УДК 621.6.05

ИСАКОВ БОРИС ВЛАДИМИРОВИЧ – главный конструктор, директор ЦНИОКР “Машпроект”

КРИВУЦА ВИЛЬ АНДРЕЕВИЧ – ведущий конструктор проекта ЦНИОКР “Машпроект”

МОВЧАН СЕРГЕЙ НИКОЛАЕВИЧ – начальник отдела ЦНИОКР “Машпроект”

СТЕПАНЕЦ БОРИС ПЕТРОВИЧ – заместитель начальника отдела ЦНИОКР “Машпроект”

ФИЛОНЕНКО АЛЕКСАНДР АЛЕКСЕЕВИЧ – заместитель начальника КО, начальник отдела “ЦНИОКР “Машпроект”

ПЕРВЫЕ ИТОГИ ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГПУ – 16К “ВОДОЛЕЙ” НА КОМПРЕССОРНОЙ СТАНЦИИ СТАВИЩЕНСКАЯ МАГИСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДА

В сообщении представлены краткие результаты опытно-промышленной эксплуатации комбинированной газотурбинной установки (КГПТУ – 16) в составе газоперекачивающей установки ГПУ–16К.

In the article short results of experiment-industrial exploitation of the combine gas-turbine plant in the unit of gas transfer set are examined.

Постановка проблемы и выделение нерешённых задач

Установка ГПУ–16К введена 08.11.03 решением Государственной комиссии в опытно – промышленную эксплуатацию на стенде 5 цеха 2 КС – 35 Ставищенская. Наработка на 24.06.04 составила 1250 часов.

Краткое описание ГПУ – 16К, её предназначение.

В состав ГПУ-16К входят:

- комбинированная газопаротурбинная установка
- КГПТУ –16К;
- НЦ – 16;
- цех ВТС – вспомогательных технических средств;
- блок АВО.

Общий вид ГПУ – 16 на рис.1.

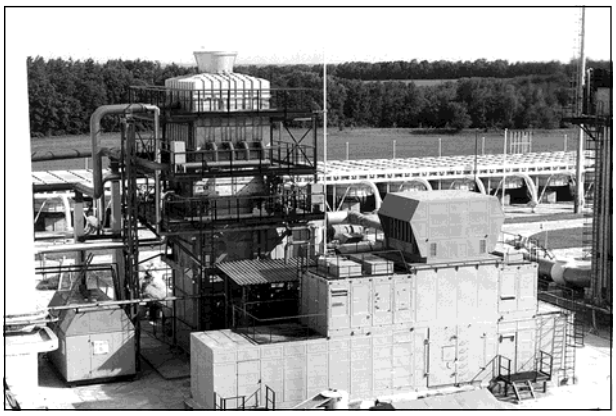

Рис.1.

Изложение основного материала

КГПТУ – 16 состоит из ГТД ДУ71Л (рис.2) с его системами; ГТД на своей раме в звукоизолирующем кожухе; КВОУ – комплексного воздухоочистительного устройства на входе ГТД, газоотвода на выходе ГТД; котла – утилизатора КУП – 2700, установленного на выхлопе ГТД вертикально, контактного конденсатора – газоохладителя КК – 40. КГПТУ – 16К приводит нагнетатель НЦ – 16 мощностью 16 Мвт на номинальной частоте вращения п = 5300 об/мин. ГТД ДУ71 на своей раме и в своём звукоизолирующем кожухе вместе с НЦ – 16 помещены в укрытии, изготавливаемом серийно в СМНПО им. М.В. Фрунзе.

Цех ВТС – комплексное здание, в котором

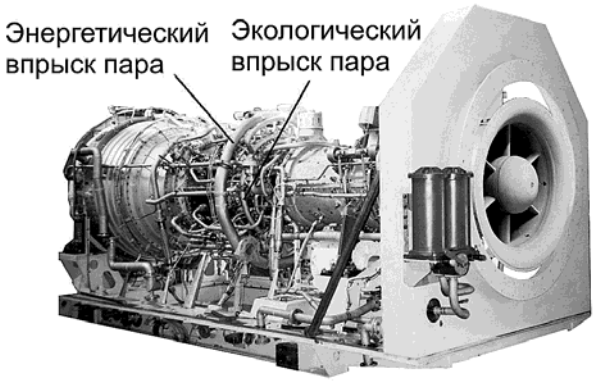

Рис.2.

