



**МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ СИСТЕМЫ  
АВТОМАТИЧЕСКОГО  
РЕГУЛИРОВАНИЯ ТУРБОАГРЕГАТОВ  
В МЕТАЛЛУРГИИ**





## COMPRESSOR CONTROLS CORPORATION (USA) ЛИДЕР В МИКРОПРОЦЕССОРНОМ АВТОМАТИЧЕСКОМ РЕГУЛИРОВАНИИ ТУРБОАГРЕГАТОВ В МЕТАЛЛУРГИИ

**А**мериканская фирма Compressor Controls Corporation (CCC) — признанный мировой лидер в области новейших технологий автоматизации управления и регулирования турбоагрегатов для энергетической, нефтеперерабатывающей, нефтехимической, химической, газовой, металлургической, пищевой, фармацевтической, горнодобывающей и других отраслей промышленности.

Более четверти века решение проблем регулирования и управления сложными турбомашинами и группами турбоагрегатов было и остается основным делом фирмы. Вряд ли есть другая компания, которая была бы равной CCC по целенаправленности бизнеса, по опыту и масштабам успешного внедрения современных микропроцессорных систем управления и регулирования именно таких объектов.

К началу 2003 г. системами фирмы оснащено более 7000 объектов в разных регионах мира, включая

страны бывшего Советского Союза и Восточной Европы, где к настоящему времени работает более 1700 систем CCC разного уровня и назначения.

За прошедшие годы фирма внесла весомый вклад в теорию и практику автоматизации турбоагрегатов, разработала и внедрила десятки новых оригинальных защищенных патентами своих стран алгоритмов и способов управления и регулирования. Это позволило завоевать уникальную приверженность многочисленных заказчиков на мировом рынке. 80% заказчиков фирмы — это повторные заказчики, что свидетельствует о стабильности спроса на продукцию CCC.

Фирма работает в тесном контакте с заказчиками. В фокусе ее внимания — как само турбомашинное оборудование, так и технологические процессы, в которых это оборудование участвует. Вместе с заказчиками, которые по праву считаются основными партнерами фирмы, ее инженеры умеют правильно определить проблемы и найти наиболее рациональные методы их решения.



**CCC предлагает своим многочисленным мировым заказчикам интегрированные системы управления и регулирования, которые точно и полно отвечают их требованиям и нуждам, независимо от типа турбоагрегатов и областей их применения.**

## Системы ССС на объектах металлургии

**Н**аряду с поставкой систем автоматического регулирования и управления для новых агрегатов, фирма обладает большим опытом модернизации систем, находящихся в эксплуатации.

К ним относятся системы автоматического регулирования (САР) фирмы, успешно работающие на объектах металлургической промышленности во всем мире.

Среди заказчиков систем ССС такие известные фирмы как:

U.S. Steel (США), British Steel (Великобритания), Italsider Steel (Италия), Hoogovens (Голландия), Belgium Steel Mill (Бельгия), Tata Iron & Steel Co. (Индия).

ССС поставляет САР как одиночных агрегатов (центробежных и осевых компрессоров с паротурбинным и электроприводом), так и групп агрегатов (групп компрессоров), которые с помощью систем ССС управляются как единое целое с одновременным распределением нагрузки между агрегатами.

Среди автоматизируемых агрегатов, как одиночных, так и входящих в состав групп, имеются:

- △ многосекционные (с промежуточным охлаждением) компрессоры с приводом от паровых турбин для подачи обогащенного кислородом дутья в доменные печи;
- △ электроприводные односекционные и многосекционные компрессоры (с промежуточным охлаждением), предназначенные для:
  - ▶ подачи воздуха на блоки разделения воздуха;

- ▶ подачи кислорода с блоков разделения воздуха в мартеновские печи и конверторы, а также на обогащение дутья для доменных печей;
- ▶ отсоса дымовых газов, образующихся при технологических процессах, включая мартеновский процесс и производство ферросплавов;
- ▶ воздухообеспечения шахт и рудников;
- ▶ подачи воздуха на вспомогательные нужды;
- △ паровые турбины, конденсационные и теплофикационные, и газотурбинные установки для привода компрессоров и электрических генераторов электростанций, обслуживающих объекты металлургии.



Существующие САР компрессоров и паротурбинных приводов являются гидравлическими. Из-за известных, присущих им недостатков (нечувствительность, ограниченное количество выполняемых функций, недостаточная гибкость структуры и т.п.), эти системы не удовлетворяют требованиям по точности и экономичности. Алгоритмы, обеспечивающие выполнение этих требований, принципиально не могут быть реализованы на гидравлических системах, поэтому необходимо периодическое вмешательство оперативного персонала в регулирование технологического процесса. При этом, управляя, например, расходом на печь, оператор манипулирует снортом с соответствующими потерями обогащенного дутья.

**Предлагаемые нами современные микро-процессорные САР эффективно обеспечивают выполнение требований, предъявляемых к точности и экономичности как ведения технологических процессов, так и управления компрессорными агрегатами и их группами.**

Эффективность САР обеспечивается быстродействием, вычислительной мощностью, открытостью, гибкостью конфигурации, развитым алгоритмическим и математическим обеспечением.



