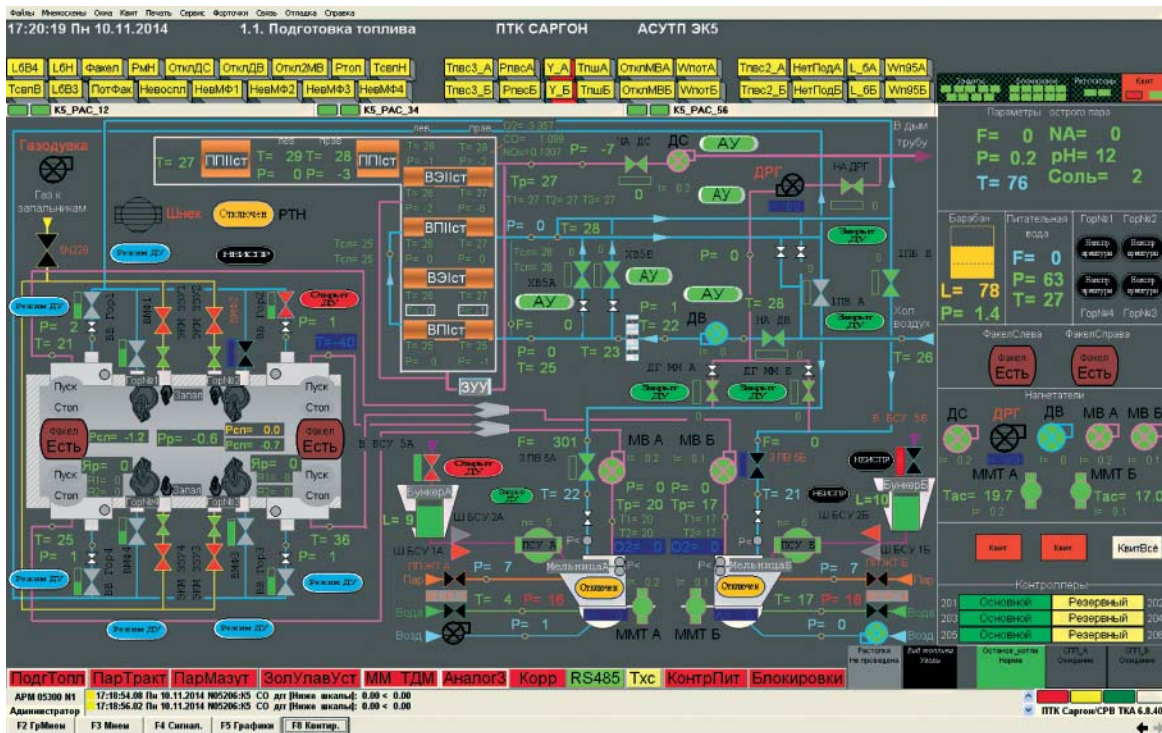


Рис. 1. Основная мнемосхема АСУ ТП энергетического котла на пылеугольном топливе

В установках, сжигающих топливо, оптимизация топчного режима путем оптимального регулирования соотношения топлива и воздуха с коррекцией по концентрации СО в уходящих газах позволяет **сократить выбросы оксидов азота и оксидов углерода до 1,5 %**.

Для достижения реального эффекта от внедрения САР необходима комплексная реконструкция системы, включая взаимно согласованную реализацию всех контуров регулирования и частичный ремонт/замену исполнительных механизмов и датчиков КИП.

Значительное снижение эксплуатационных расходов может быть достигнуто при переносе управления энергетическими установками на объединённые диспетчерские с сокращением количества операторов (особенно, для маломощных установок), но для этого должны внедряться полнофункциональные АСУ ТП установок с защитами и блокировками, а не только САР.

### ОПЫТ ЗАО “НВТ-Автоматика” ПО СОЗДАНИЮ ЭФФЕКТИВНЫХ САР

Коллектив ЗАО “НВТ-Автоматика” сформировался в отделе систем управления крупного наладочного предприятия. Основными задачами отдела была разработка и наладка именно

систем автоматического регулирования различных энергетических установок. При этом охватывался широкий спектр промышленных предприятий и технологий преобразования энергии (котлы, турбины, компрессора, печи, установки водоподготовки и разделения воздуха и др.). Имея изначальный опыт создания сложных систем регулирования ответственных технологических процессов, “НВТ-Автоматика” активно использовала его при разработке ПТК “САРГОН” и создании систем автоматического регулирования на его основе.

