



## Парогазовая ТЭЦ Siemens для города Гетеборг (Швеция)

**А. В. Гущин, В. Е. Торжков – ООО «Сименс»**

Реализация реформы электроэнергетики России уже привела к масштабному росту инвестиций в объекты новой генерации. В то же время существенно изменившиеся условия хозяйствования генерирующих компаний обусловили повышение интереса к решениям «под ключ». Накопленный опыт Siemens Industrial Turbomachinery AB (Швеция) в этой области представлен на примере электростанции Руа, которая является самым масштабным проектом, реализованным на базе семейства парогазовых энергоблоков SCC-800. Ввод станции в эксплуатацию повысил надежность энергоснабжения г. Гетеборга и значительно улучшил экологическую ситуацию в регионе.

**В** декабре 2006 года первая, вновь построенная в Швеции за последние 20 лет электростанция начала энергоснабжение г. Гетеборга, расположенного на западном побережье страны. Контракт на строительство станции был подписан Siemens Industrial Turbomachinery AB с муниципальной энергетической компанией Goteborg Energi AB, которая обеспечивает Гетеборг электрической и тепловой энергией.

В июне 2004 года начались работы на строительной площадке, и через два с половиной года электростанция комбинированного цикла Руа была передана заказчику для коммерческой эксплуатации. Новая ПГУ-ТЭЦ сформирована на базе установки комбинированного цикла SCC-800 3x1 DH (SCC – Siemens Combined Cycle), в состав которой входят три газовые турбины SGT-800 (Siemens), три котла-утилизатора с дожиганием и одна паровая турбина SST-900 DH производства Siemens (рис. 1).

Владельцем и оператором станции является компания Goteborg Energi AB. Ввод ПГУ-ТЭЦ в коммерческую эксплуатацию обеспечил эффективное производство электрической и тепловой энергии для покрытия потребностей близлежащих жилых районов. При этом значительно сократился объем закупаемой компанией электроэнергии за рубежом, одновременно сокращен выброс вредных веществ в атмосферу. Электростанция Руа построена в рамках программы Парламента Швеции и Европейского Сообщества по расширению применения электростанций комбинированного и когенерационного цикла.

Площадка для станции выбрана очень удачно: она построена вблизи не только от центра города, но и рядом с существующим газопроводом, инфраструктурой центрального отопления Гетеборга и высоковольтными линиями электропередачи. Выгодное расположение площадки определяется также близостью к реке Гота.

Электростанция вырабатывает 1250 ГВт·ч электрической и 1450 ГВт·ч тепловой энергии в год, обеспечивая при этом 30 % потребностей города в электроэнергии и 35 % – в тепле. Электрическая мощность станции составляет 265 МВт, а тепловая – 296 МВт, полный КПД – 92,5 %. Проектная годовая наработка станции составляет 6500 часов, включая 1500 часов работы при неполной нагрузке весной и осенью (рис. 2). При этом часть тепловой энергии в теплое время года используется для системы централизованного кондиционирования Гетеборга. В дальнейшем планируется увеличить годовую наработку станции, особенно в периоды частичной нагрузки.

Электростанция Руа может работать в различных режимах – в зависимости от изменения потребностей. В случае необходимости ПГУ-ТЭЦ может работать в течение всего года, и даже при полном отсутствии потребности в тепле в летний период станция сможет вырабатывать электроэнергию с нагрузкой 85 % от номинальной мощности. Для работы в таком режиме избыточное тепло посредством сбросного конденсатора отводится в реку Гота (на что имеется разрешение соответствующих контролирующих органов, допускающее повышение температуры охлаждающей воды максимум на 10 °С).

Основным топливом для электростанции Руа является природный газ с давлением 2,6...2,8 МПа, который поставляется по газопроводу из Дании. Наличие газа высокого давления, достаточного для нормальной работы ГТУ, позволило отказаться от использования дожимных компрессоров. Дизельное топливо является резервным. В дальнейшем, наряду с природным газом, возможно частичное использование биогаза и синтетического газа, что, однако, потребует определенной модернизации установленного оборудования.

### Тепловая схема ПГУ-ТЭЦ Руа

Газ высокого давления подается в камеру сгорания ГТУ SGT-800, куда также поступает цикловой воздух после компрессора (предварительно забираемый КВОУ, расположенным на крыше здания станции). С целью повышения общей тепловой экономичности станции, в системе антиобледенения КВОУ используется тепло, получаемое при охлаждении системы смазочного масла. Горячие газы после камеры сгорания расширяются в газовой турбине, приводя во вращение вал компрессора ГТУ и вал электрогенератора (через понижающий редуктор).