### САР ССС, алгоритмическая база которых защищена рядом патентов, предусматривают:

- △ управление объектом как единым целым, оценку протекания технологического процесса и прогнозирование его развития;
- △ возможность оперативного безударного изменения структуры и параметров САР;
- △ применение опережающих, а также вычисляемых управляющих и ограничивающих воздействий;
- △ минимизацию затрат энергоносителей, использование новых технических решений, позволивших исключить часть гидравлических связей в существующих САР без повышения требований к чистоте масла в оставшихся гидравлических узлах.



Алгоритмы ССС обеспечивают:

#### Для технологических процессов:

- △ Максимально точное индивидуальное поддержание в установившихся и переходных режимах регулируемого параметра каждого потребителя (расхода на доменную печь, давления перед печью независимо от ее сопротивления);
- △ Автоматический (или по команде оператора) безударный переход с регулирования расхода на регулирование давления при подключении каупера на подогрев;
- △ Максимально точное поддержание в установившихся и переходных режимах заданных соотношений газов в смесях (концентрации кислорода в обогащенном дутье для каждого его потребителя, повышение чистоты технического

кислорода после блоков разделения воздуха);

- △ Минимальное отклонение параметров режима при больших возмущениях (переключение кауперов);
- △ Исключение потерь через снорты групп компрессоров;
- △ Максимально точное в установившихся и переходных режимах поддержание главного

регулируемого параметра группы (давления или суммарного расхода) на уровне, обеспечивающем минимальные затраты топлива и электроэнергии;

- △ Определение минимально необходимого количества работающих агрегатов, что обеспечивает каждому агрегату работу вблизи номинальных режимов при наибольшем возможном КПД;

- △ Распределение нагрузки между параллельно работающими агрегатами, обеспечивающее минимальные суммарные затраты топлива и электроэнергии;

#### Для компрессоров:

- △ Максимально точное в установившихся и переходных режимах поддержание заданного регулируемого параметра каждого агрегата (частоты вращения с точностью 0,02%, давления нагнетания, давления всасывания, расхода воздуха с точностью не хуже 0,5x1,0%) независимо от возникающих на агрегатном уровне возмущений (изменение параметров пара перед турбиной, атмосферных условий, сопротивления подающего тракта и т.п.);
- △ Точное и максимально эффективное анти-помпажное регулирование, предотвращающее как помпаж, так и неоправданный выпуск рабочего тела (воздух, обогащенный кислородом воздух или кислород);
- △ Эффективное предельное регулирование ограни-

чиваемых параметров (давления всасывания и нагнетания, мощности двигателя и т.п.), предотвращающее неоправданные аварийные остановки.

### Для турбин:

Указанные выше положительные эффекты, получаемые при установке систем фирмы ССС, достигаются в значительной степени за счет модернизации САР паротурбинных приводов.

**Системы ССС, с помощью которых модернизируются САР приводных турбин различного назначения, резко снижают нечувствительность, повышают быстродействие и точность отработки задания и обеспечивают:**

- △ Регулирование и ограничение частоты вращения с программируемой нечувствительностью от 0,02% и выше;
- △ Регулирование и ограничение с точностью не хуже 0,5 x 1,0% таких параметров, как активная мощность генератора, положение сервомоторов регулирующих клапанов, “давление до себя”, давление в отборах, противодавление;
- △ Эффективное ограничение частоты вращения при частичном и полном сбросе нагрузки;
- △ Приоритетное регулирование частоты (для предотвращения аварийной ситуации на объекте воздухоснабжения и в энергосистеме за счет экстренного временного снижения расхода пара в отборы) на турбинах с отборами пара и т.п.;
- △ Противоразгонную защиту;
- △ Независимое управление каждым сервомотором, если клапаны парораспределения турбины оснащены индивидуальными сервомоторами;
- △ Формирование как связанных, так и частично

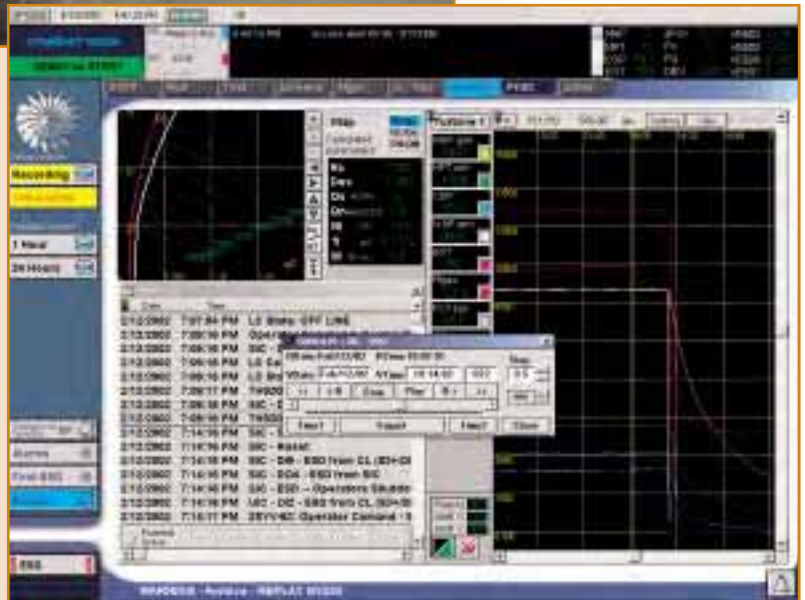
связанных и несвязанных САР на турбинах с отборами пара;

- △ Автоматизацию пуска из любого теплового состояния.