Рассмотрим несколько типовых САР, выполненных на базе ПТК “САРГОН”.

### САР ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОТЛОВ ТЭС С ПОПЕРЕЧНЫМИ СВЯЗЯМИ

Наибольший экономический эффект на электростанции с поперечными связями даёт внедрение САР котлов, так как эта система обеспечивает непосредственную экономию топлива, а современные котельные регуляторы отличаются высокой сложностью и взаимозависимостью.

Рассмотрим состав САР энергетической котельной установки на пылеугольном топливе (рис. 1), например, очень распространённого на электростанциях России типа БКЗ-220.

САР включает более двух десятков контуров регулирования:

- регулятор тепловой нагрузки;
- регуляторы питания котла водой (всерезжимный);
- регулятор общего воздуха, с коррекцией по содержанию  $O_2$  в входящих газах;
- регулятор разрежения в топке;
- регуляторы расхода воздуха на нижнее и верхнее дутье;
- регуляторы подачи сушильного агента на мельницы;
- регуляторы температуры пара (впрыски);
- регуляторы непрерывной продувки;
- регуляторы температуры пылевоздушной смеси;
- регуляторы загрузки мельниц;
- регуляторы рециркуляции.

Точный перечень регуляторов для конкретного котла определяется составом технологического оборудования и может значительно отличаться даже для однотипных установок одной станции, если они проходили реконструкцию в разное время.

Реализация данных регуляторов в виде единой САР котла в современном программно-техническом комплексе обеспечивает:

- четкое поддержание давления и температуры горячего пара на выходе котла;
- оптимальное ведение процесса сжигания топлива (поддержание оптимального соотношения топливо/воздух и других параметров процесса сгорания топлива);
- оптимальную подготовку топлива к сжиганию;
- равномерность подачи топлива за счет распределения загрузки мельниц;
- равномерное ведение режимов котла за счет многосвязного многопараметрического регулирования;
- минимизацию выбросов пара в атмосферу;
- минимизацию расхода электроэнергии на собственные нужды.

При этом источниками экономии энерго-ресурсов в результате реализации САР являются:

- поддержание оптимального соотношения топливо/воздух обеспечивает наиболее высокий КПД котла;
- стабилизация температуры свежего пара на всех режимах работы котла обеспечивает повышение износостойкости металлических поверхностей нагрева и сокращение потребления топлива за счёт уменьшения перегревов;

- поддержание оптимальных параметров пара, подаваемого на турбину, обеспечивает работу турбины с заданным КПД, снижение себестоимости электроэнергии и существенно сокращает износ последних ступеней турбины;
- равномерность подачи топлива за счет оптимального распределения загрузки мельниц позволяет избежать перерасхода топлива;
- уменьшение потери тепла с уходящими газами существенно повышает экономичность работы котла;
- достижение оптимальной температуры угольной пыли за счет регулирования температуры сушильного агента обеспечивает снижение образования оксидов азота и снижение затрат энергии на сжигание топлива.

Значительный дополнительный эффект (до 1 % экономии топлива) даёт групповое регулирование распределения нагрузок по котлам, позволяющее эксплуатировать оборудование в зоне оптимальных для него нагрузок и с максимальным КПД.

На котельных установках основной экономический эффект достигается от экономии топлива и от продления ресурса работы котельного оборудования.

ЗАО «НВТ-Автоматика» имеет большой опыт создания САР энергетических котлов различной мощности, работающих на пылеугольном топливе, природном газе, мазуте, а также сложных газовых смесях, включающих коксовый и доменный газы. Чем дороже и сложнее топливо, тем выше эффект от внедрения комплексной САР котла.

#### САР ЭНЕРГОБЛОКА

Отличительной особенностью САР энергоблока является взаимосвязанность САР технологических установок, входящих в энергоблок. В САР энергоблока появляется два дополнительных источника повышения энергоэффективности: регулирование мощности блока и оптимизация пусковых режимов работы.