Отработавшие газы трех газовых турбин SGT-800 с температурой 538 °С и массовой долей кислорода 15 % направляются в три котла-утилизатора (КУ), которые оснащены горел-

ками для дополнительного сжигания топлива в среде уходящих газов ГТУ. Таким образом, дожигание природного газа при полном использовании кислорода, содержащегося в выхлопных газах (15 %), позволяет повысить температуру газов до 1000 °С и тем самым значительно увеличить объемы производства электрической и тепловой энергии. В КУ вследствие глубокой утилизации температура газов снижается до 70 °С. Используя в качестве топлива чистый природный газ, можно избежать различных побочных эффектов (коррозии и т.д.), возникающих при низкой температуре уходящих газов котла. Возможность для глубокой утилизации обеспечивается, в том числе, установкой в хвостовой части КУ газовых подогревателей сетевой воды (ГПСВ).

В котлах-утилизаторах генерируется перегретый пар одного давления с параметрами 10 МПа / 540 °С. Питательная вода проходит последовательно две ступени противоточного экономайзера, далее попадает в испарительный контур. После барабана КУ пар проходит после-

Рис. 1. Принципиальная схема электростанции Руа

- 1 – котлы-утилизаторы с дожиганием;
- 2 – система централизованного кондиционирования;
- 3 – сбросной конденсатор (для отвода избыточного тепла)

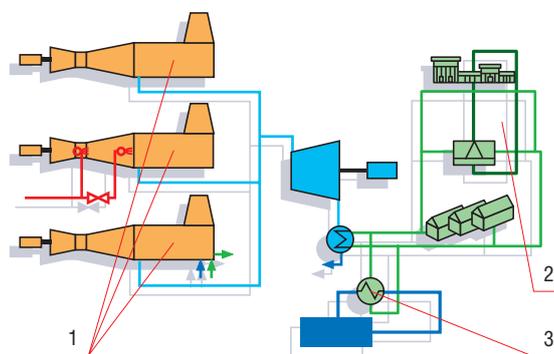
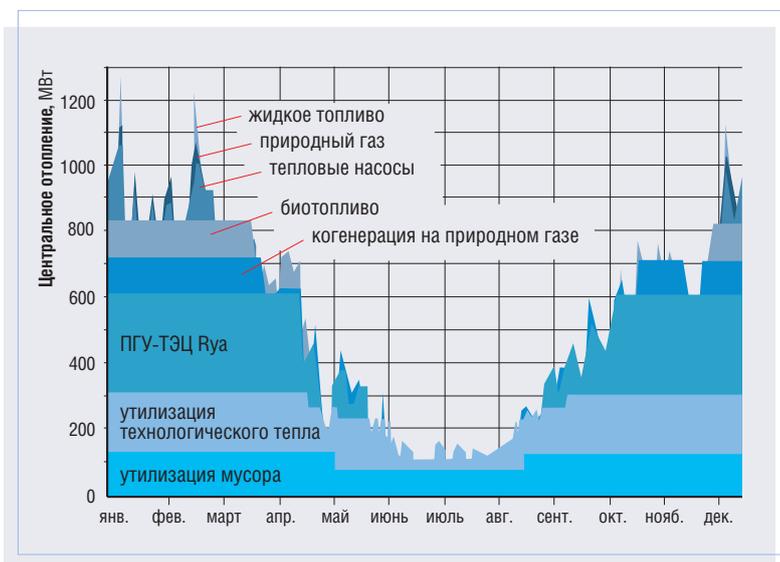


Рис. 2. Годовой график потребления тепловой энергии в Гетеборге



довательно три ступени пароперегревателя и подается в паровую турбину (ПТ). В теплофикационной паровой турбине SST-900 DH электрической мощностью 137 МВт помимо противодействия осуществляется дополнительный отбор пара на теплофикацию. Таким образом, используется двухступенчатая схема подогрева воды в двух сетевых подогревателях ПТ: сначала отработавшим паром из противодействия турбины, затем – паром из теплофикационного отбора. Следует отметить, что сетевая вода в ГПСВ котла-утилизатора и в теплофикационной установке паровой турбины подогревается параллельными потоками, которые затем смешиваются. Температура обратной сетевой воды изменяется в диапазоне 40...60 °С, прямой – 75...110 °С.

