

Обновленная версия SGT-800: мощность 50 МВт

Матс Бьеркманн – Siemens Industrial Turbomachinery AB

О.С. Одиноких – ООО «Сименс»

Постоянное усовершенствование выпускаемой продукции – одно из приоритетных направлений деятельности компании Siemens. Для обеспечения заказчиков высокоэффективными и надежными газотурбинными установками при невысоких затратах за жизненный цикл компания инвестирует значительные средства в модернизацию существующей и разработку новой продукции.

In brief

Upgraded version of SGT-800 gas turbine: output of 50 MW.

Continued enhancement of existing OEM products and services is an important part of the OEM's development efforts. In order to offer, to both future and existing users, gas turbines with high grading for efficiency, reliability, availability and maintainability at low life-cycle cost, Siemens Energy invests significantly and with continuity in the development of its products and services.

Recently, the results of these R&D programs have been implemented in the SGT-800 gas turbine and its maintenance.

Обширный опыт эксплуатации газовых турбин и постоянные инновации компании Siemens использованы для модернизации газовой турбины SGT-800 и оптимизации ее технического обслуживания в ходе эксплуатации. Большое внимание уделяется передовым технологиям диагностики, методам контроля, дистанционному мониторингу параметров, что обеспечивает постоянное совершенствование и развитие линейки продукции.

ГТУ SGT-800 входит в портфолио подразделения «Нефть и газ» сектора энергетики компании Siemens, которое включает в себя девять моделей газовых турбин, начиная с мощности 5 МВт. Серийное производство ГТУ SGT-800 осуществляется на заводе компании Siemens в г. Финспонг, Швеция.

Параметры SGT-800 изначально выбирались для достижения максимальных показателей в своем классе мощности. ГТУ имеет не только высокий электрический КПД, но и большую энергию выхлопа, и это позволяет эффективно применять ее в когенерационном и парогазовом цикле.

ГТУ SGT-800 отлично зарекомендовала себя в классе мощности 40...50 МВт. По состоянию на январь 2013 г. продано 185 установок, из них 41 – в Россию. По результатам эксплуатации SGT-800 имеет отличные показатели надежности и готовности. Средняя надежность по парку на 2011 г. достигала 99,8 %, средний коэффициент готовности – 96,9 %. Общая наработка парка данных ГТУ составляет более 2 млн часов, лидерный агрегат наработал более 95 тыс. часов.

Создание и развитие ГТУ SGT-800

Разработка газовой турбины SGT-800 началась в 1995 г., через два года она была выведена на рынок с мощностью 43 МВт. В конце 1998 г. подписан первый контракт, и через год состоялся первый запуск в эксплуатацию. В общей сложности было продано 25 установок SGT-800 мощностью 43 МВт.

Дальнейшая оптимизация конструкции SGT-800 позволила в 2003 г. представить на рынок версию мощностью 45 МВт (продано 35 установок). Постоянный анализ опыта эксплуатации газовых турбин обеспечивает информационную базу для дальнейшей модернизации ГТУ. Таким образом, в 2007 г. была выпущена версия мощностью 47 МВт. Всего на рынок поставлена 101 установка мощностью 47 МВт и модернизированы шесть моделей предыдущих поколений.

После прохождения обязательных этапов контроля качества новой продукции (PDP – Product Development Process, внутреннего процесса компании Siemens) на рынке была представлена версия ГТУ SGT-800 мощностью 50 МВт.

На текущий момент продано 17 установок SGT-800 мощностью 50 МВт. Лидерный агрегат этого типа имеет наработку более 16 тыс. часов, результаты бороскопирования, прове-



С SGT-800 на заводе Siemens в г. Финспонг

денные летом 2012 года (после 12 тыс. часов эксплуатации), показали отличное состояние проточной части. Сегодня на рынке предлагаются обе версии ГТУ SGT-800 – мощностью как 47 МВт, так и 50 МВт.

Конструкция двигателя

Газовая турбина SGT-800 имеет модульную конструкцию с минимальным количеством компонентов в одновальной конфигурации и ротором, рассчитанным на рабочую частоту вращения 6600 об/мин. Ротор компрессора и трехступенчатый узел турбины образуют единый вал, установленный в стандартных гидродинамических подшипниках с самоустанавливающимися сегментами.