Регулирование мощности энергоблока, которое по современным стандартам должно осуществляться с высокой точностью и быстрой реакцией на отклонения, реализуется системой автоматического управления мощностью (САУМ). Внедрение САУМ позволяет аттестовать энергоблок для участия в регули-

ровании частоты и мощности в энергосистеме, за которое системный оператор выплачивает регулярное вознаграждение. При этом остальные регуляторы энергоблока должны автоматически отслеживать существенные изменения режима работы, вызванные изменением мощности.

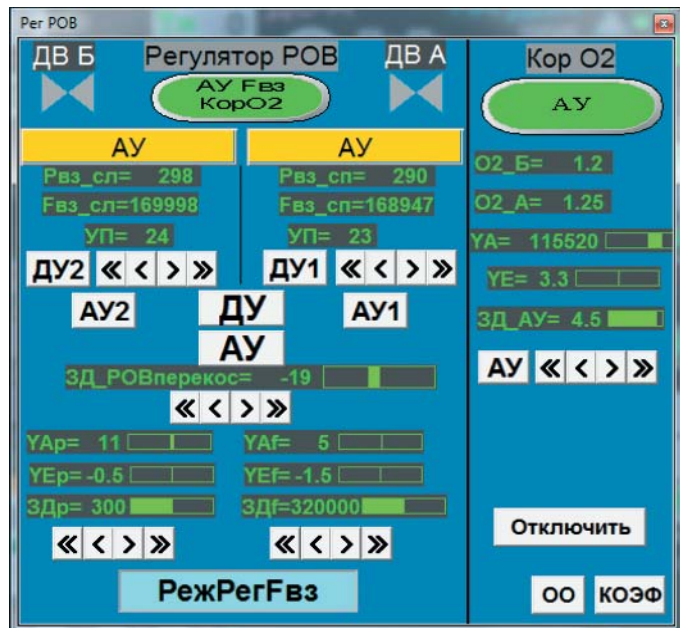
Взаимосвязанность работы установок значительно усложняет пусковые режимы работы энергоблока, многие из которых могут быть длительными. Эффективная работа САР в пусковых режимах, позволяет ускорить выполнение пусковых операций и сократить потери энергии при пуске.

Рассмотрим пример системы регулирования энергоблока мощностью 160 МВт, барабанный котёл которого оснащён девятью газомазутными горелками. САР включает более 60 контуров регулирования:

- регулятор мощности энергоблока (САУМ, многоконтурный);
- регулятор питания котла (всерезимный);
- регулятор топлива при отдельном и совместном сжигании газа и мазута;
- регулятор общего воздуха с коррекцией по кислороду (рис. 2);
- регулятор разрежения с коррекцией по температуре уходящих газов;
- регулирование подачи нижнего и верхнего воздуха с оптимизацией выбросов NOx и CO и перекосов по O<sub>2</sub>;
- регуляторы температуры пара (впрыски) нитки А и Б (6 шт.);
- регулятор уровня конденсата в демпферной емкости калориферов котла;
- регуляторы уровня в ПНД (4 шт.);
- регулятор уровня в ПВД (3 шт.);
- регулятор уровня в конденсаторе турбины;
- регуляторы уровня и давления в деаэраторе;
- регулятор уровня в баке низких точек;
- регулятор давления пара на уплотнения ЦНД турбины;
- регуляторы соотношения газ/воздух горелки (9 шт.);
- стабилизатор расхода газа на горелку (9 шт.).

Внедрение современной САР энергоблока обеспечивает:

- чёткое поддержание электрической и тепловой (для теплофикационных энергоблоков) мощности в соответствии с изменяющейся частотой электрической сети и заданием;
- оптимальный режим работы котельной установки, что уже рассматривалось выше;



▲ Рис. 2. Объектное окно трёхконтурной САР общего воздуха котла с коррекцией по кислороду

- оптимальный режим работы паротурбинной установки, обеспечивающий снижение числа локальных отключений в схеме регенерации, снижение повреждаемости лопаток, продление срока службы оборудования и т.п.;
- минимизацию расхода электроэнергии на собственные нужды.

ЗАО “НВТ-Автоматика” имеет успешный опыт создания на базе ПТК “САРГОН” САР энергоблоков мощностью от 20 до 300 МВт, работающих на пылеугольном топливе, природном газе и мазуте.