**Внедрение САР ССС позволяет использовать существующую систему маслоснабжения САР, снизить требования к качеству масла, удлинить срок между заменами масла, устранить пуль-**

**сацию сервомоторов и органов парораспределения и удалить все гидравлические узлы регулирования кроме сервомоторов.**

На рис. 1 (стр. 6) показана структурная схема гидравлической САР ССС приводной турбины и компрессора (агрегат №10 ТКА 5500/22) доменной



печи (ДП-8) комбината “Криворожсталь” (г. Кривой Рог) до и после модернизации.

Из рисунка видно значительное сокращение количества гидравлических элементов САР. Система ССС позволила в три раза уменьшить отклонения давления воздуха перед печью при переключении

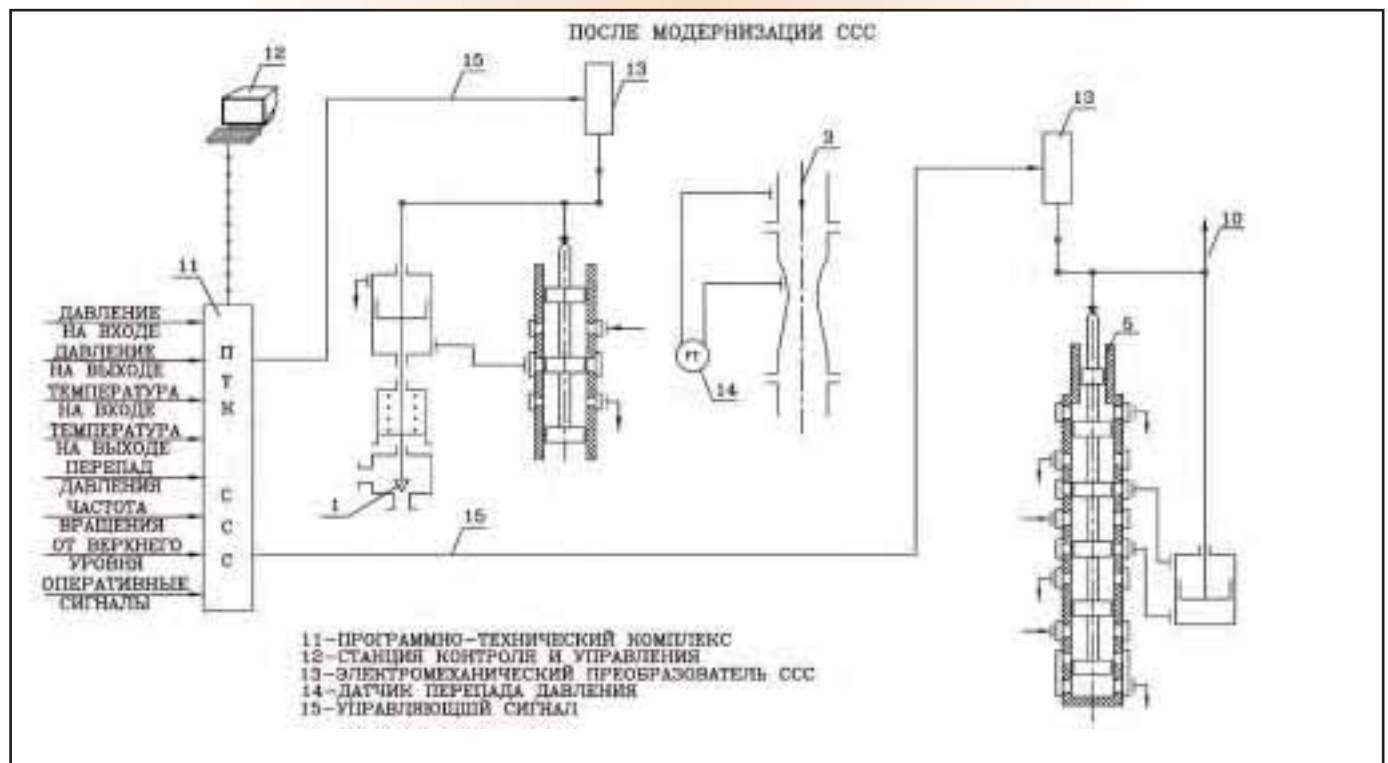
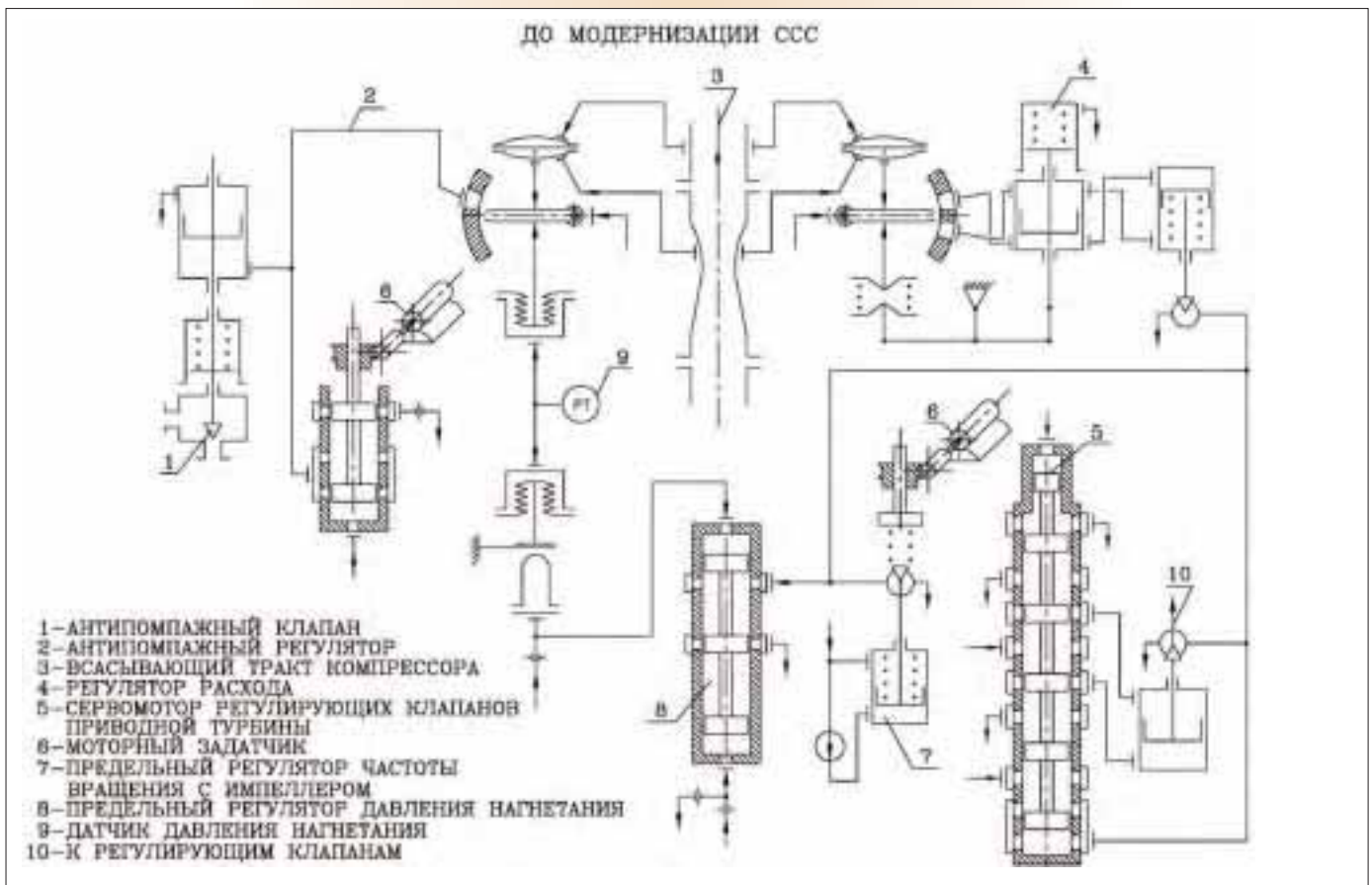