Привод генератора осуществляется с холодной стороны газовой турбины, что обеспечивает простую и оптимальную компоновку выхлопа. Конструкция камеры сгорания позволяет отдельно снимать каждую из 30 горелок без разборки всего агрегата. Это также обеспечивает простой и удобный осмотр камеры сгорания.

ГТУ может легко извлекаться из укрытия для проведения ремонта. Для этого вал между редуктором и газовой турбиной отсоединяется, и входная камера сдвигается в сторону генератора. При замене отдельных лопаток компрессора или турбины на месте эксплуатации предусматривается трехплоскостная балансировка ротора (диск № 1 компрессора, промежуточный вал и диск № 3 турбины).

Секция компрессора

Компрессор – трансзвукового типа, 15-ступенчатый, со степенью сжатия 20 (согласно ISO); имеет современную аэродинамическую конструкцию. Для достижения высокой эффективности используется технология управляемой диффузионной аэродинамической поверхности (Controlled Diffusion Airfoils – CDA).

Первые три ступени имеют изменяемую геометрию. Для минимизации утечек над концами лопаток в ступенях 4–15 используются истираемые уплотнения. Держатель крыльчатки в секции высокого давления ступеней 11–15, где самые короткие лопатки, изготовлен из материала с низким коэффициентом теплового расширения, что обеспечивает минимальные зазоры.

Ротор компрессора выполнен из дисков, сваренных в надежный блок с применением электронно-лучевой сварки, которая на протяжении многих лет использовалась для изготовления ротора компрессора газовой турбины SGT-600 и оказалась надежной технологией, обеспечивающей минимальные вибрации и очень высокую надежность эксплуатации.



С Четырехфорсуночная коническая горелка

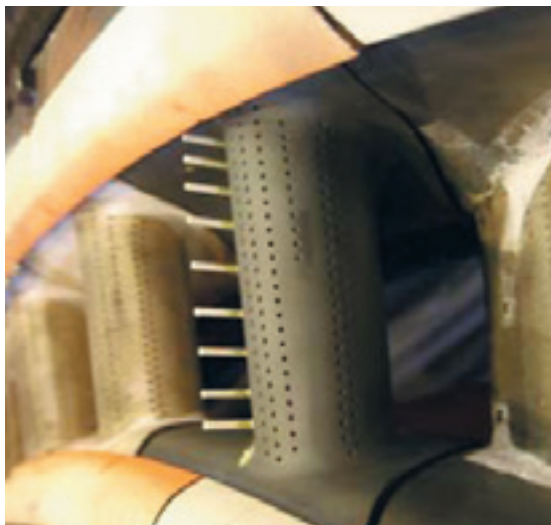
Охлаждающий воздух для горячих секций турбины извлекается из компрессора в ступенях 3, 5, 8, 10 и 15. Из 3-, 5- и 8-й ступеней воздух извлекается по внешнему каналу, а из 10- и 15-й – по внутреннему.

Секция камеры сгорания

Камера сгорания – кольцевого типа, имеет сварную конструкцию из листового металла. Внутренняя поверхность КС имеет теплоизолированное покрытие, которое снижает уровень теплопередачи и увеличивает срок службы камеры сгорания. Такая концепция конструкции много лет используется в газовых турбинах, производимых компанией Siemens.

Камера сгорания ГТУ SGT-800 оснащена 30 горелками типа DLE третьего поколения. Эта технология обеспечивает выбросы оксидов азота и углекислого газа менее 15 ppm (при 15 % O₂) при работе на природном газе и 42 ppm – на жидком топливе, без использования впрыска воды или пара. Сухое подавление вредных выбросов также применяется при работе с двухтопливной системой.

Для подтверждения низкого уровня выбросов были проведены различные тесты и испытания, включающие диапазон наибольших нагрузок агрегата с использованием как жидкого, так и газообразного топлива.



