Система управления газотурбогенератором

Сергей Антоненко, Александр Бойкин, Михаил Верпаховский, Владимир Волчек, Евгений Ефремов, Дмитрий Халпахчи

Рассматривается система управления газотурбогенератором передвижных электростанций, предназначенных для применения на компрессорных станциях магистральных газопроводов, на газовых и нефтяных промыслах.

Система автоматического управления газотурбогенератором ГТГ-1500-2Г мощностью 1500 кВт входит в состав передвижной автоматизированной электростанции ПГТЭС-1500 (рис. 1). Обычно такие электростанции размещаются в двух блоках (контейнерах) и устанавливаются на компрессорных станциях магистральных газопроводов, на газовых и нефтяных промыслах, а также на объектах других отраслей промышленности.

Работа по созданию передвижной электростанции на базе судового газотурбогенератора (ГТГ) была начата в 1994 году по заданию «Газпрома». Заманчивость использования судовой турбины на газовых промыслах заключалась в большом ресурсе работы газотурбогенератора – 100 тыс. часов. Для обеспечения высоких потребительских свойств электростанции необходимо было приспособить газотурбогенератор для работы на природном газе и в тяжелых климатических условиях (например при температуре окружающего воздуха до –55°С). Это потребовало новой разработки нескольких важных элементов ГТГ, основные из которых — камера сгорания и система управления.

Используемая до тех пор система управления на релейной автоматике уже не удовлетворяла современным требованиям и, естественно, требованиям «Газпрома», поэтому было принято решение проектировать новую систему управления на основе микропроцессорной техники. Остановились на наиболее доступных и приемлемых микропроцессорных средствах MicroPC (Octagon Systems).

Наиболее важными особенностями изделий серии MicroPC для построения системы управления газотурбогенератором явились:

- высокая надежность;
- широкий температурный диапазон хранения и работы;
- совместимость с IBM PC, что позволяет сократить сроки разработки и отладки программного обеспечения;
- относительная дешевизна по сравнению с аналогичными техническими средствами;
- широкий набор функциональных модулей.

Использовались также периферийные устройства (устройства сопряжения с объектом) собственной разработки, апробированные в работе на других объектах.