### САР МОЩНОГО ВОЗДУШНОГО КОМПРЕССОРА С ТУРБИНЫМ ПРИВОДОМ

Мощные воздушные компрессора, например доменные, являются крупными потребителями энергоресурсов, а стабильность их работы сильно влияет на функционирование производства, которое они обеспечивают сжатым воздухом. Цена аварийного прекращения подачи воздуха в доменную печь очень высока, поэтому доменные компрессоры стали оснащаться комплексными САР раньше большинства энергетических установок.

Самыми сложными на доменном компрессоре являются регуляторы производительности компрессора и противопомпажный.

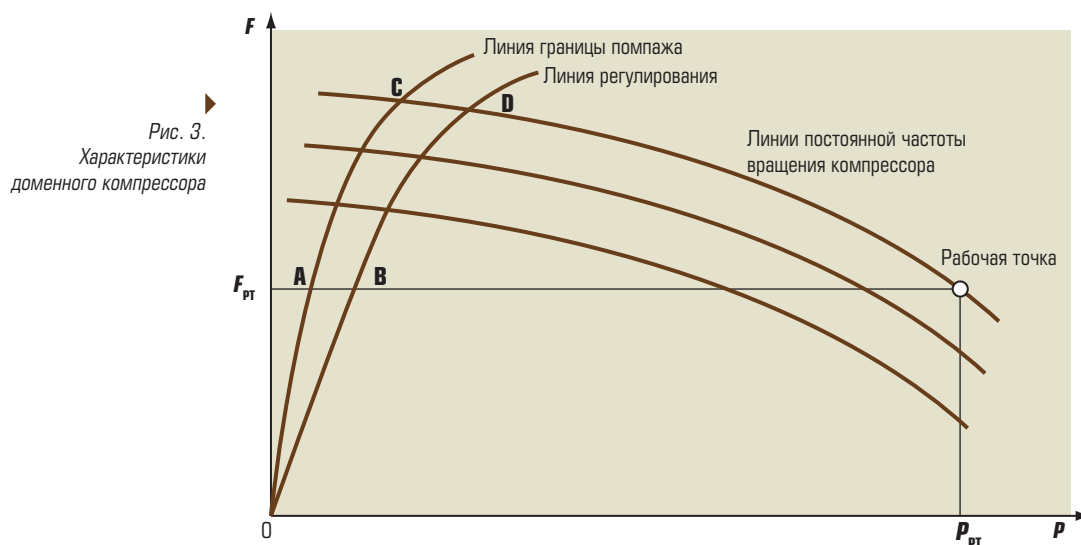


Рис. 3. Характеристики доменного компрессора

Назначение противопомпажного регулятора — предупредить срабатывание противопомпажной защиты, удаляя компрессор от линии помпажа. Для этого необходимо в реальном времени вести пересчет нелинейных характеристик воздушного тракта компрессора и границы помпажа, обеспечив продолжительность программного цикла обработки данных не более 50 мс. От качества работы противопомпажного регулятора зависит допустимое удаление рабочей точки компрессора от линии помпажа, которое значительно влияет на экономичность компрессора.

Регулятор производительности компрессора имеет сложную двухконтурную структуру, так как в зависимости от технологических условий должен поддерживать постоянным или расход, или давление воздуха.

Турбинный привод увеличивает перечень регуляторов установки на типичные паротурбинные.

Специалисты ЗАО «НВТ-Автоматика» имеют более чем 20-летний опыт по автоматизации мощных компрессоров. Эффективность САР компрессоров, предлагаемых ЗАО «НВТ-Автоматика», обеспечивается отработанностью алгоритмов регулирования, высокой надёжностью и быстродействием программно-технических средств ПТК «САРГОН». Характеристики одного из доменных турбокомпрессоров показана на рис. 3.

### САР УСТАНОВКИ ПО ПРОИЗВОДСТВУ НЕПРЕРЫВНОГО СТЕКЛОВОЛОКНА

Основой установок по производству стекловолокна различного типа являются печи.

Особенностью установки по производству непрерывного стекловолокна является наличие фильерных питателей, через которые вытягивается нить. Питатели делаются из платинового сплава — платина в производстве стекловолокна является расходным материалом! При этом качество нити и производительность установки сильно зависят от точности поддержания температуры питателя, нагреваемого электрическим током. При температуре питателя около 1200 °С, отклонение значения должно быть минимальным. Максимально допустимым является отклонение в 1 °С, но при этом нередко случается обрыв стеклонити.