С Оснащение горячей части SGT-800 измерительными средствами в ходе испытаний

Секция турбины

Трехступенчатая турбина изготовлена в виде единого модуля для облегчения технического обслуживания и имеет болтовое соединение с валом компрессора (рис. 1). Улучшена аэродинамическая конструкция за счет полного трехмерного анализа потока газа при использовании цилиндрических секций над лопатками 1-, 2- и 3-й ступеней.

Аэродинамические поверхности направляющих и рабочих лопаток 1- и 2-й ступеней охлаждаются с помощью технологии, используемой в других газовых турбинах Siemens. Первая лопатка выполнена из монокристаллического материала, что обеспечивает высокую надежность и долгий срок службы.

Фланцы статора турбины охлаждаются воздухом из компрессора для уменьшения зазоров и повышения эффективности. Размещение приводимого агрегата с холодной стороны позволяет осуществлять осевой выхлоп через диффузор, обеспечивая наилучшие характеристики ГТУ. Для минимизации аэродинамических потерь при работе турбины в составе станции комбинированного цикла или совместном производстве тепла и электроэнергии (когенерация) с особой тщательностью разработана конструкция соединения выхлопного диффузора и котла-утилизатора.

Тепло- и шумоизоляция

В целях защиты обслуживающего персонала предусмотрена наружная изоляция ГТУ для снижения температуры незащищенных поверхностей и максимально возможного подавления шума внутри укрытия. Обшивка применяется начиная с 3-й ступени компрессора на холодной стороне, включает горячую секцию и диффузор выхлопа.

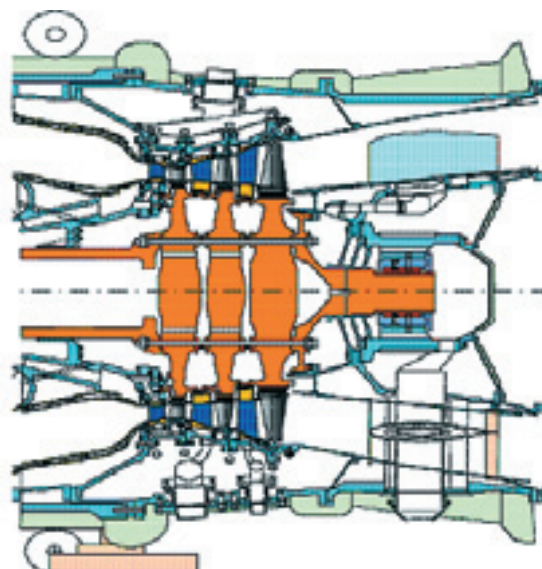


Рис. 1.
Трехступенчатая турбина

Запуск и работа

Газовая турбина SGT-800 запускается с помощью пускового электродвигателя, подключенного к понижающему редуктору. Компрессор оснащен двумя перепускными (противопомпажными) клапанами в 5- и 10-й ступенях, они открыты в начале процесса запуска и закрываются при запуске турбины. Во время эксплуатации выходная мощность установки регулируется с помощью направляющего аппарата и за счет изменения температуры сгорания.

Сначала выходная мощность снижается путем прикрытия направляющего аппарата, пока температура выхлопного газа не достигнет 600 °С. Дальнейшее снижение выходной мощности достигается путем снижения температуры сгорания и закрывания направляющего аппарата, при этом температура выхлопных газов поддерживается на максимальном уровне (600 °С). Такой принцип работы обеспечивает высокую эффективность при эксплуатации установки на частичных нагрузках.

Объем конструктивных изменений

Объем усовершенствований ГТУ SGT-800 версии 47 МВт, позволивший достичь мощности 50 МВт, включает оптимизацию аэродинамики газоздушного тракта, снижение потерь и интенсификацию охлаждения турбины (рис. 2). Температура на входе в ГТУ по отношению к версии 47 МВт не изменилась.

Компрессор

Применен оптимизированный аэродинамический профиль из ряда стандартных профилей Siemens – типа ВРА (разработка предприятия в г. Финспонг). Он используется как для рабочих, так и для направляющих лопаток. Массовый расход воздуха и эффективность компрессора увеличены на 1 %, степень повышения давления – с 20,2 до 20,8.