***Рис. 1.** Электростанция ПГТЭС-1500 в районе Нового Уренгоя*

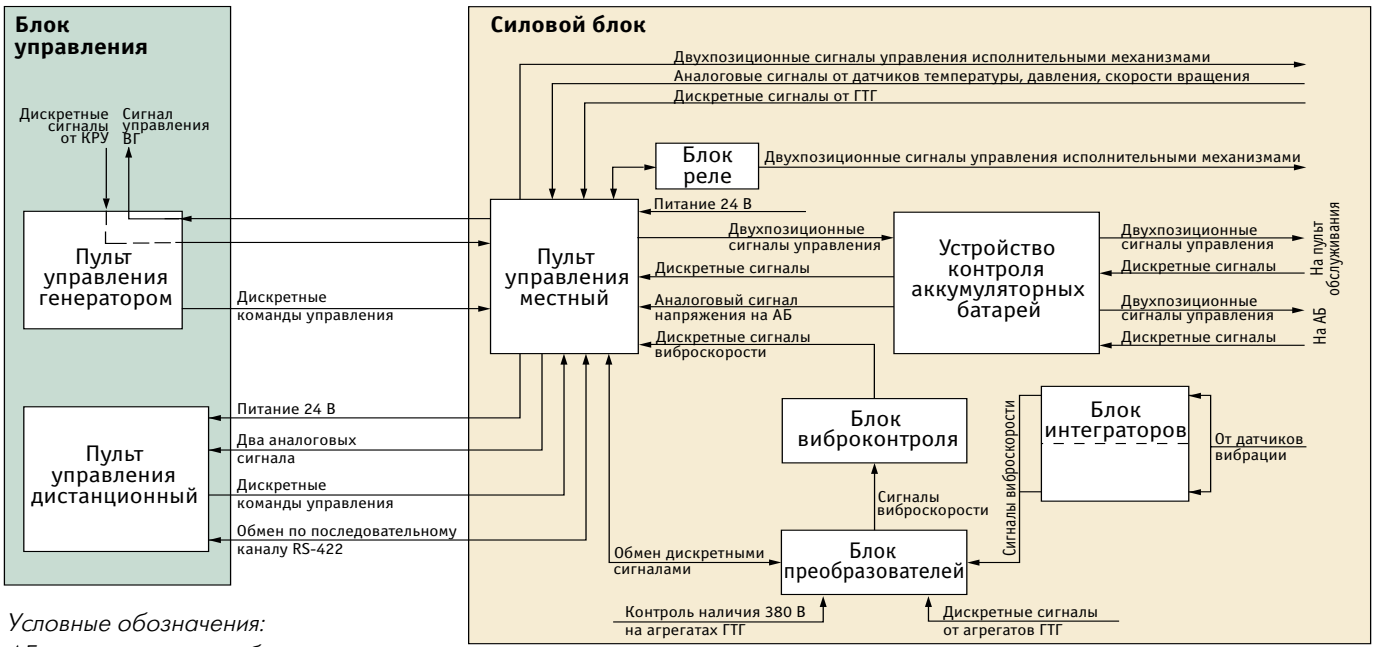
Основные характеристики системы

К основным функциям системы автоматического управления (САУ) ГТГ относятся:

- прием дискретных сигналов о состоянии исполнительных устройств и пороговых значений отдельных параметров;
- прием и преобразование аналоговых сигналов от датчиков температуры, давления, частоты вращения ГТГ;
- выдача сигналов управления исполнительными устройствами в соответствии с заданными алгоритмами;
- пуск, останов, экстренный останов ГТГ по команде оператора;
- автоматический останов ГТГ при появлении аварийных событий;
- предупредительная и аварийная сигнализация при выходе параметров ГТГ за допустимые пределы и возникновении аварийных ситуаций;
- вывод информации о состоянии исполнительных устройств, причинах останова и аварийных ситуаций, значений аналоговых сигналов от датчиков, текущей наработки ГТГ;
- управление частотой вращения ГТГ.

Помимо этого, САУ обеспечивает автоматический контроль степени за-

© 2000 СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 330-3650 http://www.cta.ru



Условные обозначения:
АБ – аккумуляторная батарея;
ВГ – выключатель генератора;
КРУ – комплектное распределительное устройство

***Рис. 2.** Структурная схема САУ ГТГ*

ряженности аккумуляторных батарей (АБ), контроль состояния датчиков, исполнительных механизмов, линий связи и собственно аппаратуры САУ.

САУ принимает и выдает следующие сигналы:

- 32 аналоговых сигнала от различных датчиков (термопары, термометры сопротивления, токовые и потенциальные);
- 2 частотных сигнала от датчиков частоты вращения;
- 96 дискретных сигналов (типа «сухой» контакт, потенциальные с напряжением постоянного тока 24 В и напряжением переменного тока 380 В);
- 2 аналоговых выходных сигнала на показывающие приборы;
- 32 дискретных выходных сигнала на исполнительные устройства (напряжением постоянного тока 24 В до 5 А и переменного тока 380 В до 2 А).

Структура и технические средства САУ

Структурная схема САУ приведена на рис. 2.

Система включает в себя пульт местного управления (ПУМ), пульт управления дистанционный (ПУД), пульт управления генератором (ПУГ), устройство контроля аккумуляторных батарей (УКАБ), блок реле (БР), блок виброконтроля, блок преобразователей, блок интеграторов.

Центральным устройством системы является ПУМ (рис. 3), располагаемый в силовом блоке (контейнере), в котором установлен ГТГ. ПУМ принимает сигналы как от аналоговых, так и от дискретных датчиков ГТГ, снимающих информацию о значениях технологических параметров объекта управления и о состоянии исполнительных устройств. Полученная информация обрабатывается в ПУМ с помощью микропроцессорных устройств в соответствии с заданными алгоритмами управления и контроля. С выходных устройств пульта выдаются сигналы управления на исполнительные устройства непосредственно либо через БР.

На лицевой панели ПУМ (рис. 4) находятся органы управления и индикации, с помощью которых можно запустить и остановить ГТГ, управлять отдельными исполнительными устройствами, проконтролировать значение любого технологического параметра, состояние исполнительных устройств ГТГ, проанализировать причину останова ГТГ, неисправности и аварии.



***Рис. 3.** Пульт местного управления (ПУМ)*



***Рис. 4.** Лицевая панель ПУМ*

Сигнализация о неисправности или аварии обеспечивается звуковым сигналом и светодиодными индикаторами.