Рис. 1 Структурная схема гидравлической САР ССС приводной турбины и компрессора (агрегат №10 ТКА 5500/22) доменной печи (ДП-8) комбината "Криворожсталь" (г. Кривой Рог) до и после модернизации.



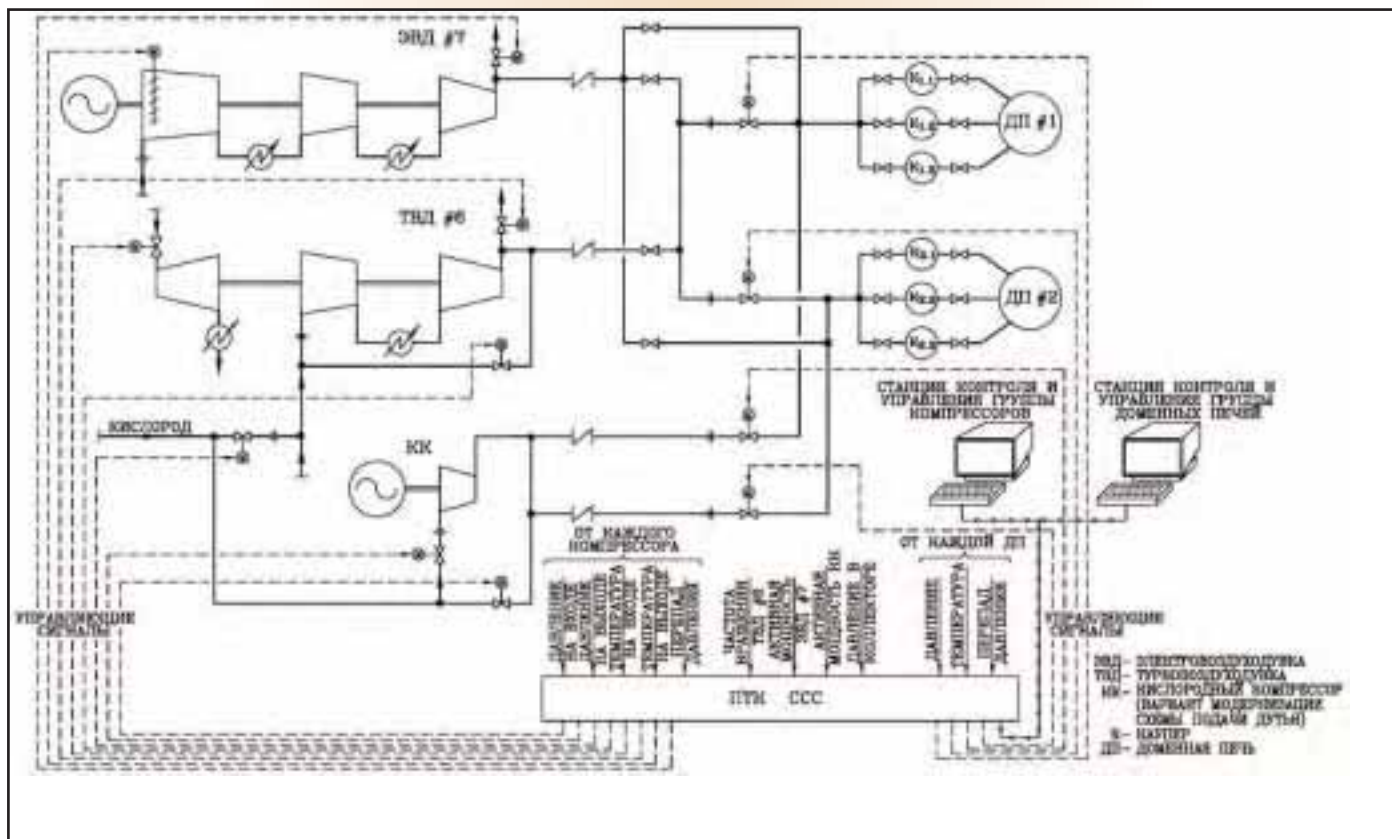


Рис. 2 Структурная схема САР ССС, разработанной для реконструируемой системы подачи обогащенного дутья на доменные печи (ДП-1 и ДП-2) комбината "Северсталь" (г. Череповец).

кауперов, исключить неоправданный сброс обогащенного кислородом воздуха в атмосферу за счет повышения эффективности модернизированного антипомпажного регулирования. Точность поддержания давления воздуха, обеспечиваемая САР ССС, составляет около 0,01 кгс/см<sup>2</sup>, точность поддержания частоты вращения до 1 об/мин. Система введена в промышленную эксплуатацию в декабре 2000 г. Первые пуски показали экономию пара около 80 т за период пуска. В начальный период при переключении кауперов был предотвращен помпаж из-за заклинивания одной из штатных задвижек, что до модернизации привело бы к помпажу компрессора и аварийному останову. Система ССС предотвратила помпаж и останов агрегата.

Опыт эксплуатации показал, что САР ССС работает в автоматическом режиме, исключив ручные операции по поддержанию параметров режима. Оперативный персонал вводит только задаваемое значение параметра.

На рис. 2 (стр. 7) показана структурная схема САР ССС, разработанной для реконструируемой системы подачи обогащенного дутья на доменные печи (ДП-1 и ДП-2) комбината "Северсталь" (г. Череповец).

Схема иллюстрирует гибкость структуры САР, обеспечивающей два варианта совместной работы одного кислородного и двух воздушных компрессоров различной производительности. Система подачи дутья предусматривает два варианта:

- △ подачу дутья на обе печи с подводом кислорода на всасывании одного из воздушных компрессоров (с паротурбинным приводом – ТВД №6), причем другой воздушный компрессор (с электроприводом ЭВД №7) подает воздух на одну из печей на снижение концентрации кислорода;
- △ подачу дутья на обе печи с подводом воздуха от обоих воздушных компрессоров, работающих параллельно, и подводом кислорода

