УДК 621.433

РОМАНОВ В.В., к.т.н., директор по энергетическим программам ГП НПКГ “Зоря”-“Машпроект”, г. Николаев

СКЛЯРСКИЙ Д.В., руководитель проектов энергетических установок ГП НПКГ “Зоря”-

ОПЫТ ПУСКОНАЛАДКИ И НАЧАЛА ЭКСПЛУАТАЦИИ ГАЗОТУРБИННЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Приведен отчет о работах, выполненных при проектировании и изготовлении газотурбинных энергетических установок ГТЭ-15 и ГТЭ-25. Дано описание газотурбинных энергетических установок ГТЭ-25 и ГТЭ-15 мощностью 25 и 16 МВт, спроектированных, изготовленных и введенных в эксплуатацию на объектах в Республике Беларусь оборудования.

The report about the designing and producing of gas-turbine energetic sets is given in the article. The description of gas – turbine energetic sets, which were designed, produced and introduced in exploitation on the

Изложение основного материала

В 2002-2003гг., ГП НПКГ “Зоря”-“Машпроект” были спроектированы, изготовлены и введены в эксплуатацию первые газотурбинные энергетические установки ГТЭ-25 и ГТЭ-15 мощностью 25 и 16 МВт соответственно [1].

Первые две установки ГТЭ-25 изготовлены для Березовской ГРЭС (г. Белоозерск, Брестская обл.) и применены для реконструкции паротурбинного дубль-блока ПСУ-160 по “сбросной” схеме (Рис. 1).

Упрощенная тепловая схема реконструкции блока представлена на рис.2.

Первая установка ГТЭ-15 применена на Белорусском цементном заводе – БЦЗ (г. Костюковичи, Могилевская обл.). Особенностью применения ГТУ в данном случае является использование выхлопных газов в технологическом процессе сушки сырья для производства цемента. Упрощенная тепловая схема установки показана на рис.3.

Газотурбинные энергетические установки (ГТУ) состоят из:

- газотурбинного двигателя (ГТД) со вспомогательными системами;
- турбогенератора со вспомогательными системами;
- системы автоматического управления, регулирования, контроля и защиты (САУ);
- низковольтного комплектного распределительного устройства собственных нужд (НКРУСН).