Камера сгорания

Конструкция камеры сгорания такая же, что и в предыдущей версии, включая хорошо зарекомендовавшую себя систему пассивного демпфирования. Используются горелки, аналогичные версии ГТУ мощностью 47 МВт. Улучшения касаются системы охлаждения, которая оптимизирована с целью снижения потерь в камере сгорания. Температура в КС осталась такой же, что и в предыдущей версии.

Турбина

Сопловой аппарат первой ступени компрессора оптимизирован с целью снижения потерь воздуха, необходимого для охлаждения. Количество лопаток уменьшено с 50 до 38 штук.

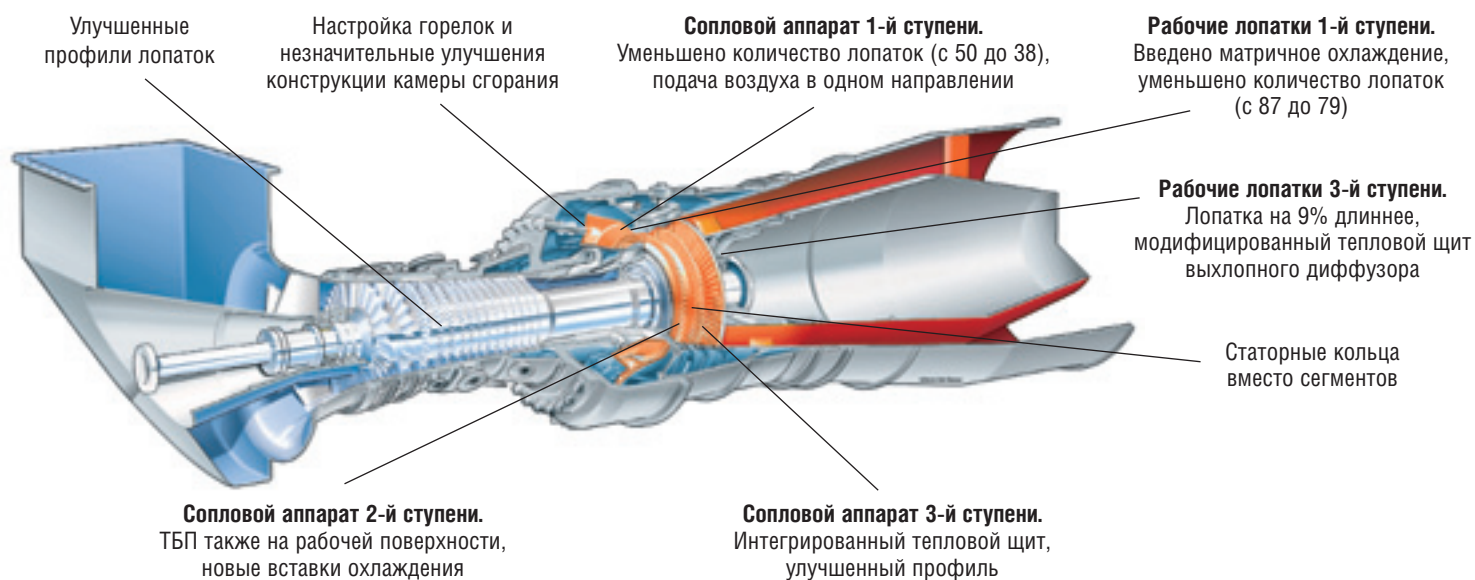


Рис. 2.
Модернизация
узлов ГТУ SGT-800

Лопатки имеют более широкий профиль, увеличилась их толщина. В результате общая поверхность металла, на которую попадает раскаленный газ, стала меньше, а следовательно, требуется меньшее количество охлаждающего воздуха, без повышения температуры металла. Распределение охлаждающего воздуха внутри лопаток первого соплового аппарата теперь выполняется в одном направлении.

Чтобы снизить протечки в зазорах между сегментами лопаток и, соответственно, повысить эффективность, вместо сегментного размещения пар сопловых лопаток первой ступени (25 сегментов по 2 лопатки) применяется единое монолитное кольцо лопаток соплового аппарата первой ступени. Дополнительно к интенсификации охлаждения и снижению протечек, на аэродинамическом профиле лопаток соплового аппарата применяется термобарьерное покрытие.

