



Парогазовая установка на базе ГТУ SGT-800 работает на Уфимской ТЭЦ-2

In brief

Combined cycle power station is in operation on the site of Ufimkaya TETs-2.

The combined cycle unit of the station was designed around Siemens SGT-800 gas turbine, E-57.5/12-7.4/0/6-520/280 heat recovery steam generator supplied by EMAliance JSC and existing Siemens R-12-29-1.2 steam turbine. Total electric output of the unit is 54 MW. SGT-800 gas turbine plant rated at 47 MW with efficiency of 37 % is equipped with AMS1250 LF electric generator manufactured by ABB (Switzerland). To ensure necessary pressure of natural gas supplied to gas turbine the station is equipped with Enerproject SA EGS1-S-370/1800 WA booster compressor station.

В. Л. Кремер, Д. Ю. Новиков, И. П. Афанасьев – ОАО «Башкирэнерго»

Уфимская ТЭЦ-2 (Башкирэнерго) установленной электрической мощностью 493 МВт и тепловой – 1448 Гкал/ч снабжает более половины города электроэнергией и теплом. В 1940 г. была построена первая очередь электростанции – блок среднего давления с параметрами острого пара на входе в турбины 2,5 МПа, 390 °С. Впоследствии был пристроен блок высокого давления с параметрами 13 МПа, 565 °С.

В связи с развернувшимся жилищным строительством город начал испытывать дефицит электрической и тепловой энергии. В 2007 г. Инженерный центр энергетики Урала по заданию Башкирэнерго выполнил предварительное технико-экономическое обоснование различных вариантов парогазовой установки на Уфимской ТЭЦ-2 на базе газовых турбин с заменой оборудования блока среднего давления (СД).

При подготовке к выводу из эксплуатации оборудования блока СД на ТЭЦ-2 была выполнена реконструкция двух водогрейных котлов ПТВМ-100 с увеличением тепловой мощности каждого из них на 20 Гкал/ч. В 2008 г. часть

оборудования (котельные агрегаты №№ 1, 2, 4 и турбоагрегаты №№ 1, 2) была выведена из эксплуатации и демонтирована.

Для замены выведенного оборудования была принята схема дубль-блока ПГУ-120 на базе современных газовых турбин SGT-800 (Siemens Industrial Turbomachinery AG, Швеция) мощностью по 47 МВт с котлами-утилизаторами двух давлений и теплофикационной паровой турбиной с противодавлением без конденсатора.

Однако в связи с одновременным финансированием строительства ПГУ на ТЭЦ-5 и начавшимся финансово-экономическим кризисом, при реконструкции ТЭЦ-2 пришлось ограничиться первой очередью. Она включала одну ГТУ SGT-800 с горизонтальным котлом-утилизатором двух давлений E-57,5/12-7,4/0,6-520/280 производства ОАО «ЭМАльянс». С целью минимизации затрат было решено использовать на первом этапе оставшуюся в блоке СД паровую турбину Р-12-29-1,2 компании Siemens (станционный № 3) мощностью 12 МВт и существующую систему выдачи тепловой мощности ТЭЦ.

Газотурбинная установка SGT-800

Газовая турбина SGT-800 стационарного типа выполнена по одновальной схеме и имеет минимальное количество деталей. Ротор компрессора и соединенный с ним стержнями болтами ротор трехступенчатой турбины образуют единый вал ГТУ, опирающийся на два самоустанавливающиеся гидродинамических подшипника. Привод генератора осуществляется со стороны 15-ступенчатого компрессора.

Для повышения КПД используются профили лопаток компрессора с рассчитанной диффузорностью межлопаточного пространства (СДА-профили). Направляющие аппараты первых трех ступеней компрессора – регулируемые; рабочие лопатки и сопловые аппараты первой и второй ступеней турбины – охлаждаемые. Для повышения КПД установки статорные кольца над рабочими лопатками оснащены системой активного управления радиальными зазорами.

Передача вращения осуществляется через двухвальный понижающий редуктор с параллельными валами (6600/1500 мин⁻¹). Для запуска SGT-800 используется пусковой электродвигатель с переменной частотой вращения, соединенный с редуктором.

Для подготовки циклового воздуха перед входом в газовую турбину установлено КВОУ. За ним расположен глушитель шума, исходящего от воздухозабора ГТУ.

Все вспомогательные системы объединены в один автономный модуль, расположенный сбоку от рамы агрегата. Газовая турбина, вспомогательные системы и редуктор находятся в звукоизолированном контейнере.