Рис. 1. ГТЭ-25 на Березовской ГРЭС

В состав ГТЭ-25, дополнительно к

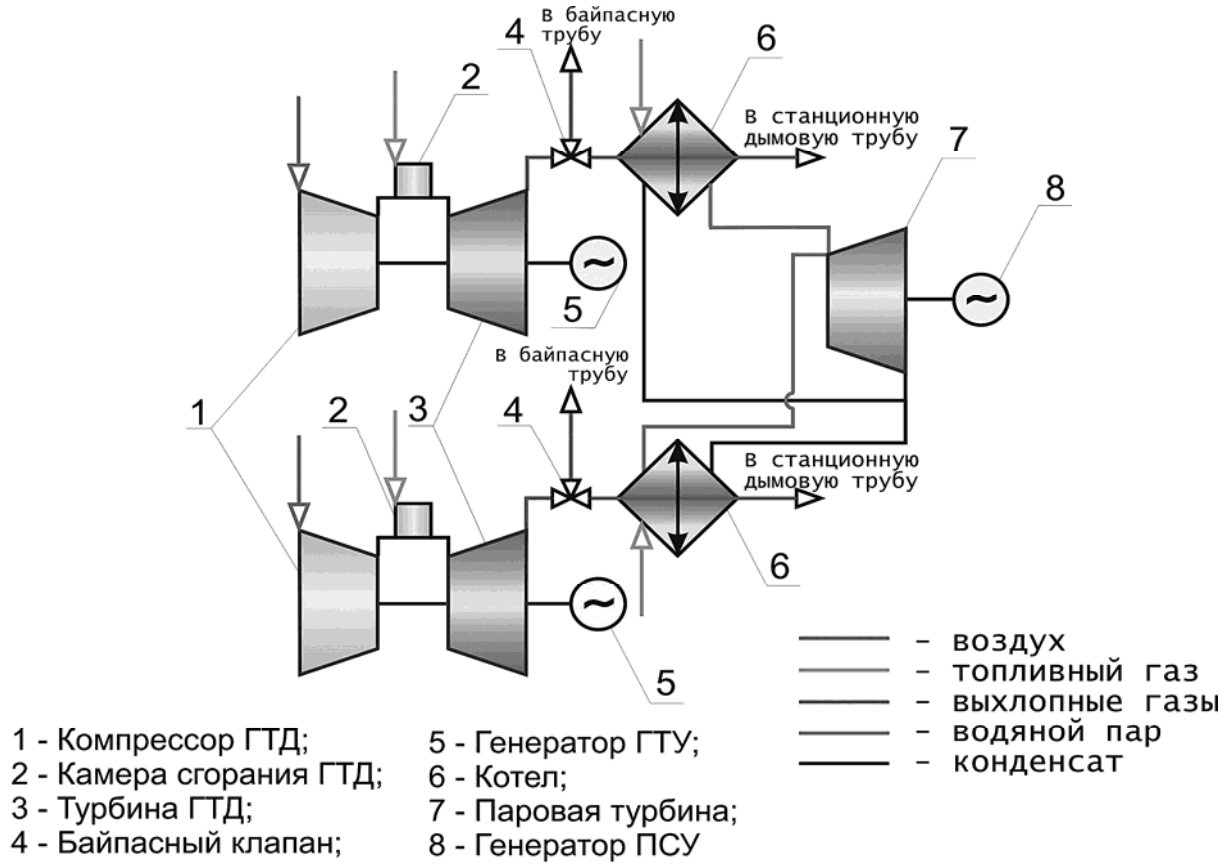

Рис. 2. Тепловая схема ПГУ-215, включая ГТЭ-25

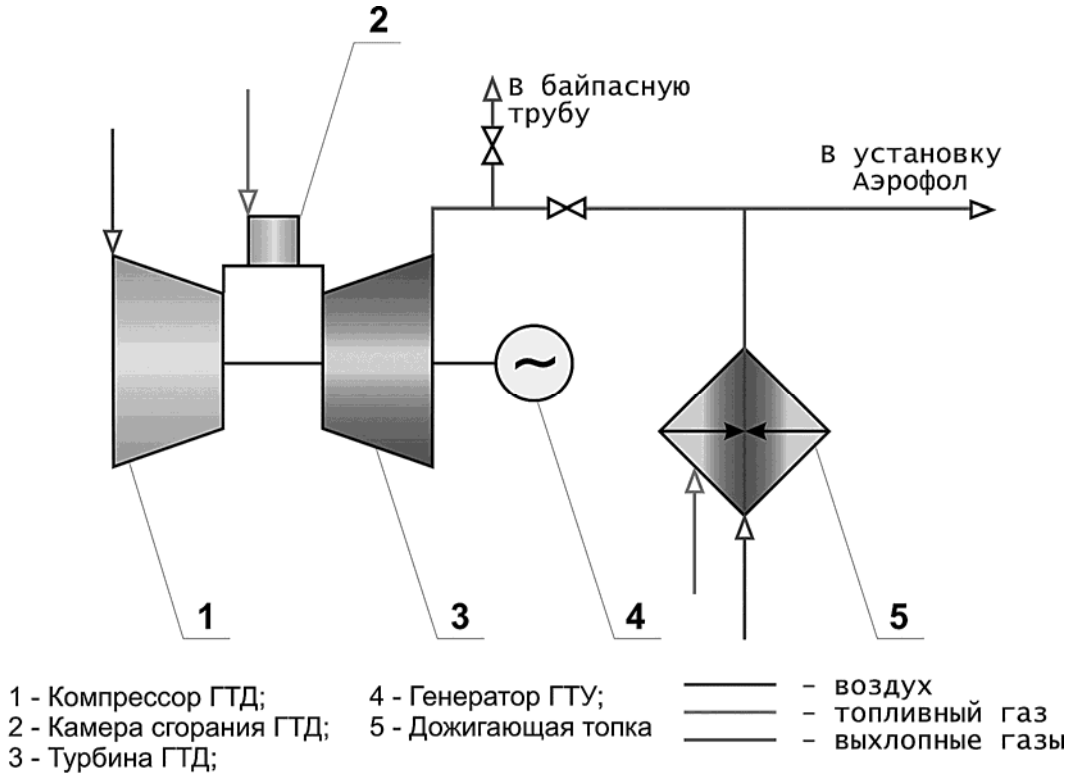

Рис. 3. Тепловая схема ГТЭ-15 на БЦЗ

перечисленному оборудованию, вошли также:

- комплектное распределительное устройство 10 кВ;
- трансформаторы собственных нужд;
- автоматическая система пожаротушения.

Оборудование ГТУ скомпоновано в блоках, предназначенных для наружной установки на объекте. Все помещения блоков оборудованы системами вентиляции, отопления, освещения, датчиками системы обнаружения пожара и газа и трубопроводами распыла огнегасящего вещества (CO_2).

Общий вид ГТЭ-15 представлен на рис.4.

Основные характеристики ГТУ в условиях

Таблица 1.

Параметры ГТУ согласно технических условий

Параметры	ГТЭ-15	ГТЭ-25
Мощность на клеммах генератора, МВт	16,4	25
КПД на клеммах генератора, %	33,1	34,5
Температура выхлопных газов на срезе газоотвода, ^{o}C	421	493
Расход выхлопных газов на срезе газоотвода, кг/с	71,8	87,7
Содержание NOx в выхлопных газах, мг/нм^3	70	100
Содержание CO в выхлопных газах, мг/нм^3	80	100

В составе энергоустановок ГТЭ-25 и ГТЭ-15 применены универсальные газотурбинные двигатели UGT 25000 и UGT 15000 соответственно. Параметры ГТД в условиях ISO 2314 приведены в таблице 2.

Таблица 2.

Параметры ГТД в условиях ISO 2314

Параметры	UGT 15000	UGT 25000
Мощность на фланце силовой турбины, МВт	16,9	26,2
КПД на фланце силовой турбины, %	35,0	36,3
Суммарная степень повышения давления в компрессорах	19,6	20,8