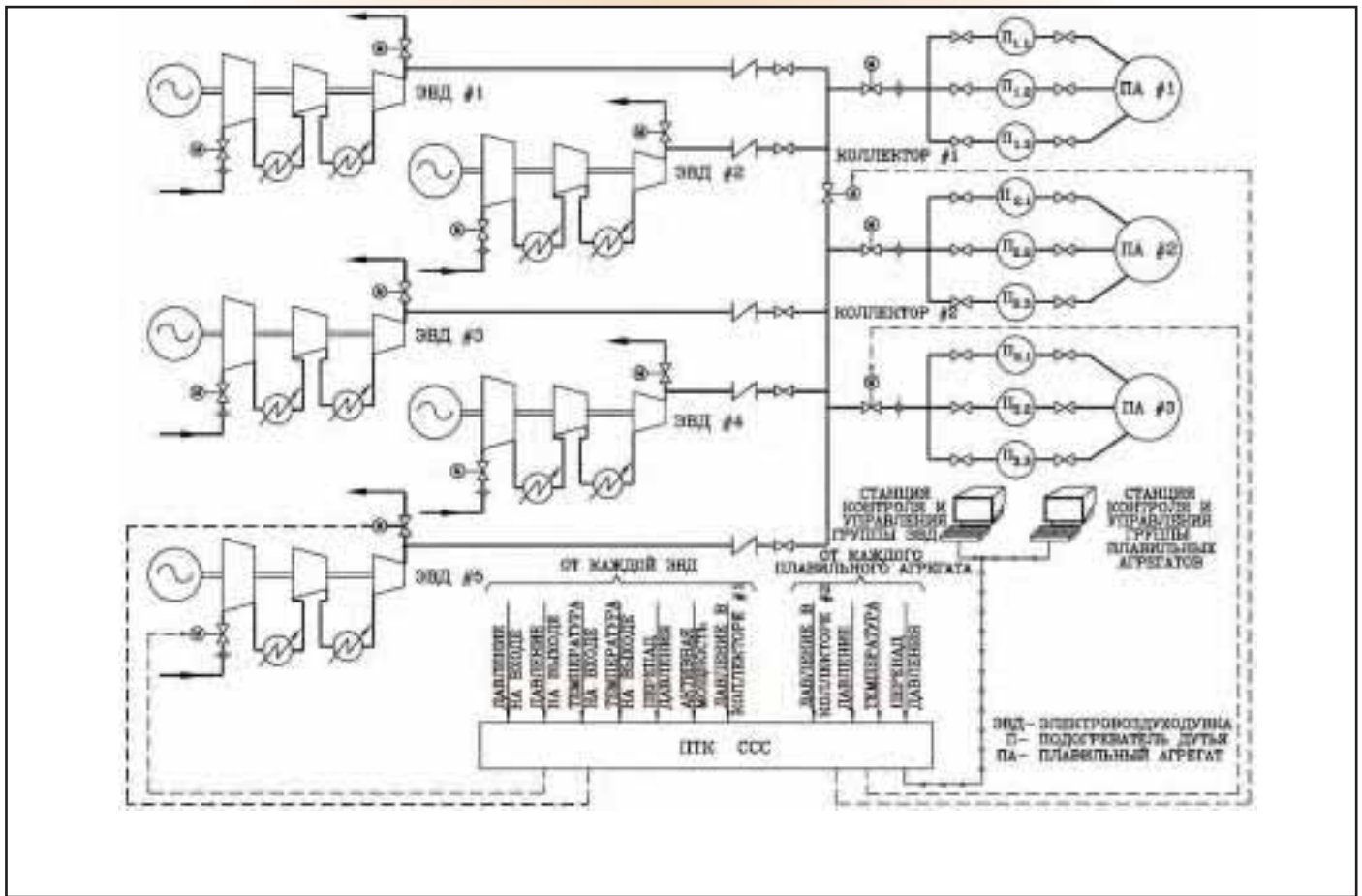


Рис. 3 САР ССС для регулирования технологического процесса сложного объекта, включающего в себя группу из пяти электроприводных компрессоров (электровоздуховок – ЭВД) подачи дутья и трех плавильных агрегатов (ПА), снабжаемых дутьем.

непосредственно перед печами с заданной концентрацией на каждую печь.

**Система ССС обеспечивает оперативный переход с одного варианта на другой непосредственно на объекте применения за счет микропроцессорной техники и гибкой конфигурации.**

На рис. 3 (стр. 8) представлена САР ССС для регулирования технологического процесса сложного объекта, включающего в себя группу из пяти электроприводных компрессоров (электровоздуховок – ЭВД) подачи дутья и трех плавильных агрегатов (ПА), снабжаемых дутьем.

**САР обеспечивает:**

△ индивидуальное регулирование режима каждого ПА (давления перед ПА либо расхода на ПА),

- △ автоматическое определение значений давления в коллекторах №1 и №2, обеспечивающих наименьшие суммарные затраты электроэнергии;
- △ регулирование давлений в коллекторах №1 и №2 с использованием опережающих воздействий между регуляторами для минимизации отклонений регулируемых параметров в переходных режимах;
- △ автоматическое распределение общей нагрузки между компрессорами и управление перепуском между коллекторами №1 и №2, обеспечивающее минимизацию суммарных затрат электроэнергии и предотвращение неоправданного как дросселирования, так и сброса дутья;
- △ автоматическое непрерывное определение возможности отключения избыточного компрессора и подачу соответствующего сигнала на станцию контроля и управления;



△ предельное регулирование ограничиваемых параметров, включая антипомпажное регулирование компрессоров с открытием сброса не далее 7-8% от границы помпажа.