Электроэнергия от генераторов через трансформаторы подается на распределительное устройство 130 кВ для передачи в городскую сеть. Всего предусматривается три трансформатора: один принимает электроэнергию от двух газовых турбин SGT-800, второй – от третьей газовой турбины с возможностью подключения дополнительного турбогенератора SGT-800, третий – от паровой турбины. Компактное распределительное устройство выполнено с элегазовой изоляцией, что повышает его эксплуатационную надежность в условиях морского климата Гетеборга.



➔ Фото 1.  
Газотурбинный двигатель на раме в сборочном цехе завода (г. Финспонг)

➔ Фото 2.  
SGT-800 в укрытии



В случае отключения от основной энергосети в результате сбоев по напряжению или частоте, станция может работать для обеспечения собственных нужд в автономном режиме при соответствующем снижении нагрузки. Сразу после устранения сбоя она может подключаться обратно к основной сети. При сбое в основной энергосети остановленная станция (например, в летний период) может быть запущена с помощью аварийного дизель-генератора и переведена в режим работы для собственных нужд. После чего путем ступенчатого подключения нагрузки близлежащих потребителей она переходит в островной режим работы.

Система управления станции позволяет дистанционно осуществлять контроль и мониторинг эксплуатационных параметров, что само по себе уникально, учитывая мощность ПГУ-ТЭЦ. Управление станцией осуществляется из диспетчерского пункта в г. Савенас. АСУ основана на стандартной системе, включающей три диспетчерских пункта. Она интегрирована в общую систему, которая отслеживает параметры работы всех установок теплоснабжения Гетеборга. Эксплуатационные данные по установкам передаются в диспетчерский пункт в режиме on-line, обрабатываются и архивируются с целью прогнозирования и проведения расчетов. В общую систему также входит независимая подсистема безопасности, которая обеспечивает принятие оперативных решений в аварийных ситуациях. Кроме того, ежедневный обход станции и проверка ее эксплуатационных параметров осуществляется обслуживающим персоналом станции на месте.

## Газовая турбина

Газовая турбина SGT-800 (прежнее название GTX 100) была разработана для удовлетворения возрастающих потребностей заказчиков в высоконадежном, экологически чистом и эффективном оборудовании (фото 1). Были учтены и другие требования, например низкая стоимость эксплуатации, компактность энергоустановки, сжатые сроки поставки. Надежность является важнейшим требованием заказчиков в этом сегменте рынка, как и возможность постоянной и бесперебойной поставки электроэнергии и тепла своим потребителям.

Надежность турбины SGT-800 обеспечивают простота конструкции, долговечность элементов, использование проверенных технологий при ее создании. Одновальный агрегат SGT-800 смонтирован на раме. Привод генератора осуществляется со стороны компрессора ГТУ, что позволяет получить простую и эффективную осевую систему отвода выхлопных газов. Модульная конструкция, малое число узлов и длительный срок их

службы, доступность для проведения осмотров – все это обеспечивает большие интервалы между инспекциями и капитальными ремонтами, а также низкую стоимость эксплуатации (фото 2).

### Паровая турбина

Паровая турбина SST-900 DH (District Heating – теплофикация) с противодавлением имеет модульную конструкцию и разработана специально для ТЭЦ, которые кроме электроэнергии вырабатывают тепло для системы централизованного теплоснабжения (фото 3). SST-900 является одним из самых компактных агрегатов в своем сегменте мощности.

Корпус турбины имеет симметричную форму, горизонтальный разъем и сконструирован так, чтобы обеспечивать максимальную гибкость к изменениям термического состояния. Сравнительно малые размеры компонентов горячей части обеспечивают быстрый запуск турбины и возможность эффективной и надежной работы при быстрой смене нагрузок.

Проточная часть турбины состоит из 21 последовательной ступени активного типа. Отбор пара на теплофикацию осуществляется как из противодавления, так и из промежуточного отбора. Таким образом, используется эффективная двухступенчатая схема подогрева сетевой воды. В случае необходимости пар после противодавления полностью или частично может отводиться в сбросной конденсатор, охлаждаемый речной водой. Вал турбины соединен с двухполюсным генератором, вырабатывающим 137 МВт электроэнергии.

### Котел-утилизатор

В состав электростанции входят три котла-утилизатора горизонтального типа с естественной циркуляцией (рис. 3). Таким образом, поток газов горизонтально проходит через подвесные модули, состоящие из вертикальных труб. Каждый котел состоит из 5 модулей полной заводской готовности, что значительно упрощает его монтаж на месте эксплуатации.