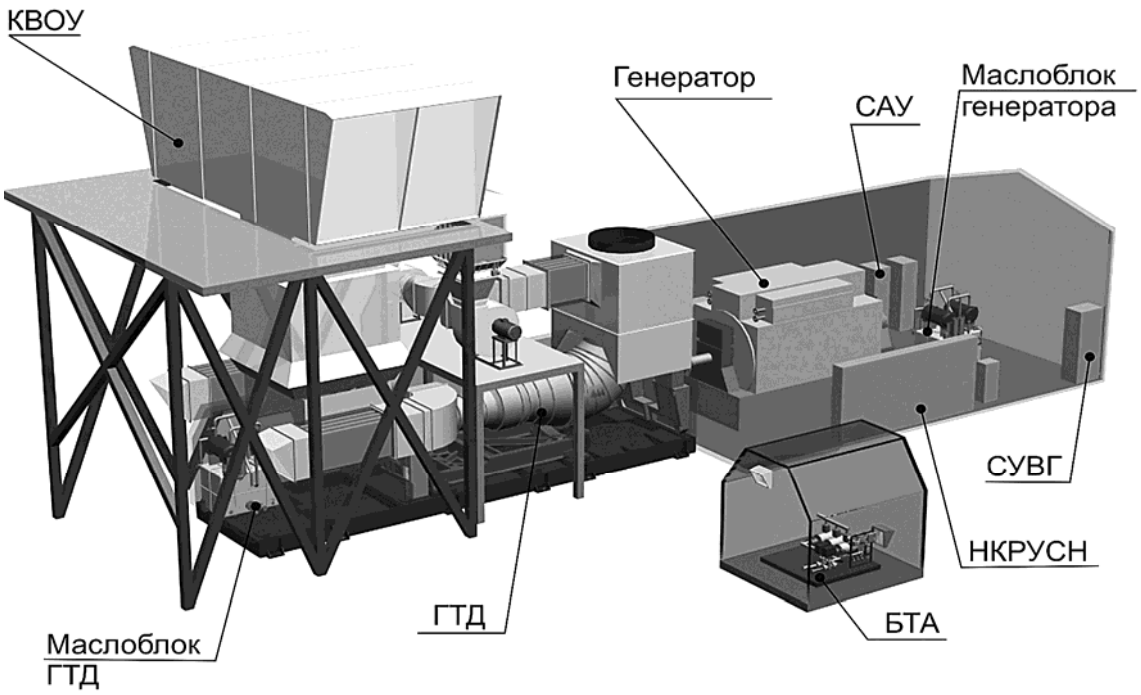

Рис.4. Компоновка ГТЭ-15

Работы по монтажу, наладке и вводу в эксплуатацию установок на обоих объектах велись параллельно. Механический монтаж оборудования был выполнен за два месяца благодаря тому, что большая часть оборудования поступала на объект в заводской готовности либо прошедшая макетную сборку на заводе. Прокладка коммуникаций, подключение оборудования и наладка заняли еще два месяца. Затем были произведены пробные пуски, включение в сеть и комплексное опробование. При этом, установки ГТЭ-25 проходили опробование в составе парогазового блока (ПГУ-215), в то время как на БЦЗ установка ГТЭ-15 работала на байпасную трубу.

В ходе испытаний было подтверждено соответствие фактических теплотехнических, экологических и маневренных характеристик установок требованиям технических условий. Успешно были проведены испытания по сбросам номинальной нагрузки установки без превышения допустимой частоты вращения турбогенератора. При совместной работе ПГУ-215 получена проектная мощность 215 МВт и удельный расход топлива 310 г.у.т/кВт-ч при проектной величине 307 г.у.т/кВт-ч (до реконструкции 370 г.у.т/кВт-ч).

В 2004 году началась эксплуатация установок. В ходе первых месяцев эксплуатации ГТЭ-15 на цементном заводе получено подтверждение принятых проектных решений, в частности получена устойчивая совместная работа установки и технологического оборудования со сбросом выхлопных газов в мельницу сушки сырья “Аэрофол”. Фактическая стоимость вырабатываемой газотурбинной установкой энергии для завода оказалась вдвое ниже цены покупной. Дополнительно, при работе установки экономится природный газ, ранее сжигавшийся для сушки сырья.

На Березовской ГРЭС, в ходе второго месяца эксплуатации реконструированного блока получено среднее значение расхода топлива на единицу отпущенной энергии 317 г.у.т/кВт-ч, то есть расход топлива снижен на 14%. Таким образом, четвертый блок стал в один ряд с самой экономичной в Белоруссии Лукомльской ГРЭС. При этом прогнозируется дальнейшее снижение удельного расхода топлива до проектного значения за счет оптимизации работы паросилового оборудования.

На рис.5 представлены показатели использования установок ГТЭ-25 в составе блока ПГУ-215. Средний коэффициент готовности за три месяца составляет 92%, коэффициент использования 80%.

При этом основной причиной нерабочего состояния ГТУ являлись ошибки эксплуатационного персонала (см. рис. 6).

За три месяца эксплуатации произошло 8 аварийных остановок ГТУ из сети, из них 4 вызваны неисправностями систем электростанции, 2 – ошибками эксплуатационного персонала и 2 – ложным срабатыванием защит ГТУ из-за отказа контрольно-измерительных приборов. Наработка ГТУ на 01.06.2004 г. составляет 1950 и 1750 часов.

На рис.7 представлены показатели использования установки ГТЭ-15 на Белорусском цементном заводе. Средний коэффициент использования за четыре месяца составляет 87%. Начиная с 05.04.2004 г., не было ни одной аварийной остановки ГТУ из сети. Простои оборудования в основном связаны с технологическими причинами. На 01.06.2004г. наработка составляет 2735 часов.