размещены вспомогательные системы водоподготовки и очистки конденсата СОЦКК, система охлаждения воды СОУВ, системы очистки конденсата СОК и др. системы, обеспечивающие работу ГПУ – 16К. Блок АВО – агрегаты воздушного охлаждения конденсата, 7 пар вентиляторов с теплообменниками. Охлаждение конденсата – воздушно – водяное.

Общий вид станции ГПУ – 16К показан на рис.3.

Работа ГПУ–16К заключается в следующем: газотурбинный двигатель непосредственно вращает свободной турбиной нагнетатель НЦ–16. В котле–утилизаторе энергия выхлопных газов трансформируется в пар высоких параметров.

Пар двумя потоками впрыскивается в ГТД, повышая приводную мощность до номинальной – 16 Мвт. Отработавший в ГТД пар в составе парогазовой смеси проходит котёл, где утилизируется его энергия с 450^{0}С до 160^{0}С; далее парогазовый поток проходит контактный конденсатор – газоохладитель где охлаждается противотоком водой до температуры 40-60^{0}С, пар из смеси конденсата и с охлаждающей водой через сборную ёмкость отправляется в холодильник водо-воздушного типа (АВО), охлаждается до температуры 30^{0}С и поступает опять в КК-40 для продолжения цикла работы. Из сливаемой из конденсатора смеси отбирается вода для питания котла.

При работе установки ГПУ – 16К постоянно задействованы насосы питания котла, системы регулирования уровней в сепараторе и деаэраторе., контактный насос (циркуляционный) питания системы распыления КК-40, электродвигатели вентиляторов АСО. Переменно работают регуляторы, электродвигатели системы водоподготовки и другое оборудование цеха ВТС. САУ всей ГПУ – 16К разделена на две системы: одна – управляет процессами в ГТД, КУП, КК, вторая – только системами подготовки воды, охлаждения конденсата, накопления и расходования воды, её очистки от примесей.

Обе системы связаны немногочисленными разрешающими и запрещающими сигналами, обеспечивая минимум зависимости систем друг от друга, позволяющий некоторое время работать в аварийных ситуациях.

САУ всей ГПУ–16К не только управляет агрегатами установки и контролирует состояние их параметров, сравнивая с допускаемыми в эксплуатации величинами, но и архивирует параметры и события, позволяющие потом проанализировать работы ГПУ – 16К и отдельных её узлов и агрегатов.

Схема установки ГПУ-16К приведена на рис. 4.

Хроника событий изготовления и введения в опытно-промышленную эксплуатацию ГПУ-16К.

1996 г. – изготовление КУП-2500 с сепаратором.

1997 г. – изготовление КК-40.

1998 г. – изготовление ГТД ДУ71Л № 1.

1999 г. – отправка КУП-2500 и КК-0 на КС-35

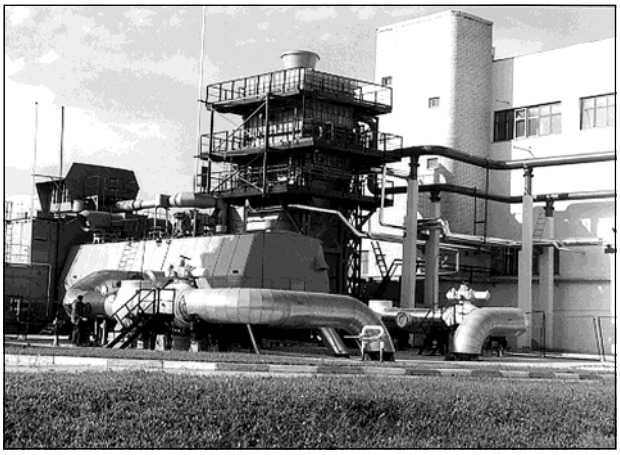

Рис. 3. Общий вид с цехом вспомогательных систем (цех ВТС) и элементами газопровода на переднем плане.