В котле-утилизаторе генерируется пар с параметрами 10 МПа / 540 °С (рис. 4). Каждый агрегат рассчитан на сжигание природного газа в среде уходящих газов ГТУ с повышением их температуры до 1000 °С. Учитывая высокую степень дожигания, трубные поверхности котла возле камеры дожигания выполнены в виде мембранных экранов с внешней изоляцией.

Результатом высокого уровня дожигания является значительное увеличение расхода генерируемого пара и, соответственно, производства энергии. Чтобы обеспечить высокую степень равномерности распределения потока газов по сечению КУ, в диффузорной части газо-

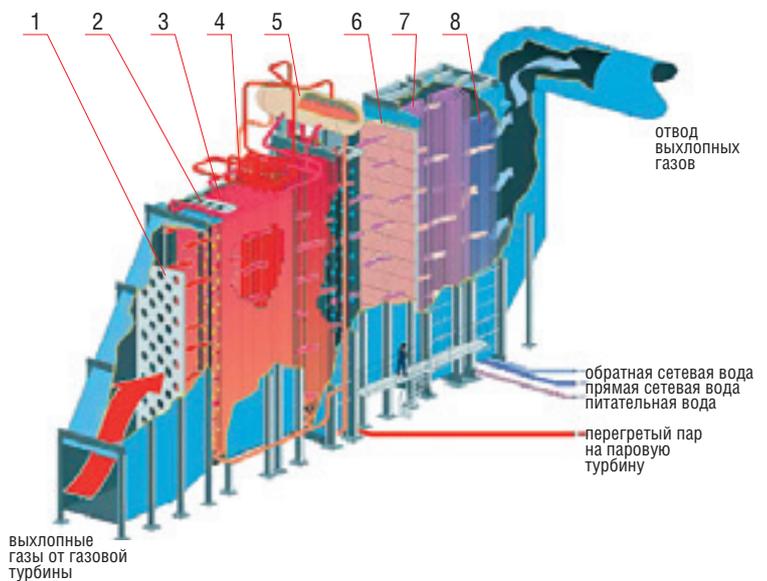


Рис. 3. Котел-утилизатор

- |                               |  |
|-------------------------------|--|
| 1 – распределительная панель; | 5 – барабан и испаритель;                        |
| 2 – горелки дожигания;        | 6 – система каталитического подавления выбросов; |
| 3 – мембранные экраны;        | 7 – экономайзер;                                 |
| 4 – пароперегреватель;        | 8 – газовый подогреватель сетевой воды (ГПСВ)    |

хода на входе в агрегат установлена распределительная (перфорированная) панель. Котлы изготовлены в г. Брно, на предприятии (бывшее Alstom Brno), входящем в состав компании Austrian Energy.

### Повышение надежности, КПД и эксплуатационной гибкости станции

Максимальная эксплуатационная гибкость станции достигается за счет использования трех блоков меньшей мощности вместо одного большого, а также применения дополнительных горелок в котлах-утилизаторах. Три газотурбинных блока обеспечивают возможность работы в широком диапазоне нагрузок, а также высокий КПД при частичной нагрузке. Использование дополнительного сжигания топлива в котлах-утилизаторах повышает мощность и полный