Информация о значениях технологических параметров и причинах неисправностей, остановов и аварий высвечивается на жидкокристаллическом дисплее с разрешением 240 · 80 точек, способном работать в широком диапазоне температур.

В блоке преобразователей установлены различные промежуточные преобразовательные устройства датчиковой аппаратуры. В блоке интеграторов смонтированы 6 интеграторов, преобразующих сигналы виброускорения в сигналы виброскорости. Сигналы виброскорости через устройства согласую-

© 2000 СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 330-3650 http://www.cta.ru

щие, установленные в блоке преобразователей и обеспечивающие искробезопасность, поступают на входы блока виброконтроля, где аналоговые сигналы виброскорости при достижении заданных уставок преобразуются в дискретные (двухпозиционные). Последние подаются на входы ПУМ.

В блоке преобразователей находится также устройство контроля напряжения 380 В непосредственно на клеммах электродвигателей вентиляторов и валоповоротного устройства.

Электропитание системы управления осуществляется напряжением 24 В постоянного тока от выпрямительного агрегата, входное напряжение которого «подпирается» через диод двумя группами аккумуляторных батарей. Этим обеспечивается бесперебойность питания. АБ в случае исчезновения переменного напряжения или выхода из строя выпрямительного агрегата обеспечивает питание системы управления, а также электромасляного насоса (ЭМН) мощностью 2,4 кВт. ЭМН обеспечивает смазку подшипников турбины и генератора при пуске и охлаждении турбины после останова, которое происходит в течение нескольких часов.

В ПУМ и ПУД напряжение 24 В преобразуется с помощью устройств вторичного питания в 5 В для питания микропроцессорных устройств.

Для периодического автоматического контроля состояния АБ (2 раза в сутки) в состав системы введено УКАБ, которое коммутирует аккумуляторные батареи, нагружая их поочередно на эталонную нагрузку, принимает аналоговые сигналы напряжения на каждой из четырех батарей и передает их в ПУМ на измерение и определение степеней их заряженности. Коммутация батарей осуществляется по заданному алгоритму под действием управляющих сигналов, поступающих с ПУМ.

ПУД, расположенный в другом контейнере электростанции (блок управления), имеет лицевую панель, подобную лицевой панели ПУМ, что позволяет на расстоянии наблюдать за параметрами ГТГ, состоянием его исполнительных устройств, запускать и останавливать ГТГ. Передача информации от ПУМ к ПУД осуществляется по последовательному каналу RS-422. Передача команд управления («пуск», «стоп», «экстренный останов») с ПУД на ПУМ производится по отдельным проводам.