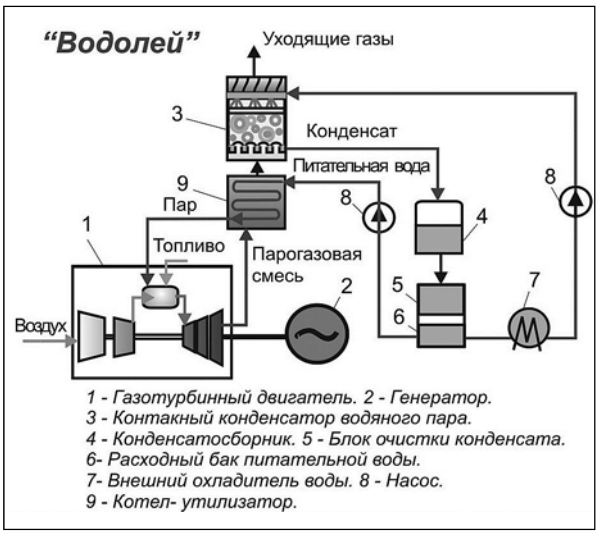

Рис. 4. Схема установки ГПУ-16К

Ставищенская.

1999 г. – хранение на КС-35 до монтажа.

1998 – 2001 г. – экспериментально – доводочные испытания ГТД ДУ71Л №1 в составе КГПТУ-25 (котёл КУП-2500, КК-90, стендовые системы б. 10 ц.100 НПО "Машпроект").

Постановок на стенд и съёмов – 16, наработка – 650 часов, запусков – 96. Цель – испытания: внедрение и проверка рациональных конструкций и решений, подготовка к сдаточным испытаниям и отправка на объект – КС-35 Ставищенская.

6.06.2001 г. – отправка ГТД ДУ71№1 на КС-35 Ставищенская после контрольных испытаний 01.03.01.

2002 г. – начало монтажа КУП-2700, КК-40, ГТД ДУ 71Л № 1.

2002 г. – окончание основного строительства цеха ВТС, его насыщение отладка оборудования ВТС.

Февраль 2003 г. – окончание монтажа ГТД ДУ71Л №1, САУ КГПТУ-16К.

26 февраля 2003 г. – первый запуск ГТД ДУ71Л № 1 начало пуско-наладочных работ КГПТУ–16К, ВТС, всех систем ГПУ-16К.

Апрель 2003 г. – первая попытка запуска ДУ71Л – удачная; запуск в полуавтоматическом режиме всей установки ГПУ-16К; работа на кольцо 4-5 часов; после этого исправления ошибок в алгоритмах САУ КГПТУ и САУ ВТС, согласование их.

Примечание: необходимо отметить, что первый запуск ГТД ДУ71Л № 1 был автоматическим 26.02.03. Выход в магистраль с работой 1 час – 29.06.03. Потеря времени между первым запуском и выходом в магистраль в основном объясняется продолжительной стыковкой алгоритмов управления САУ КГПТУ и САУ ВТС, устранением множества дефектов в работе ВТС.

Июнь-июль 2003 г. – отладочная работа с проверкой всех запусков ГПУ-16К на кольцо и магистраль. Обнаружение дефекта по засолению внутренних трубок испарителя и экономайзера КУП–2700.

Июль-август 2003 г. - разработка РКД по внедрению в схему питания котла рециркуляционного насоса.

Сентябрь-ноябрь 2003 г. - установка рециркуляционного насоса и систем трубопроводов, обеспечивающих его работу

Ноябрь 2003 г. – подготовка к Государственным приёмочным испытаниям, проведение двух серий 72-часовых испытаний.

6-8 ноября 2003 г. – 72-часовые приёмочные испытания

11 ноября 2003 г. – заседание государственной комиссии, решение о допуске ГПУ–16К к опытно–промышленной эксплуатации.