SGT-800 номинальной мощностью 47 МВт и КПД 37,5 % оптимизирована для использования ее в парогазовом цикле. Привод генератора со стороны компрессора упрощает компоновку

выхлопного тракта. Особое внимание было уделено разработке соединения диффузора с котлом-утилизатором с целью уменьшения потерь при работе в цикле ПГУ. Высокая температура и большой массовый расход выхлопных газов турбины позволяют производить в котле-утилизаторе значительное количество высокопотенциального пара. Это дает возможность увеличить КПД при выработке электроэнергии в паровом цикле, что повышает эффективность всего парогазового блока.

Газотурбинный агрегат отличается низким уровнем выбросов вредных веществ в атмосферу в широком диапазоне нагрузок. Это достигается за счет применения кольцевой камеры сгорания с системой сухого подавления выбросов (DLE – Dry Low Emission) III поколения. Камера сгорания имеет 30 малотоксичных горелок DLE. Установка соответствует нормам по уровню шума, что также немаловажно при возведении электростанций в черте города.

Модульная конструкция, малое количество деталей и их большой ресурс, удобство проведения осмотров обеспечивают длительную межремонтную наработку и позволяют снизить затраты на техническое обслуживание.

Стационарная конструкция SGT-800 удовлетворяет самым высоким требованиям по ремонтнопригодности, обеспечивая удобство проведения осмотров. При этом все необходимые ремонты и инспекции (включая капремонт) осуществляются на месте эксплуатации ГТУ.

Генератор переменного тока AMS 1250A LF (производства компании АВВ, Швеция), входящий в состав ГТУ SGT-800, – четырехполюсный, бесщеточный, синхронный, с явнополюсным ротором. Генератор имеет закрытую водовоздушную систему охлаждения. Маслосистема генератора объединена с маслосистемой газовой турбины.



С Монтаж фундамента ГТУ на месте блока среднего давления ТЭЦ-2

С Монтаж дымовой трубы и вертикальных секций котла-утилизатора



Секция трубных пучков котла-утилизатора

Горизонтальный котел-утилизатор ОАО «ЭМАльянс»

Паровой котел-утилизатор тепла дымовых газов

Первый лицензионный котел-утилизатор был спроектирован специалистами инженерингового центра «ЭМАльянс-БСКБУ КУ» и изготовлен на основной производственной площадке ОАО «ЭМАльянс» – ТКЗ «Красный котельщик». Соответствие котла-утилизатора всем техническим требованиям проекта и нормам промышленной безопасности было подтверждено специальной комиссией.

Котел-утилизатор ЭМА-006-КУ (тип Е 57,5/12,0; 7,4/0,6; 520/280), с естественной циркуляцией, горизонтального профиля, подвесной, с вертикальным расположением труб поверхностей нагрева, предназначен для выработки пара двух давлений.

Выброс в атмосферу отработавших выхлопных газов из КУ осуществляется через дымовую трубу, расположенную сразу за выходным газоходом по оси симметрии котла-утилизатора.

Рабочий диапазон изменения нагрузки КУ в соответствии с заданным рабочим диапазоном изменения нагрузки ГТУ – 100–50 % от номинальной нагрузки ГТУ. Котел-утилизатор допускает работу на скользящих параметрах пара ВД и НД, определяемых расходом и температурой газов, поступающих от ГТУ, и характеристиками паровой турбины.

Поверхности нагрева КУ скомпонованы в виде последовательно расположенных по ходу газов четырех модулей: ППВД1 и ППВД2; ИВД; ЭВД и ППНД; ИНД и ГПК.

В состав каждого блока входят секции вертикальных труб с наружным поперечным спирально-ленточным оребрением в сборе с коллекторами, элементы дистанцирования оребренных труб, крепления для подвески секций блоков, потолочная часть внутренней и наружной обшивки с тепло- и звукоизоляцией и элементы уплотнений.

Все поверхности нагрева котла выполнены из труб с наружным просечным спирально-ленточным оребрением.

Трубы поверхностей нагрева размещаются в шахматном порядке для достижения оптимальной теплопередачи. Расположение секций блоков по глубине газохода выбрано с учетом параметров теплоносителя в секциях и оптимальных температурных напоров в поверхностях нагрева.

Блоки котла-утилизатора имеют модульную конструкцию, рассчитанную на максимально возможные размеры с учетом ограничений по перевозке железнодорожным транспортом на территории России, а также условий монтажа.

С котлом-утилизатором устанавливается следующее вспомогательное оборудование, обеспечивающее его надежную работу:

- расширитель непрерывной продувки;
- расширитель периодической продувки;
- питательные электронасосы ВД.