Рис. 5. *ПУД и ПУГ в блоке управления электростанции*

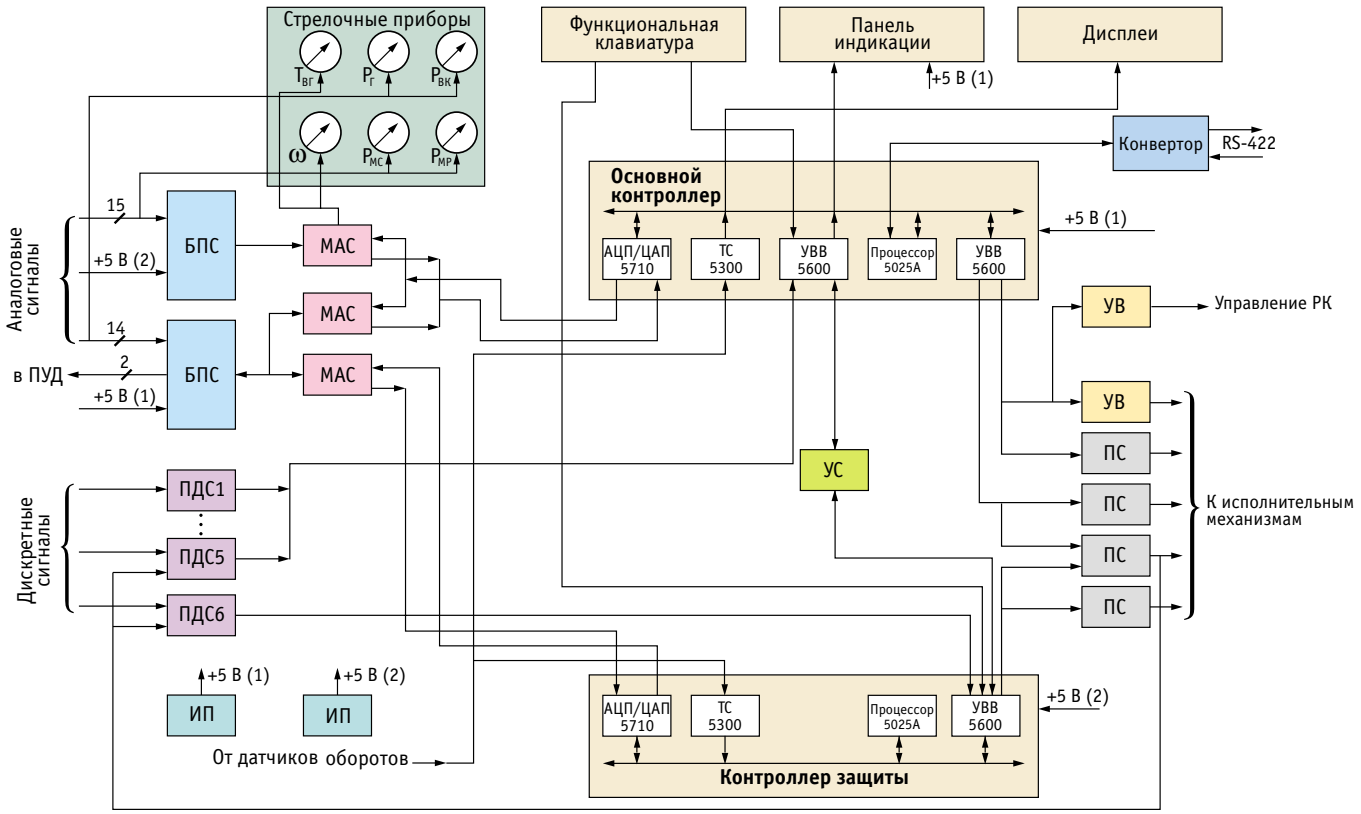
ПУГ, расположенный также в блоке управления (рис. 5), предназначен для управления и контроля параметров генератора. Через ПУГ передаются транзитные сигналы контроля и сигнализации параметров КРУ и сигнал управления выключателем генератора (ВГ).

Пульт местного управления

Структурная схема ПУМ представлена на рис. 6 и включает в себя:

- основной контроллер;
- контроллер защиты;

© 2000 СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 330-3650 http://www.cta.ru



Условные обозначения:
РК – регулирующий клапан;
ТС – таймер/счетчик;
УВВ – устройство ввода-вывода;
УС – устройство согласования;
$T_{вг}$ – температура выхлопных газов;
$P_{г}$ – давление газа;
$P_{вк}$ – давление воздуха на выходе компрессора;
$P_{мс}$ – давление масла смазки;
$P_{мр}$ – давление масла при регулировании;
w — *частота вращения ротора турбины*

***Рис. 6.** Структурная схема пульта местного управления*

- блоки преобразования аналоговых сигналов (БПС);
- мультиплексоры аналоговых сигналов (МАС);
- платы согласования (ПС);
- платы выходных усилителей (УВ);
- платы приема дискретных сигналов (ПДС);
- панель индикации и дисплеи;
- функциональную клавиатуру;
- плату конвертора;
- блоки источников питания (ИП).

Основной и защитные контроллеры построены на базе технических средств MicroPC фирмы Octagon Systems.

Дискретные сигналы от датчиков и сигнализаторов вводятся в процессоры через ПДС и устройства ввода-вывода (УВВ). Устройства ПДС задают необходимый ток через контакты дискретных датчиков на время их опроса и обеспечивают гальваническую развязку внутренних цепей ПУМ от внешних цепей (цепей ГТГ).

Скорость вращения турбины определяется с помощью платы 5300 путем

© 2000 СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 330-3650 http://www.cta.ru

подсчета числа импульсов, поступающих с датчика оборотов за определенный промежуток времени.