С 11.11.2003 г. – опытно–промышленная эксплуатация в соответствии с графиком диспетчерской службы магистрали.

Январь-март 2004 г. – останов ГПУ–16К для работ по АВО (устранение дефектов, устранение "размораживания" систем, доработки АВО для повышения эффективности их работы и достижения расчётных величин эффективности.)

24.004-2004 г. – останов ГПУ–16К для профилактического осмотра после 1000 часов наработки в соответствии с Программой опытно – промышленной эксплуатации.

24-29.04.2004 г. – профилактический осмотр двигателя ДУ71Л № 1, котла-утилизатора КУП-2700, контактного конденсатора-газоохладителя КК-40 и их систем после 1150 часов работы. Осмотр предусмотрен "Программой опытно-промышленной эксплуатации". В двигателе осмотрены форсунки, их крепление, состояние жаровых труб, 1 СА ТВД (сколько позволял сектор осмотра эндоскопом. Обнаружены размывы двух форсунок, разбиты втулки двух фиксаторов, поддожены верхние полки 1 СА ТВД напротив размытых форсунок и др дефекты.

Обнаруженные дефекты при легком их устранении позволили продолжить режимную работу ГПУ-16К в магистраль. Однако, учитывая статус испытаний – "Опытно-промышленная эксплуатация" - и специфику работы ГТД ДУ71Л с впрыском пара в проточную часть, решено было разобрать весь жаровый узел камеры сгорания ДУ71Л№1; разобрать 1 СА ТВД и все это направить на подробные исследования в Центр НИОКР "Машпроект".

С 10.05.04 – исследования ЖТ и 1СА и состояния, необходимости и возможности доработок этих узлов и деталей, возвращение для сборки ГТД ДУ71Л № 1 и продолжения опытно-промышленной эксплуатации ГПУ-16К.

Необходимые доработки:

24-27.05.2004 г. – установка доработанного 1СА ТВД на свое место в двигатель ДУ71Л № 1;

02.06-10.06.2004 г. - сборка жарового узла двигателя ДУ71Л № 1 в условиях КС-35 Ставищенская;

15.06.2004 г. – запуск автоматический ГПУ-16К для проверки правильности сборки в условиях КС-35;

21.06.2004 г. – постановка ГПУ-16К на регламентную работу по "Программе опытно-промыш-ленной эксплуатации" в магистраль.

На 1.07.2004 г. установка ГПУ-16К наработала на КС-35 Ставищенская в магистраль 1300 часов.

Как следует из хронологии эксплуатации ГПУ-16К за период 1300 часов с февраля 2003 г по июнь 2004 г отмечено ряд дефектов, требующих устранения их для дальнейшей эффективной и надежной эксплуатации. Принципиально с некоторыми из них можно было бы дальше работать ГПУ-16К штатно с меньшей эффективностью.

Однако, принятый госкомиссией статус работы ГПУ-16К на КС-35 Ставищенская - опытно-

промышленная эксплуатация, позволил постоянно наблюдать за работой ГПУ-16К и временно выводить из работы по-штатному для проведения профилактических, ремонтных работ. Так , с целью упрощения принята и изготовлена разработчиком ОАО “Турбогаз” схема водоподготовки – 2-й вариант – умягченная питательная вода котла: в первоначальной РКД, в 1 варианте питательная вода котла после водоподготовки должна быть обессоленной. Умягченная питательная вода при степени циркуляции 1,3-1,4 способствовала на некоторых режимах работы котла КУП-2700 засолению периферийных трубок испарителя, экономайзера, что приводило к потере паропроизводительности и параметров котла.

По предложению ЦНИОКР “Машпроект” разработана и выпущена РКД на постановку циркуляционного насоса в схеме питания котла со степенью рециркуляции 3,5-4,5. Работа эта выполнена в августе – сентябре 2003 г. При испытаниях показала положительные результаты, практически сняв вопрос о засолении котла и изменении его параметров при эксплуатации.