Газоход КУ состоит из следующих элементов, последовательно расположенных по ходу газов:

- переходной газоход с компенсатором (за выходным фланцем выхлопного патрубка ГТУ);
 - входной газоход КУ в виде диффузора, выполненный из листовой углеродистой стали. Основной газоход котла-утилизатора выполняется газоплотным;
 - неметаллический компенсатор прямоугольного сечения с металлическими фланцами для подсоединения к газоходам КУ. Выполнен из специальных тканевых материалов и предназначен для восприятия радиальных и осевых тепловых расширений, возникающих из-за разницы температур основного газохода КУ и переходного газохода до дымовой трубы;
 - переходный газоход между основным газоходом и дымовой трубой – сужающийся короб прямоугольного сечения. Поверхность переходного газохода от КУ до дымовой трубы покрыта наружной изоляцией из базальтового волокна и декоративной обшивкой из оцинкованного листа.
- Металлическая обшивка котла-утилизатора состоит из двух слоев. Конструкция газо-

плотной металлической обшивки – щитовая, с приваренными ребрами жесткости.

Дымовая труба, внутренним диаметром 3,35 м и высотой 60 м, со встроенным в нее отсечным клапаном и шумоглушителем устанавливается непосредственно за КУ в пределах существующего здания котельного корпуса.

Шумоглушитель расположен в дымовой трубе выше отсечного клапана и снижает уровень шума за счет применения материалов, которыми заполнены его основные элементы (кассеты). Эквивалентный уровень звукового давления на расстоянии одного метра по горизонтали от среза дымовой трубы не превышает 80 дБА.

Отсечной клапан с электроприводом, установленный в средней части дымовой трубы, поддерживает состояние котла-утилизатора в горячем резерве при остановках.

Работа парогазовой установки

Пар высокого давления из котла-утилизатора с давлением 7,4 МПа редуцируется до 3,0 МПа. Охлаждаясь затем до допустимой температуры на входе в паровую турбину 400 °С за счет впрыска воды (с расходом 3 т/ч и температурой 158 °С) из-за 3-й ступени питательного электронасоса, пар подается в турбину, которая выдает электрическую мощность 7 МВт. Мощность ПГУ составляет 54 МВт.

Пар низкого давления 0,6 МПа подается в стационарный коллектор, где используется для деаэраторов, а также для других нужд станции. Соответственно, сократился объем пара давлением 1,6 МПа, отбираемого ранее из паровых турбин блока высокого давления и затем дроселируемого до 0,6 МПа. В такой компоновке ПГУ выдает 54 МВт электрической мощности, 32 Гкал/ч – тепловой (сетевая вода) и 12 т/ч пара давлением 0,6 МПа.

Для получения необходимого давления природного газа на входе в ГТУ – 3 МПа (изб.) установлен газодожимной винтовой компрессор



EGSI-S-370/1800 WA швейцарской фирмы Enerproject SA.

Выдача электрической мощности генератора AMS1250ALF газовой турбины SGT-800 осуществляется на ОРУ-110 кВ электростанции через трансформатор ТД-63000/110/10 УХЛ-1 (это первый экземпляр, изготовленный Уфимским трансформаторным заводом, входящим в ХК «Электрозавод»).

Строительство ПГУ

Строительство ПГУ на Уфимской ТЭЦ-2 началось в конце 2008 года и закончилось в августе 2011-го запуском установки в эксплуатацию и выводом ее на конкурентный отбор мощности (КОМ). Генеральным проектировщиком парогазовой установки выступил Инженерный центр энергетики Башкортостана, генподрядчиком – компания «Башуралэнергострой». АСУ ТП верхнего уровня с использованием контроллеров системы «КРУГ» выполнило ООО «Энергоавтоматика» – дочернее предприятие Башкирэнерго.

Газотурбинная установка SGT-800 в укрытии



Газодожимной компрессор EGSI-S-370/1800 WA

Пульт управления ПГУ



🔧 Пусконаладочные работы на ГТУ SGT-800

В процессе проектной проработки выяснилось, что часть старого здания (котельное и турбинное помещения) блока среднего давления необходимо снести. Это было обусловлено несколькими причинами: недостаточной несущей способностью здания с учетом современных строительных норм, трудностью размещения нового оборудования на стесненной территории, необходимостью изготовления новых фундаментов, примыкающих к фундаментам старого здания.

Установка и монтаж мощными кранами громоздкого котельного оборудования был возможен только при отсутствии части стен и крыши здания. Вокруг смонтированного на новых фундаментах оборудования возводились стены из металлоконструкций с обшивкой из сэндвич-панелей, а также новая крыша. В результате стена турбинного цеха по ряду «А» была перенесена с увеличением ширины корпуса на 5,4 метра.

В проведении шефмонтажных и пусконаладочных работ участвовал персонал фирм-поставщиков – Siemens, Энергаз, Энергоавтоматика, а также специалисты ТЭЦ-2 и ОАО «Башкирэнерго». В процессе пусков и комплексного опробования были подтверждены параметры поставленного оборудования.

Развитие проекта

Реконструкция блока среднего давления Уфимской ТЭЦ с установкой ПГУ финансировалась из средств Башкирэнерго. Общая стоимость строительства (включая НДС) составила 1 542,7 млн рублей, удельная стоимость киловатта мощности – около 29,1 тыс. рублей.