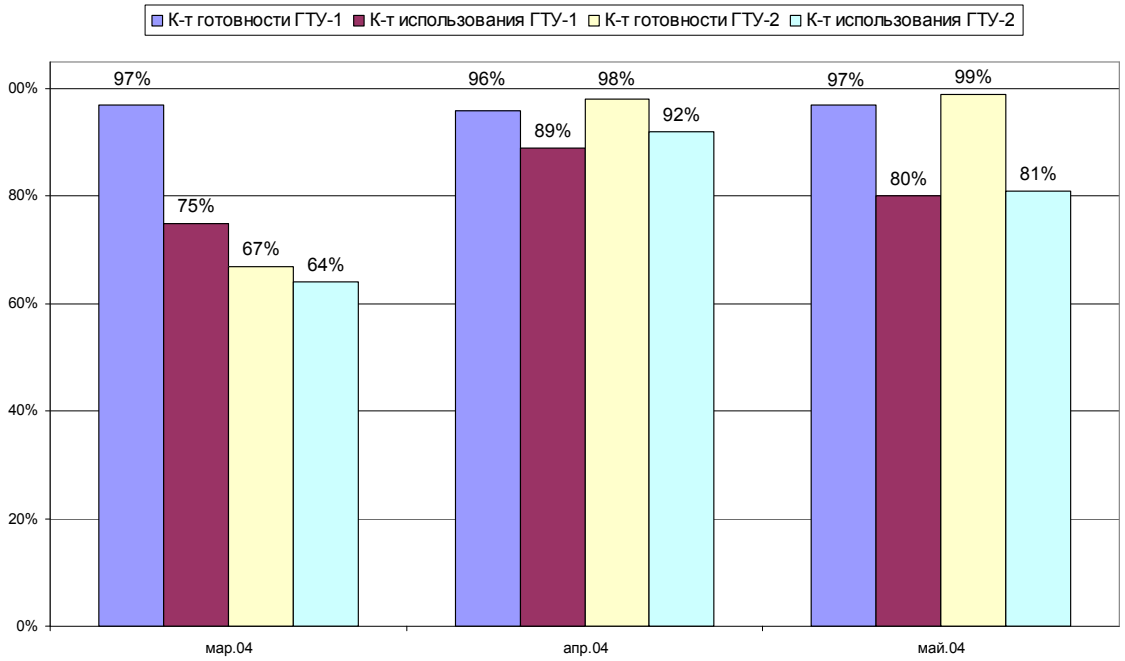

Рис. 5. Показатели использования ГТЭ-25 на Березовской ГРЭС

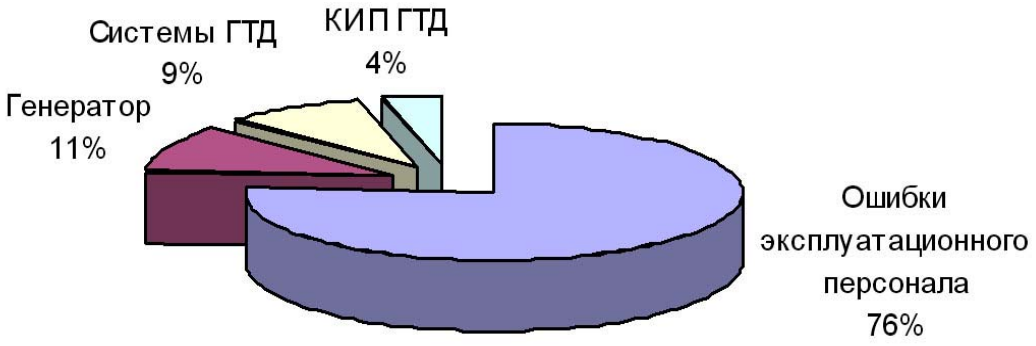

Рис. 6 Причины простоя ГТЭ-25

Основные проблемы, возникшие в ходе пусконаладки и эксплуатации ГТУ, были вызваны двумя причинами: ошибками при проектировании систем объекта и конструктивными дефектами комплектующего оборудования, поставленного в составе ГТЭ-25 на Березовскую ГРЭС.