Эксплуатация АВО (агрегатов воздушного охлаждения конденсата) в августе-декабре 2003 г показала недостаточную их эффективность. При расчетном $\eta_{эф}$ = 0,75 фактически получен был $\eta_{эф}$ = 0,45…0,65. При осмотре АВО обнаружены ряд отступлений при монтаже. Отсутствие решений работать АВО при низких температурах наружного воздуха привело к “размораживанию” теплообменных трубок.

При таком состоянии АВО при температуре наружного воздуха ниже 5-8°С охлаждение конденсата с температурой плюс 40-45°С в АВО достигало плюс 28-34°С, что практически не позволяло эффективно охлаждать парогазовую смесь и производить высадку конденсата.

Если учесть, что при этом производились эксперименты по определению эффективной продувки непрерывной и величина ее достигла 1,0-3,5 т/ч, то отмечены потери конденсата от 1,0 до 5,0 т/ч. Эффективность АВО оценивалась в 0,4-0,45.

Устранение дефектов по АВО – ремонт “размороженных” трубок, исправление трубных досок, сливов и т.п. на месте в январе-марте 2004 увеличило эффективность АВО до 0,7-0,73 и при продувке 400-450 кг/ч наблюдалась дополнительная высадка конденсата (за счет сгорания топливного газа). Однако, констатируется тот факт ,что эффективность АВО первоначально выбрана низкой и требует увеличения ее как на существующей матчасти АВО, так и приобретение новых, более эффективных АВО. Необходимо так же решить вопрос и о запуске АВО в зимнее время – сегодня это не предусмотрено конструкцией АВО, что вызывает большие трудности в надежной эксплуатации.

Профилактический осмотр проточной части после 1150 часов режимной работы (предлогом было отклонение показаний температуры газа от допустимых величин ±50°С и осмотр предусмотренный “Программой опытно-промышленной эксплуатации”) выявил ряд дефектов по топливным форсункам, жаровым трубам, 1 СА ТВД. Эти узлы были демонтированы для тщательного изучения и дефектации в заводских условиях “Зоря”-“Машпроект”. Исследованные узлы дали определенную информацию о поведении выбранных в 1992-94 гг. материалах для жаровых труб камеры сгорания и сопловых лопаток 1 ст. ТВД. Отмечено, что указанные детали после проведения необходимых ремонтно-профилактических работ могут быть допущены к дальнейшей эксплуатации. Однако, для обеспечения заявленного ТУ ресурса – 15000-20000 часов до капитального ремонта – необходима замена материалов на современные с характеристиками, обеспечивающими заданный ресурс.

Т.о., статус опытно-промышленной эксплуатации позволил по результатам постоянных наблюдений и профилактических осмотров, предусмотренных “Программой опытно-промышленной эксплуатации”, своевременно обнаружить начало развивающихся дефектов по ЖТ и 1 СА, их устранить и продолжить с 21.06.04 опытно-промышленную эксплуатацию ГПУ-16К на КС35 Ставищенская.

Вывод

Результаты наблюдений за параметрами:

Література

1. Бондин Ю.Н., Сорочин В.В. Реконструкция газопроводов на базе отечественной техники // Нефть и газ. – 2000. №4 – С.30-33.
2. Блинов П.А., Земеров С.В., Рубцов Г.К. Об экономической эффективности сооружения парогазовой установки на газокомпрессорной станции // Промышленная энергетика. – 1999. – №3. – С. 2-4.
3. Билека Б.Д., Васильев Е.П., Кабаков В.Я. Энергоустановки на низкокипящих рабочих телах для утилизации сбросной теплоты ГПА для выработки электроэнергии на компрессорных станциях магистральных газопроводов // Сборник докладов научно-производственной конференции “Использование газотурбинных, когенерационных установок и возобновляемых источников энергии для решения проблем энергетики Украины”. – С. 86-89.
4. Бондин Ю.Н. Экономия топливных ресурсов путём использования технологии “Водолей” // Тезисы докладов международной конференции “Перспективные задачи инженерной науки”, Игало, Черногория, 2003. – С.75.