Удельный расход топлива на производство электрической энергии на ПГУ составляет 214 г/кВт·ч, на производство тепловой – 114 кг/Гкал. Удельный расход топлива на выработку электроэнергии всей Уфимской ТЭЦ-2 с вводом ПГУ снижается на 5 %.

Выбросы оксидов азота ГТУ (приведенные к коэффициенту избытка воздуха 3,5) составили 40 мг/м³ (меньше чем по ГОСТ 29328-92 – 50 мг/м³), а выбросы СО – около 3 мг/м³. При совместной работе блока высокого давления и ПГУ удельные выбросы диоксида азота по сравнению с эксплуатацией только паросилового цикла снижены на 6 %.

В 2013 г. существующая паровая турбина ТГ-3, работающая в составе ПГУ, достигнет предельного ресурса. В связи с этим прорабатывается вопрос о замене ее новой противодавленческой паровой турбиной со следующими расчетными параметрами острого пара на входе: расход 57,5 тонн в час, давление 7,4 МПа, температура 520 °С. Рассматриваются два варианта паровой турбины: с одним давлением мощностью 13,5 МВт и с двумя давлениями – 14,3 МВт.



Уфимская ТЭЦ-2 – одна из крупнейших теплоэлектроцентралей в энергосистеме Башкортостана – обеспечивает теплом почти половину жилого массива Уфы (микрорайоны Черникова и Сипайлово, жилые кварталы проспекта Октября) и большое число промышленных предприятий.

За 70 лет работы Уфимская ТЭЦ-2 выработала более 110 млрд кВт·ч электрической энергии и отпустила свыше 160 млн Гкал тепла.

С вводом в эксплуатацию ПГУ-60 установленная электрическая мощность станции достигла 500 МВт, что значительно повышает надежность энергоснабжения потребителей.

Во время торжественного мероприятия, посвященного 70-летию Уфимской ТЭЦ-2, прозвучали слова

благодарности ветеранам станции, которые внесли большой вклад в становление энергосистемы Башкортостана. Было отмечено, что Уфимская ТЭЦ-2 всегда была и остается флагманом в вопросах технического развития:

«Уфимская ТЭЦ-2 – это по-настоящему инновационная площадка. Последние 20 лет на станции внедрялись технологические решения, повышающие ее энергоэффективность и надежность. Например, опыт эксплуатации плавучей насосной станции для ТЭЦ-2 был отмечен на федеральном уровне как достойный масштабирования в рамках энергосистемы страны. Сегодня продолжается модернизация теплоэлектроцентрали, выводится из эксплуатации устаревшее оборудование и заменяется новым».

Вариант с одним давлением более дешевый, кроме того, сохраняется возможность использовать пар низкого давления из котла-утилизатора на собственные нужды ТЭЦ.

Турбина с двумя давлениями даст лучшие технико-экономические показатели, но этот вариант дороже. Кроме того, необходимо будет увеличить отбор пара давлением 1,6 МПа от паровых турбин блока высокого давления ТЭЦ с последующим его редуцированием до 0,6 МПа. Следующим этапом может стать установка на Уфимской ТЭЦ-2 второго моноблока ПГУ-60.

Заключение

На основании опыта строительства и эксплуатации первой очереди парогазовой установки на Уфимской ТЭЦ-2 можно сделать следующие выводы:

1. Новое оборудование на базе газовой турбины SGT-800 обеспечивает более высокий электрический КПД за счет комбинированного цикла и меньшую топливную составляющую в себестоимости производства электроэнергии. С учетом ожидаемого роста стоимости природного газа это обеспечит со временем конкурентные преимущества ПГУ на рынке мощности по сравнению со старым паросиловым оборудованием.

2. Стоимость технического обслуживания и ремонта газовых турбин существенно влияет на себестоимость производства электрической энергии. Для ее снижения целесообразно создание поставщиком сервисных центров и складов запчастей в России, а также организация производства лицензионного оборудования на российских заводах.

3. Продажа мощности парогазовой установки на КОМ не обеспечивает окупаемости проектов реконструкции и нового строительства генерирующих мощностей, приемлемой для инвестора. Продажа мощности с использованием механизма договоров поставки мощности недоступна для ОАО «Башкирэнерго» и ряда других энергосистем, не входивших ранее в РАО ЕЭС России, таких как Татэнерго, Новосибирскэнерго и др.

В современных рыночных условиях, с учетом прихода в генерацию новых собственников (в том числе иностранных), а также слияний и поглощений генерирующих активов, такое положение можно считать анахронизмом. Требуется разработка нового, равноправного механизма по повышению заинтересованности инвесторов, вкладывающих средства в обновление российской энергетики. 