Допущенные ошибки при проектировании систем объекта объясняются отсутствием опыта у проектных организаций Белоруссии по проектированию объектов энергетики с применением газотурбинной техники. Такого опыта нет и ни у одной проектной организации стран СНГ в связи с тем, что газовые турбины практически не применялись в стационарной энергетике.

В результате, не выполняется ряд специфических требований, особенно касающихся системы подготовки топлива, эффективность которой приобрела особое значение в связи с применением “экологических” камер сгорания. Так, в обоих проектах систем подготовки топлива были допущены принципиальные ошибки, например:

- неправильная последовательность оборудования в техпроцессе подготовки газа – сепаратор установлен после подогревателя;
- применение висциновых фильтров (на БЦЗ);
- применение сетчатых фильтров с размером ячейки около 100 мкм в качестве фильтров тонкой очистки (на БЦЗ);
- отсутствие обогрева и теплоизоляции трубопроводов от пункта подготовки газа до блока топливной аппаратуры ГТУ (длина около 200 м);
- применение трубы из конструкционной стали (вместо коррозионностойкой) для трубопроводов от пункта подготовки газа до блока топливной аппаратуры ГТУ (на БЦЗ)
- отсутствие блока отключающей арматуры перед блоком топливной аппаратуры ГТУ (на БЦЗ);
- применение в блоке отключающей арматуры клапанов с быстродействием на закрытие 15-20 с. вместо положенных по правилам 1 с.

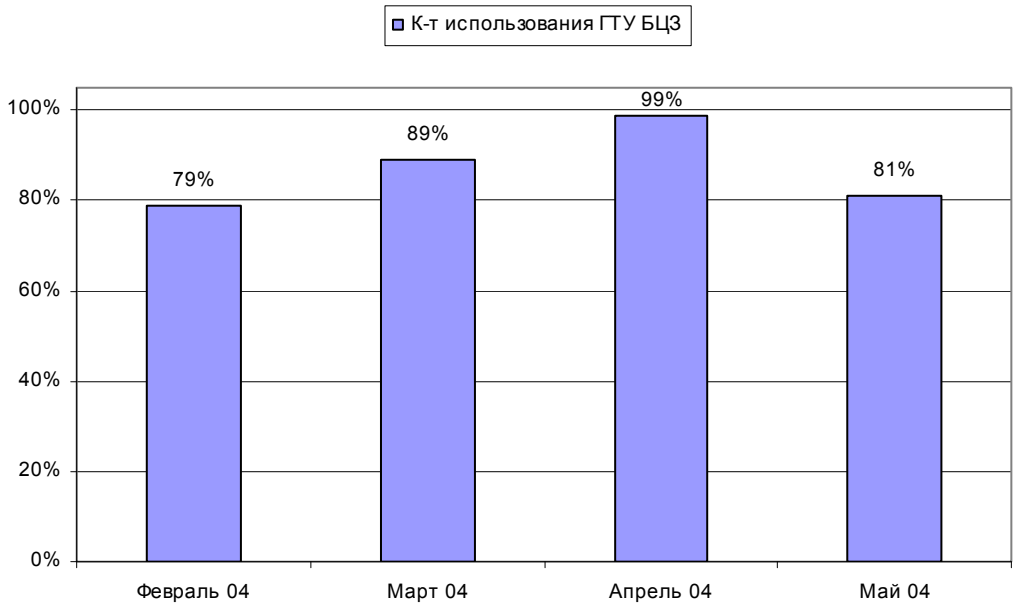

Рис. 7 Показатели использования ГТЭ-15 на Белорусском цементном заводе

Эти ошибки исправлялись в ходе поставки оборудования, монтажных работ и пусконаладки. Однако, не все удалось устранить своевременно, что привело к поступлению в топливную аппаратуру и горелочные устройства ГТЭ-25 газа с конденсатом, состоящим из воды с включениями парафинов. В результате этого, горелочные устройства были загрязнены солями жесткости и парафинами, что в свою очередь вызвало ухудшение эксплуатационных и экологических характеристик ГТД. Загрязнения были удалены в условиях объекта с полным восстановлением характеристик ГТД.