Количество рабочих лопаток первой ступени было уменьшено с 87 до 79. Для них применяется тот же принцип охлаждения, что и для сопловых аппаратов. Дополнительно введено более эффективное матричное охлаждение. Во второй ступени изменения незначительные: применено термобарьерное покрытие на аэродинамических профилях и изменено распределение охлаждающего воздуха внутри лопаток за счет оптимизации отверстий во внутренней вставке. В третьей ступени турбины удлинены рабочие лопатки (на 9%), улучшена их аэродинамика. Это обеспечило большую выходную площадь и соответствующее снижение выходных потерь.

В результате усовершенствований мощность ГТУ достигла 50 МВт, КПД увеличился до 38,3%. В парогазовом цикле высочайшие

в своем классе показатели энергоблоков SGT-800 достигли новых вершин. В наиболее востребованной конфигурации – парогазовом дубль-блоке с ГТУ SGT-800 электрическая мощность станции составит 143,6 МВт при электрическом КПД 55,4% (табл.).

Результаты испытаний ГТУ

Согласно внутренним требованиям компании Siemens к внедрению усовершенствований, качество обновленной продукции должно быть подтверждено обширными проверочными испытаниями. Для такого рода техники, как газовая турбина, они являются одним из ключевых факторов будущей надежности и долговечности обновленного изделия. Верификационные испытания SGT-800 мощностью 50 МВт включали в себя:

- испытания на раскрутку компрессора и турбины в вакуумной камере с установкой 28 точек измерения для компрессора и 18 точек для турбины;
- ходовые испытания первого двигателя с использованием стандартных точек измерения и 1300 дополнительных точек;
- термостойкостные испытания с установкой 1800 термостойкостных точек с использованием термокраски и 900 точек измерения.

Ходовые испытания тестового двигателя проходили в 2010 г. в течение 22 дней. Они проводились при работе двигателя на жидком и газообразном топливе для оценки характеристик во всем диапазоне нагрузок – как в установившихся режимах, так и в различных переходных режимах, например десятиминутный пуск с набором 100%-й мощности. В ходе испытаний наработано более 900 эквивалентных часов эксплуатации.

Табл. Характеристики ПГУ (согласно ISO) на базе SGT-800 (двойное давление без перегрева)

| Характеристики | SGT-800 (47,5 МВт) | | SGT-800 (50,5 МВт) | |
|--|--------------------|---------|--------------------|---------|
| | 1x1 | 2x1 | 1x1 | 2x1 |
| Мощность ПГУ, кВт | 66 570 | 135 370 | 71 400 | 143 600 |
| КПД ПГУ (%) | 53,8 | 54,7 | 55,1 | 55,4 |
| Удельный расход теплоты (кДж/кВт·ч) | 6693 | 6583 | 6534 | 6498 |
| Мощность газотурбинной установки (кВт) | 46 300 | 92 600 | 49 100 | 98 300 |
| Мощность паротурбинной установки (кВт) | 21 000 | 44 200 | 23 100 | 46 800 |

Рис. 3. Уровни эмиссии газовой турбины SGT-800

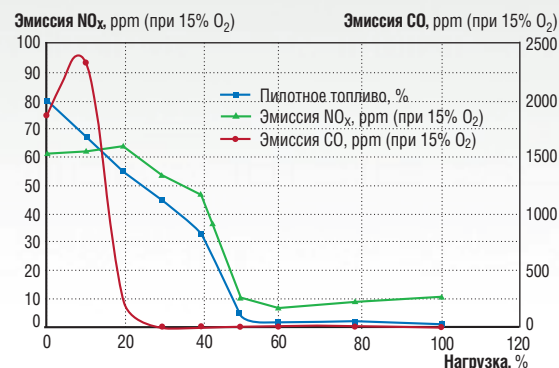
Расчетные значения электрической мощности и электрического КПД – более 50 МВт и 38 % соответственно – были достигнуты. Фактические измеренные уровни выбросов оксидов азота и углекислого газа в диапазоне нагрузки 50–100 % составили:

- на газовом топливе: $NO_x < 12$ ppт и $CO < 5$ ppт;
- на жидком топливе: $NO_x < 25$ ppт и $CO < 5$ ppт.