ЗАО «НВТ-Автоматика» разработало и успешно тиражирует типовое решение по реализации САР питателей. Для повышения точности поддержания температуры был реализован комплекс мероприятий:

1. Повышена точность измерительного преобразования температуры. Для этого сигнал с термопары подаётся непосредственно на вход контроллера без промежуточных преобразователей (во многих схемах его сначала преобразуют в 4–20 мА, что приводит к двойному преобразованию и почти удвоению ошибки измерения).
2. В контроллере ПТК «САРГОН» используется АЦП высокой разрядности, что обеспечивает прецизионность преобразования сигнала.
3. Эффективный алгоритм регулирования вырабатывает оптимальное воздействие на питатель.
4. Прецизионный ЦАП формирует точный выходной аналоговый сигнал.

В результате величину отклонения температуры питателя удалось сократить с 1 °С до 0,5 °С, что

позволило повысить качество продукции, значительно сократить время простоя дорогого оборудования и снизить стоимость обслуживания.

### ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ САР В ПТК “САРГОН”

При разработке ПТК “САРГОН” его применение для создания систем автоматического регулирования планировалось как одно из основных. Большой опыт по САР, имевшийся у разработчиков ПТК, позволил сделать “САРГОН” эффективным инструментом для создания таких систем:

1. Распределённая структура ПТК “САРГОН” в сочетании с высоким быстродействием контроллеров и сетевых интерфейсов обеспечивает простоту частичной модернизации существующей системы управления. Это минимизирует затраты на встраивание новой САР в существующую систему контроля и управления установки.
2. Масштабируемость распределённой системы позволяет использовать однотипные решения на широком классе объектов различной мощности.
3. Встроенная в ПТК “САРГОН” технология поэтапной модернизации обеспечивает эффективное дальнейшее наращивание САР до полномасштабной АСУ ТП.
4. Библиотека типовых функциональных блоков ПТК “САРГОН” содержит полный набор элементов для построения САР, включая алгоблоки задатчиков, ПИД, ПДД<sup>2</sup>, ШИМ, антилюфт и др. Открытый характер библиотеки позволяет разработчику САР расширить её своими типовыми функциональными блоками.
5. Объектная структура ПО ПТК “САРГОН” позволила создать и значительно более крупные типовые элементы, которые упрощают процесс создания САР на установках определённого класса. Базовым типом для всех таких элементов является *типовой одноконтурный регулятор с обратной связью*. Он включает блоки формирования расогласования, регулирования (реализация ПИД алгоритма), формирования выхода, вычислений и реакций.
6. ПТК “САРГОН” поддерживает современные технологии построения регуляторов, включая “нечёткую логику”.

7. Мощная графическая подсистема ПТК “САРГОН” позволяет проводить глубокий анализ переходных процессов, что значительно упрощает наладку САР.
8. Большой опыт по реализации САР позволил ЗАО “НВТ-Автоматика” разработать наборы типовых регуляторов для наиболее распространённых энергетических установок.
9. В состав ПТК “САРГОН” входит специализированное программное средство для настройки САР, которое позволяет автоматизировать процесс подбора коэффициентов для настройки регулятора с требуемым качеством.

### СРОК ОКУПАЕМОСТИ ЗАТРАТ НА ВНЕДРЕНИЕ САР НА ПРИМЕРЕ КОТЛА БКЗ-220

Как уже отмечалось, основу экономического эффекта от внедрения САР котла составляют снижение расхода топлива и продление срока эксплуатации технологического оборудования.

Расчёт, проведённый ЗАО “НВТ-Автоматика”, по САР котла БКЗ-220 в ценах 2014 г. показал следующее:

1. Годовой эффект от снижения расхода топлива составил 20 % от стоимости создания САР котла на ПТК “САРГОН”.
2. Эффект от продления сроков службы основного технологического оборудования составил 12 % от стоимости создания САР котла. Срок простой окупаемости от внедрения САР котла на ПТК “САРГОН” составил 3,1 года.

### ВЫВОДЫ

Внедрение современной САР является одним из наиболее энергетически эффективных мероприятий и, как правило, имеет короткий срок окупаемости.

Комплексность подхода – важная составляющая эффективности внедрения САР.

Сложность задачи создания современной САР предъявляет жёсткие требования к квалификации разработчиков и наладчиков системы.

ПТК “САРГОН” является эффективным средством создания САР технологических установок различных типов.