Недостаточное внимание было уделено также модернизации систем технического водоснабжения предприятий для обеспечения подачи воды на охлаждение ГТУ. Не было обеспечено поддержание заданного давления в системе, резервирование водяных насосов (на БГРЭС), очистка воды от крупных мехпримесей (на БЦЗ). Вследствие этого, происходили аварийные остановки ГТУ из-за перегрева масла в системе смазки ГТД. В настоящее время, системы доработаны.

Ряд ошибок был допущен при проектировании газоходов отвода выхлопных газов ГТУ на Березовской ГРЭС. При этом, проектировщиком не были учтены рекомендации НПКГ “Зоря”-“Машпроект” по геометрии выхлопного тракта, в результате чего газоходы были выполнены с увеличенным проходным сечением и резкими его изменениями. Это повысило потери давления в выхлопном тракте. Кроме того, неправильный расчет опорной конструкции варианта газохода, имеющего поворот потока на 90°, привел к его повышенной вибрации и перекосу в ходе работы ГТУ. Дефект был устранен путем установки дополнительной опоры и компенсатора.

Основными конструктивными дефектами поставленного в составе ГТЭ-25 комплектующего оборудования явились: повышенный уровень вибрации турбогенератора и заклинка байпасного клапана, устанавливаемого в выхлопном газоходе ГТУ.

Турбогенератор Т-25 производства ОАО “Привод”, г. Лысьва, впервые применен с ГТД в составе установки ГТЭ-25. До этого, аналогичные генераторы применялись только с паротурбинным приводом. В ходе пусконаладочных работ, был зафиксирован повышенный уровень горизонтальной составляющей вибрации опор генератора с частотой 100 Гц. Максимальные уровни вибрации наблюдаются на синхронной частоте вращения при подаче возбуждения. После входа в сеть, с набором активной мощности уровни вибрации снижаются и на режимах близким к номинальному не превышают допустимых норм. В настоящее время ОАО “Привод” разрабатывает конструктивные мероприятия по снижению уровней вибрации на проходных режимах, которые могут быть внедрены в эксплуатации, одновременно с выполнением технического обслуживания генератора. До внедрения мероприятий эксплуатация генератора ведется без ограничений.

Пускозащитный байпасный клапан устанавливается в газовыхлопном тракте ГТУ для подачи выхлопных газов ГТУ на котел либо в байпасную трубу (поз. 4 рис.1). По проекту, клапан должен выполнять маневренные и защитные функции: обеспечивать возможность запуска отдельно ГТУ и паросиловой установки (ПСУ), перевода блока из режима ПСУ в режим ПГУ и обратно, а также переводить поток выхлопных газов на байпас при отказе дымососов котла, для его защиты от повреждений вызванных избыточным давлением в топке. Однако, проведенные в ходе наладки испытания показали, что при работе ГТУ на режиме номинальной мощности (25 МВт) и неработающих дымососах, в топке котла создается избыточное давление 27 мм вод.ст. (при допустимой величине 150 мм вод.ст.), что не может представлять никакой опасности для оборудования. Кроме того, отлажена технология надежного запуска блока в режиме ПГУ. Таким образом, единственным назначением клапана остается обеспечение перевода блока из режима раздельной работы ГТУ и ПСУ в режим ПГУ и обратно. Однако, в настоящее время клапан не обеспечивает эту функцию в связи с подклинкой деталей в опорных узлах и узлах сопряжений клапана. Изготовителем клапана в настоящее время ведутся работы по изменению конструкции клапана. До проведения такого изменения, блок работает без ограничений в режиме ПГУ.

Вывод

По результатам пусконаладки и первых месяцев эксплуатации установок ГТЭ-15 и ГТЭ-25, очевиден экономический эффект от использования газотурбинной техники. При этом, показатели использования установок находятся на высоком уровне, особенно с учетом того, что установки эксплуатируются в составе сложных и уникальных

Література

1. В.В.Романов, Д.В.Склярский. Блочно-контейнерные газотурбинные энергетические установки мощностью 16 и 25 МВт для электростанций Беларуси. Судовое и энергетическое газотурбостроение. Научно-технический сборник. Том 2. – Николаев, 2004.