Аналоговые сигналы поступают на БПС (модули серии 5В фирмы Analog Devices), где происходит их преобразование и гальваническое разделение источников аналоговых сигналов друг от друга и от системы управления. С выходов БПС нормализованные сигналы в виде напряжения, изменяющегося в диапазоне от 0 до 5 В, поступают на МАС (плата MUX-16), а затем на плату 5710 для преобразования в цифровой код.

Один из важнейших параметров ГТГ – температура выхлопного газа — измеряется 8 малоинерционными термопарами. В алгоритме управления используется среднее значение температуры по всем термопарам, при этом осуществляется программный контроль исправности термопар. Неисправные термопары (имеющие короткое замыкание или обрыв) исключаются из вычислений, и среднее значение температуры газа вычисляется по оставшимся исправным термопарам.

Управление исполнительными механизмами осуществляется процессором основного контроллера (плата 5025А) в соответствии с заданным алгоритмом. Процессор выдает двоичный код управления исполнительными устройствами, в соответствии с которым на выходах УВВ (плата 5600) формируются напряжения высокого или низкого уровня.

Непосредственно управление отдельными исполнительными устройствами с максимальной нагрузкой до 0,5 А при напряжении постоянного тока 30 В осуществляется транзисторными ключами устройств ПС.

Для управления более мощными исполнительными устройствами к выходам ПС подключены релейные устройства, выполненные на нейтральных или поляризованных реле.

Транзисторные ключи плат УВ обеспечивают ток в нагрузке до 7 А при напряжении 27 В и используются для управления регулирующим и антипомпажным клапанами, которые приводятся в действие электродвигателями постоянного тока.

Защитный контроллер дублирует основной контроллер в части контроля за аварийными ситуациями. Этим обеспечивается требуемое среднее время наработки на отказ по функции «пропуск аварии» 100 тысяч часов.

В соответствии с заданным алгоритмом оба процессора осуществляют контроль исправности друг друга путем обмена дискретными сигналами.

В процессе работы процессор основного контроллера ПУМ осуществляет обмен с ПУД по последовательному каналу связи RS-422 через конвертор, который обеспечивает гальванически развязанный переход с интерфейса RS-232 в интерфейс RS-485/422 и обратно. Вся информация о состоянии ГТГ и режимах его работы передается в ПУД, а от него в ПУМ пересылаются команды управления ГТГ в дистанционном режиме.

Пульт дистанционного управления

ПУД представляет собой программируемый контроллер, реализованный на основе технических средств MicroPC и снабженный устройствами приема, выдачи, обработки и отображения информации, а также органами управления и контроля.

Структурная схема ПУД приведена на рис. 7.

Двухпозиционные сигналы от органов управления поступают в ПУМ. Сигналы, принимаемые по последовательному каналу, поступают на плату конвертора, где осуществляется преобразование сигналов интерфейса RS-422 в RS-232 (при приеме) или RS-232 в RS-422 (при передаче) с гальванической развязкой.

Плата процессора 5025А через порт COM2 по интерфейсу RS-232 связана с платой конвертора. Плата 5025А через плату 5600 выдает данные на индикаторы.

По вызову оператора с клавиатуры информация о параметрах ГТГ, причинах неисправностей, аварий и остановов ГТГ отображается на экране ЖКИ.

Два важнейших параметра ГТГ — температура выхлопных газов (t°) и частота вращения (w) — помимо ЖКИ выводятся на стрелочные приборы, сигналы на которые в виде напряжения постоянного тока поступают по отдельным проводам из ПУМ. Этим достигается дублирование отображения этих двух параметров.

Программное обеспечение

Системная часть программного обеспечения (ПО) представляет собой мультизадачную операционную систему реального времени (МОС). Использование такой операционной системы

© 2000 СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 330-3650 http://www.cta.ru