Фото 3. Теплофикационная установка паровой турбины SST-900 DH



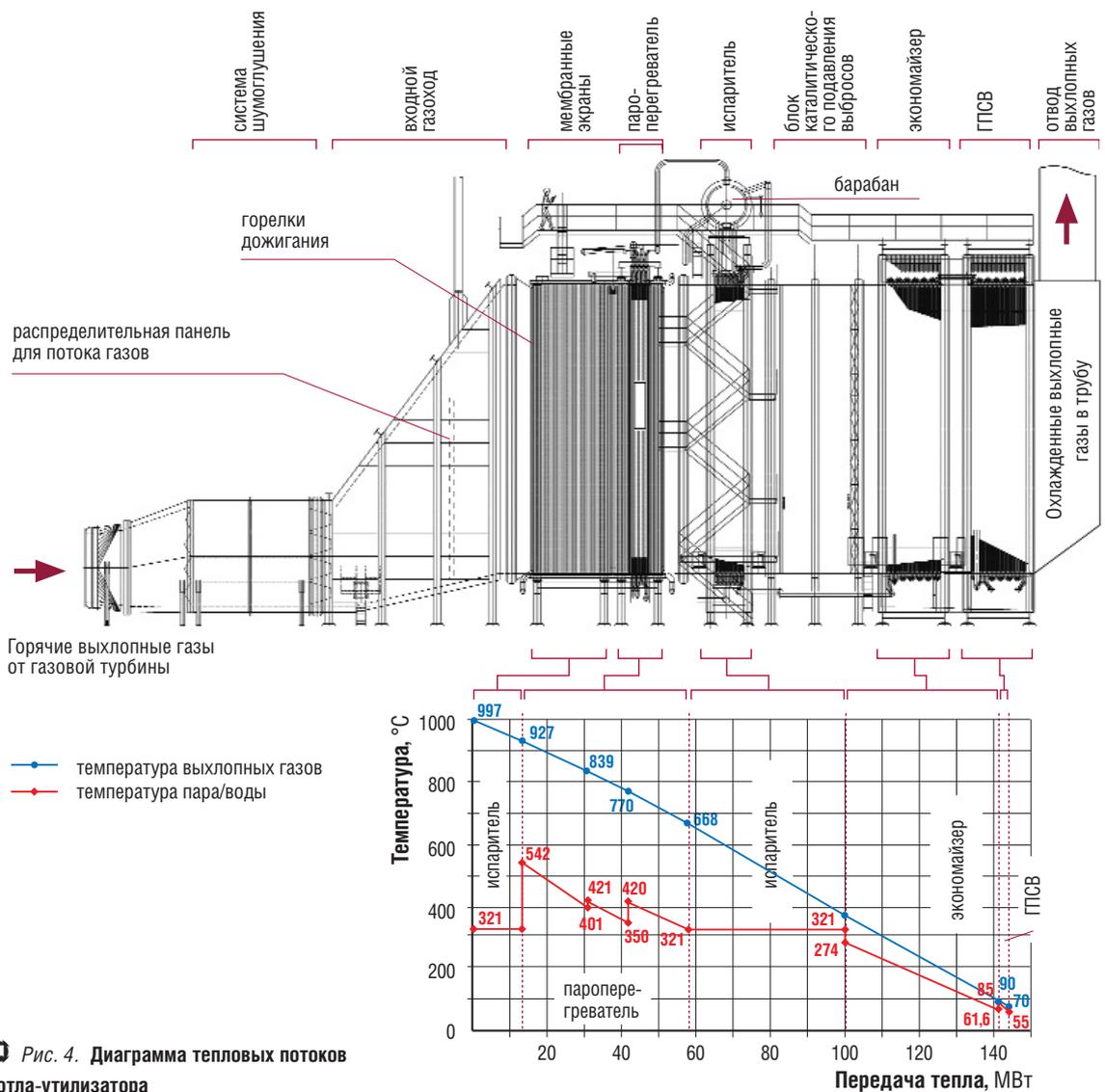


Рис. 4. Диаграмма тепловых потоков котла-утилизатора

КПД станции. Таким образом, обеспечивается производство максимального количества электроэнергии при выработке требуемого количества тепла и высокий коэффициент использования топлива (рис. 5).

Кроме того, весной и осенью, при работе на частичных нагрузках, существует возможность оптимизировать соотношение выработки электрической и тепловой энергии. Так как станция ориентирована прежде всего на производство тепла комбинированным способом, то именно

Рис. 5. Энергетический баланс электростанции Руа



максимальная гибкость ПГУ-ТЭЦ в отношении изменения требуемой тепловой нагрузки при условии сохранения высокого полного КПД стала приоритетным критерием оптимизации тепловой схемы. Оптимизация проводилась, базируясь на коэффициенте  $\alpha$ , который равен отношению производимой на ПГУ-ТЭЦ электрической и тепловой энергии.

На электростанциях, где приоритетным является производство электроэнергии, значение коэффициента составляет 1,2 и полный КПД равен 88%. ПГУ-ТЭЦ Руа оптимизирована на достижение максимально возможного полного КПД станции (92,5%), при этом значение коэффициента составляет 0,8. Таким образом, удалось достигнуть максимальной выработки электроэнергии при любом заданном уровне производства тепла.

При проектировании станции был использован ряд других разработок с целью повышения общей эффективности станции (рис. 6). В частности, утилизация тепла от системы охлаждения смазочного масла обеспечивает повышение

полного КПД на 0,5%, что выражается в 3 МВт тепловой энергии, которой достаточно для отопления 200-300 частных домов. Тепло, утилизируемое от системы смазки, используется для подогрева комплексных воздухоочистительных устройств ГТУ. Это предотвращает образование льда в зимний период без использования дополнительного внешнего блока обогрева.