Конструкция низкоэмиссионной камеры сгорания позволяет достичь стабильной работы даже при мгновенном существенном изменении нагрузки благодаря отсутствию ступеней переключения расхода топлива в горелках. Подача топлива осуществляется стабильно, без переключений, во всем диапазоне работы. Экологические характеристики двигателя приведены на рис. 3.

Модуль «единого подъема»

Кроме вариантов ГТУ SGT-800 по мощности (47 и 50 МВт), заказчикам теперь предлагается не только стандартное для промышленной энергетики исполнение турбогенераторного агрегата, где вспомогательные системы турбины



и укрытие монтируются на месте, но и новый модуль «единого подъема» (рис. 4). Он представляет собой агрегат с высокой степенью заводской готовности и является более компактным и легким по сравнению со стандартным вариантом исполнения ГТУ SGT-800.

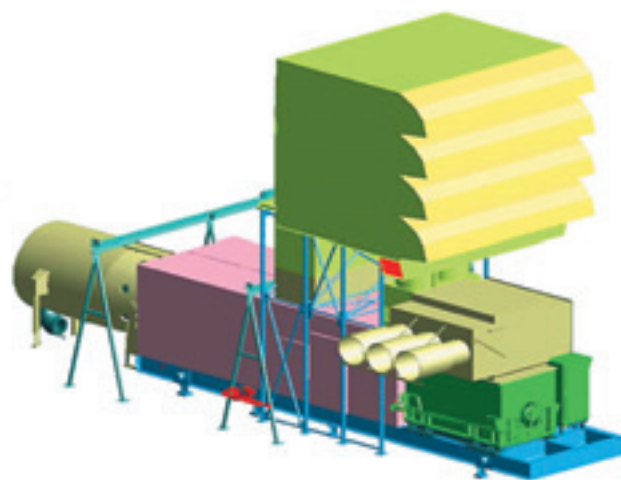
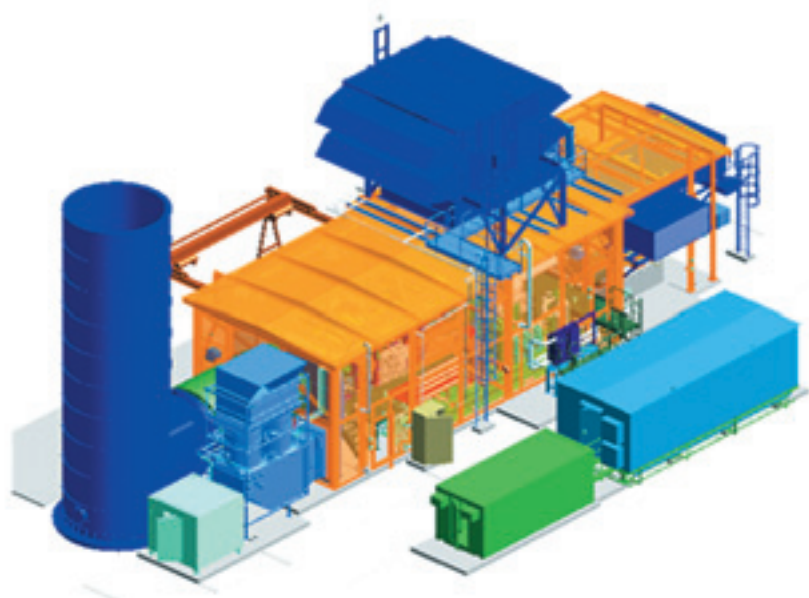
Модуль «единого подъема» объединяет в себе газовую турбину, редуктор, генератор, масло-систему и прочие вспомогательные системы на единой раме, под единым укрытием. По требованию заказчика завершённый модуль может быть испытан на заводе Siemens в Швеции включительно до 100 %-й нагрузки, с проверкой всех необходимых эксплуатационных режимов перед отправкой на место эксплуатации.