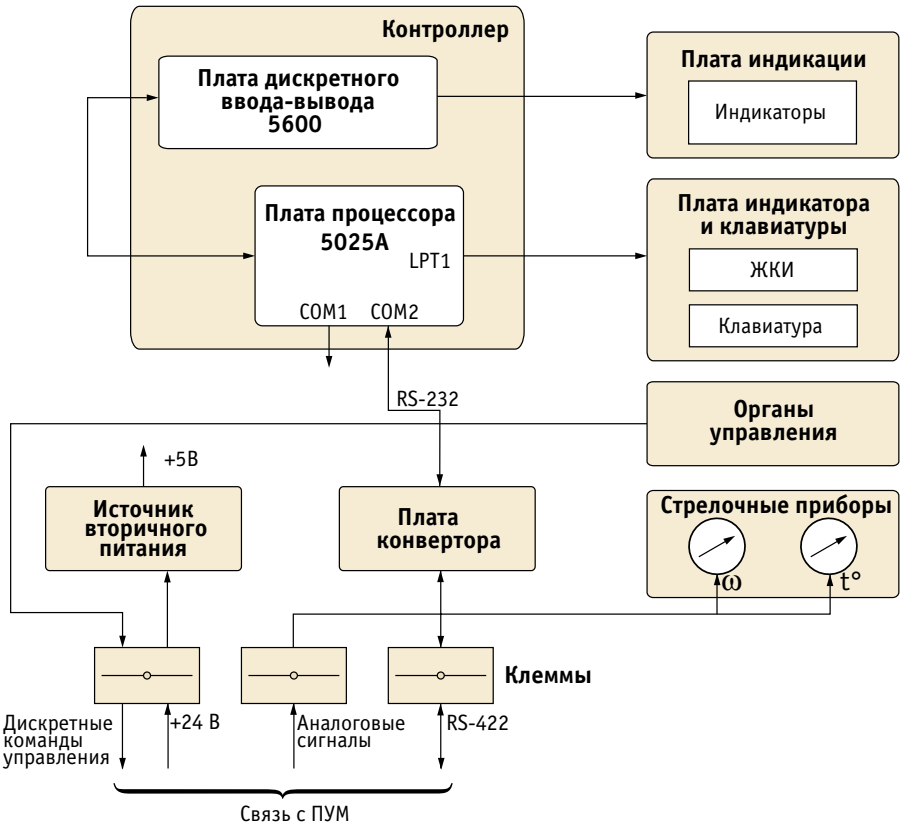


Рис. 7. *Структурная схема пульта дистанционного управления*

позволяет программистам сосредоточить основное внимание не столько на проблемах, связанных с синхронизацией параллельно исполняемых процессов (задач), сколько на разработке программ, реализующих эти процессы.

Объектами МОС являются задачи, драйверы, процедуры обмена и обработки прерываний и семафоры. Основой МОС является диспетчер задач, который определяет очередность исполнения задач и распределяет процессорное время в соответствии с их приоритетами.

Обмен информацией между технологическим объектом и прикладными задачами осуществляется централизованно через общий пул оперативной памяти или таблицу отображения объекта (ТОО). ТОО условно разбивается на области памяти (зоны), в которых хранится сгруппированная по ряду признаков информация. Для обеспечения единообразия при обработке информации в зонах ТОО хранится как информация о технологическом объекте, так и внутрисистемная информация.

Интерфейс прикладных задач с ТОО осуществляется вызовом функций драйвера обслуживания ТОО. Функции драйвера ТОО позволяют читать и записывать любые элементы любой зоны ТОО. Все функции драйвера выполняются реентерабельно, что позволяет одновременно обращаться к нему из разных задач. Задача должна быть активизирована в драйвере ТОО вызовом функции активизации, которая выделит задаче информационный канал и включит ее в список получателей информации зон. После этого все изменения информации в зонах, получателем которых является задача, будут передаваться в канал задачи сообщением определенной структуры.

Программирование в операционной системе МОС осуществляется на языках Ассемблера и Си.

Все логические алгоритмы реализуются на специально разработанном для этой цели языке, который ориентирован на специалистов, разрабатывающих алгоритмы управления и имеющих лишь некоторые представления о программировании. Программы, написанные на этом языке, транслируются в промежуточный язык и далее выполняются интерпретатором. В настоящее время ведутся работы по переходу на технологию разработки прикладного ПО на базе операционной системы QNX, при этом сохраняется преемственность предыдущих разработок.

Заключение

В сентябре 1999 г. САУ ГТГ в составе электростанции прошла межведомственные испытания на буровых скважинах «Тюменьбургаза» и в настоящее время находится в опытно-промышленной эксплуатации. Стоимость ПТГЭС-1500 в два раза ниже стоимости зарубежных аналогичных электростанций. ●

Авторы — сотрудники ОАО «Пролетарский завод»
Телефон: (812) 567-2996

© 2000 СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 330-3650 http://www.cta.ru