На рисунке показана связь программно-технического комплекса (ПТК) ССС с одной ЭВД, одним ПА и клапаном перепуска между коллекторами. Для других агрегатов связи выполняются аналогично.

ССС также поставил САР ОАО на "Никопольский Завод Ферросплавов" (г. Никополь).

К этой САР предъявляются требования экономичного и точного индивидуального поддержания давления феррогаза (в связи с его пожароопасностью и токсичностью) под сводами рудотермических печей при производстве ферросплавов.

Каждая печь на отводе феррогаза снабжена не только пропорционально управляемой заслонкой, но и рядом дискретно управляемых задвижек.

#### Новая САР фирмы ССС обеспечивает:

- △ предотвращение выброса феррогаза с высоким содержанием СО из печей в атмосферу за счет точного поддержания давления под сводами печей и его эффективного верхнего ограничения при достижении предельного значения;
- △ предотвращение подсоса атмосферного воздуха в печи и возможности взрыва за счет эффективного нижнего ограничения давления под сводами печей при достижении его предельного значения;
- △ дискретное управление задвижками каждой печи, возвращающее пропорционально управляемую заслонку в регулируемое положение, что позволяет

расширить диапазон плавного регулирования давлений под сводами печей.

Все системы ССС независимо от объекта применения (компрессор, турбина, котел, группы этих агрегатов или технологический процесс в целом) построены на единой, стандартизованной элементной базе. Это существенно упрощает эксплуатацию и ремонт систем, особенно при комплексном оснащении агрегатов (турбина – компрессор; электропривод - компрессор и т.п.) единой системой ССС.

#### В состав САР ССС входят:

1. Программно-технические комплексы (ПТК), выпускаемые ССС в настоящее время на базе современной микропроцессорной техники, которые:

- △ имеют открытую аппаратную и программную архитектуру,
- △ снабжены средствами развития,
- △ построены на базе общепринятых мировых стандартов,
- △ в части размеров плат соответствуют Европейскому стандарту,

Рис. 4  
ПТК Series 4



Рис. 5  
ПТК Series 5



Рис. 6  
Контроллер Паровой Турбины



△ обеспечивают полномасштабную поддержку стандарта IEC-61131.

△ имеют операторский интерфейс на базе Windows 2000 (включая OPC и ActiveX).

#### ПТК ССС обеспечивают:

- △ поддержку стандартных скоростных коммуникаций (Ethernet, Profibus и т. д.),
- △ дублированное питание всех устройств от двух независимых сетей,
- △ самодиагностику ПТК, диагностику состояния

датчиков и линий связи,

△ защиту аналоговых входов и выходов от перенапряжения до 240 В переменного тока.

ПТК ССС построены на базе стандартной промышленной скоростной параллельной шины и позволяют осуществлять полномасштабную автоматизацию проектирования на единой базе данных (САПР).

**2.Электромеханический преобразователь электромашинного типа** (с развиваемым перестановочным усилием до 360 кГ, скоростью перемещения до 25 мм за 0,06 сек, массой до 14 кГ) для прямого силового привода отсечных золотников сервомоторов.

**3.Тройной микропроцессорный автомат безопасности**, обеспечивающий опробование всей цепи защиты без повышения частоты вращения.

**4.Современная станция контроля и управления**, обеспечивающая регистрацию, архивирование, отображение и представление информации в соответствии с требованиями конкретного Заказчика, включая архив критических ситуаций тепломеханического и электротехнического ("аварийное осциллографирование") оборудования, а также реализацию команд оператора или АСУ верхнего уровня по управлению оборудованием.

Как показывает опыт, монтажные работы по установке САП ССС в зависимости от объектов модернизации занимают 2-3 недели.

## Научно-технический уровень систем ССС

Непрерывным условием создания систем управления и регулирования, отвечающих конкретным нуждам заказчиков, является постоянное общение между специалистами фирмы и предприятий, где предполагается внедрение наших систем.

Среди различных путей и методов такого творческого обмена мнениями и информацией одно из самых серьезных мест занимает обучение специалистов заказчика. Практически любой контракт предусматривает это условие. Обучение

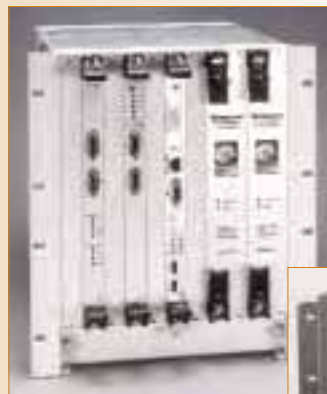


Рис.7 Общий вид ПТК Series 5



Рис. 8 Тройной микропроцессорный автомат безопасности



Рис. 9 Общий вид электромеханического преобразователя электромашинного типа

осуществляется как в штаб-квартире фирмы Compressor Controls Corporation в городе Де Мойне, США, и в Московском представительстве фирмы - самом крупном из международных представительств ССС, так и непосредственно на объектах внедрения систем. Начиная с 1992 года, штаб-квартиру фирмы посетили с целью обучения и ознакомления с деятельностью компании, более 500 специалистов из стран СНГ и Восточной Европы.