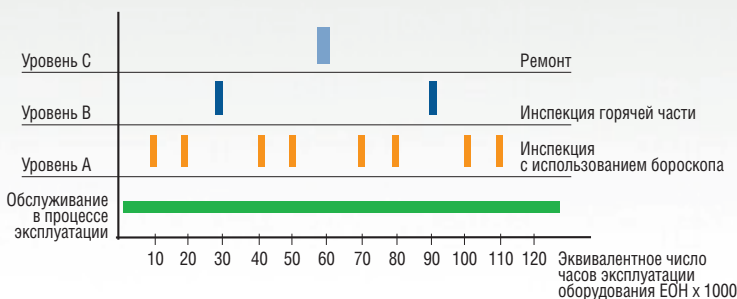
Такое исполнение турбогенераторного агрегата SGT-800 позволяет сократить объемы работ на площадке примерно на 40 %, а также объем подъемно-транспортных операций – соответственно, уменьшаются и расходы. Применение модуля «единого подъема» особенно актуально для нефтегазовой отрасли – на удаленных площадках и в суровых климатических

Рис. 4.

Исполнение для промышленной энергетики

Модуль «единого подъема»





условиях, например при освоении арктических месторождений и шельфа, где предъявляются максимальные требования к готовности оборудования и необходимы минимальные сроки ввода в эксплуатацию.

Программа технического обслуживания

Обслуживание газотурбинной установки SGT-800 не требует ее вывоза на завод-изготовитель для проведения ремонтов. Все ТО, включая капитальные ремонты, проводятся на месте эксплуатации. План технического обслуживания представлен на рис. 5.

Для газовых турбин Siemens предлагается программа с расширенными интервалами между обслуживанием – с 20 000 до 30 000 часов. Периодичность проведения осмотров бороскопом (инспекция уровня А) составляет 10 тыс. эквивалентных часов.

Первое техническое обслуживание (уровень В) осуществляется через 30 тыс. экв. часов эксплуатации, второе (уровень С) – через 60 тыс. часов. Первый цикл планово-предупредительного технического обслуживания включает в себя 120 тыс. экв. часов, или около 15 лет эксплуатации. Второй цикл адаптируется под

требования заказчика и состояние двигателя (процедура оценки срока службы).

По усмотрению заказчика, для сокращения времени простоев в ходе проведения инспекций уровней В и С, можно использовать подменный двигатель. Он может быть поставлен на площадку опционально, в составе капитальных запасных частей. Использование подменного двигателя позволит сократить простой в ходе проведения инспекции В до пяти дней, инспекции С – до семи дней.

Высокая надежность SGT-800 достигнута благодаря постоянной работе по модернизации и оптимизации конструкции компонентов двигателя. Согласно средним статистическим данным по эксплуатации турбины за 2011 год, коэффициент надежности достиг 99,8 %, коэффициент готовности – 96,9 %, надежность пусков составила 97,6 %.

В 2013 году компания Siemens отмечает юбилей – 160 лет ведения бизнеса в России. На протяжении всего этого времени компания предлагала передовые, инновационные решения, формируя долговременные ценности. Не стала исключением из этого правила и газовая турбина SGT-800. **TD**

Монтаж газотурбинной установки

Рис. 5. План технического обслуживания SGT-800



Завершены пусконаладочные работы на ГТЭС «Внуково».

Основное оборудование станции состоит из двух ГТУ SGT-800 фирмы Siemens с котлами-утилизаторами КУВ-60/150 (П-129) производства компании «ЗИОМАР».

Генеральным подрядчиком строительства является фирма «Промстрой» (филиал ЗАО «Моспромстрой»). Завершены пусконаладочные работы на последнем энергоблоке – введена ГТУ (станционный № 1) с системой утилизации тепла. Ввод станции в эксплуатацию в полном объеме осуществлен в конце марта текущего года.

Работы выполнялись специалистами ООО «Карат РСК» совместно с эксплуатационным персоналом Московской энергетической компании. Предусмотрен базовый режим работы ГТЭС по тепловому графику для обеспечения теплом жилого микрорайона аэропорта Внуково.

Вырабатываемая электрическая энергия с напряжением 10,5 кВ будет использоваться местными потребителями, а излишки – передаваться по кабельной линии 110 кВ через подстанцию «Полет» в сети МОЭСК.