## Снижение уровня эмиссии

Строительство новой станции комбинированного цикла, безусловно, улучшило экологическую ситуацию в регионе, поскольку из эксплуатации было выведено старое, менее эффективное энергетическое оборудование (рис. 7).

Уровень эмиссии  $\text{NO}_x$  у газовых турбин SGT-800 при работе в комбинированном цикле значительно ниже, чем у другого подобного оборудования. В камере сгорания установки SGT-800 расположено 30 горелок типа DLE 3-го поколения, разработанных компанией Siemens. Их технология обеспечивает выбросы  $\text{NO}_x$  на уровне 15 ppm (15%  $\text{O}_2$ ) для природного газа и 42 ppm (15%  $\text{O}_2$ ) для жидкого топлива без применения дорогостоящего впрыска воды или пара.

Камера сгорания может поставляться для работы как на одном, так и на двух видах топлива. SGT-800 обеспечивает работу с низким уровнем эмиссии на двух видах топлива в диапазоне 50-100% от базовой нагрузки. Система сухого подавления вредных выбросов, которой оснащена турбина, имеет общую наработку более 3 млн часов с 1988 года.

Дополнительно станция оснащена системой каталитического подавления выбросов SCR (Selective Catalytic Reduction), встроенной в котел-утилизатор. Благодаря этому достигается дополнительное снижение уровня эмиссии  $\text{NO}_x$  на 70%. Электростанция обеспечивает также низкий уровень эмиссии  $\text{CO}_2$ , который составляет, соответственно, 25% и 30% от выбросов угольных электростанций эквивалентной мощности и станций, работающих на мазуте. В результате объем выбросов  $\text{CO}_2$  сократился на 500 000 тонн в год.

Кроме того, на ПГУ-ТЭЦ Руа полностью выполнено требование Департамента по экологии по обеспечению уровня шума на расстоянии 100 м не более 50 дБА.

## Заключение

Электростанция комбинированного цикла Руа была построена под ключ компанией Siemens Industrial Turbomachinery AB в консорциуме с фирмой NCC (Швеция), которая возвела здания и выполнила общестроительные работы. В рамках контракта Siemens осуществила комплектную поставку энергетического обо-

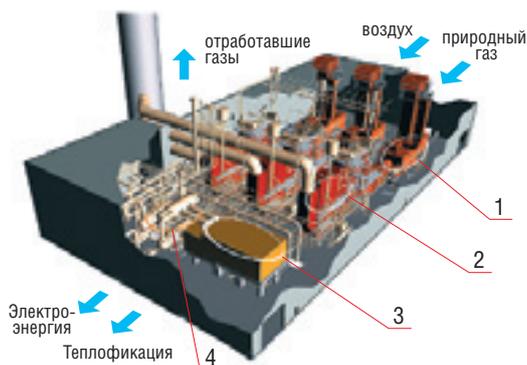


Рис. 6. 3D-модель главного корпуса станции

- |                       |                           |
|-----------------------|---------------------------|
| 1 – газовая турбина;  | 3 – паровая турбина;      |
| 2 – котел-утилизатор; | 4 – сетевые подогреватели |

рудования, проектные, монтажные и пусконаладочные работы, выполнила подготовку и сертификацию персонала станции.

Кроме того, по условиям договора компания будет осуществлять техническое обслуживание основного (ГТУ, ПТ) и вспомогательного оборудования, а также АСУ станции в процессе эксплуатации в течение 7 лет.

К настоящему времени компания Siemens имеет не только богатый опыт поставок турбин в Россию, но также и комплексных решений. Так, для первого блока ПГУ-ТЭС «Москва-Сити» была осуществлена полная комплектная поставка оборудования ПГУ на базе двух газовых турбин SGT-800. Уже введен в эксплуатацию аналогичный второй блок ПГУ-ТЭС, где объем решения был ограничен поставкой генерирующего оборудования, выполнением проекта и разработкой и поставкой АСУ ТП блока.

Мы уверены, что опыт Siemens в области решений для электростанций будет способствовать внедрению передовых технологий при строительстве новых и реконструкции уже существующих ТЭЦ Российской Федерации. ■

Рис. 7.

Снижение уровней эмиссии вредных веществ с развитием энергосистемы г. Гетеборга