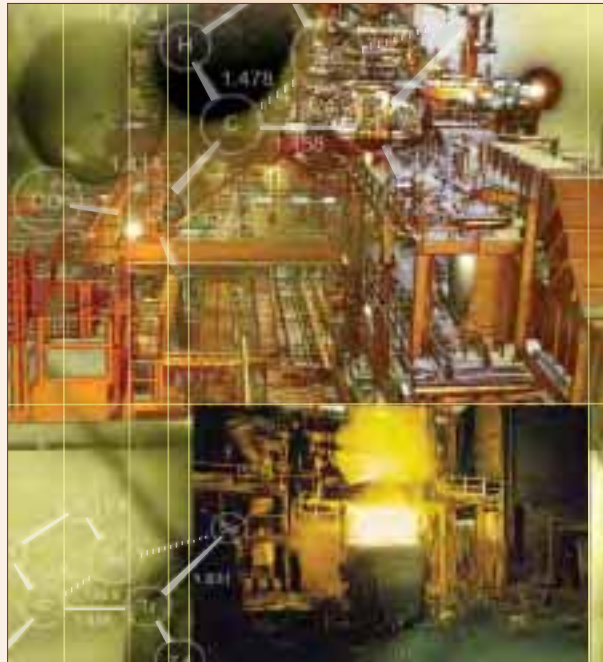
Как показал опыт, системы фирмы достаточно просты в обслуживании. Замена блоков и основных элементов осуществляется силами специалистов КИПиА.

Высокое качество продукции и услуг фирмы подтверждено Сертификатом соответствия стандарту ISO 9001 с 1994 года. Изделия, используемые в системах управления и регулирования фирмы, имеют сертификаты на право применения в странах заказчиков.



## Суммарные преимущества для заказчика при использовании технологии автоматического управления и регулирования компрессоров с турбинным приводом и электроприводом:

- ❑ Умеренная стоимость оборудования и инжиниринга и сжатые сроки модернизации;
- ❑ Существенное повышение эффективности регулирования и ограничения параметров;
- ❑ Значительное упрощение гидравлической части модернизируемой САР и ее эксплуатации за счет исключения всех гидравлических узлов, кроме существующих сервомоторов при сохранении существующей системы маслоснабжения;
- ❑ Значительное упрощение обслуживания и наладки модернизированной САР за счет уменьшения числа гидравлических узлов;
- ❑ Увеличение ресурса основного оборудования за счет:
  - введения эффективных ограничений, предотвращающих режимы, вызывающие повышенные механические и термические напряжения;
  - исключения помпажей компрессоров;
  - устранения пульсации сервомоторов регулирующих клапанов;
  - использования микропроцессорного автомата безопасности, обеспечивающего проверку всей цепи противоразгонной защиты без повышения частоты вращения.
- ❑ Существенное сокращение сроков проведения регламентных работ за счет автоматизации сервисных функций;
- ❑ Повышение надежности модернизируемой САР на основе:
  - комплекса алгоритмических и технических решений и й ;
  - самодиагностики ПТК (до уровня сменного модуля) ;
  - использования традиционно применяемой фирмой ССС "стратегии выживания" в случаях отказов датчиков и каналов связи.



По опыту внедрения и данным наших заказчиков, а также экспертов, применение систем ССС позволяет поднять в среднем давление на выходе воздухоудовки на  $0,2 \text{ кгс/см}^2$ .

При этом:

- производительность доменной печи увеличивается на  $2,4\%$ ;
- расход кокса сокращается на  $1,2\%$ ;
- сокращается вынос колошниковой пыли на  $40-80\%$ ;
- снижается содержание кремния в металле на  $1\%$ ;
- сокращаются потери при переключении кауперов.

Срок окупаемости систем ССС, в зависимости от действующих цен на энергоносители, составляет от  $0,5$  до  $1,5$  года.



За дополнительной информацией о продукции и услугах CCC - мирового лидера в области регулирования и управления турбоагрегатами, обратитесь в Торговое Представительство фирмы в Москве или Головное Предприятие в городе Демойн, штат Айова, США.

CCC располагает опытом и "ноу-хау" для решения проблем управления и регулирования турбоагрегатами.

CCC поможет вашему предприятию достичь максимальной производительности турбокомпрессорного оборудования независимо от сложности технологического процесса.

Inform  
Des Moines  
CCC - Des Moines  
4725 121st Street  
Des Moines, Iowa 50323-2316  
U.S.A.  
T: 515-270-0857  
F: 515-270-1331  
E: [usadesmoines@cccglobal.com](mailto:usadesmoines@cccglobal.com)

CCC - Россия  
ул.Шаболовка 34, стр.2  
Москва, 115419, Россия  
T: 7-495-617-1293/94/95  
T: 7-495-913-9764  
F: 7-495-913-9765  
E: [russia@cccglobal.com](mailto:russia@cccglobal.com)