УДК 621.433

БОНДАРЕНКО А.С., начальник отдела ЦНИОКР “Машпроект”, ГП НПКГ “Зоря”-“Машпроект”, г. Николаев, Украина

КАЛЛАШ В.Л., ведущий инженер-конструктор ЦНИОКР “Машпроект”, ГП НПКГ “Зоря”-

ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГАЗОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ С

Приведен состав ГТУ, основные доработки, технические характеристики, показатели рентабельности и надежности при работе на вакуумном газойле, а также приведены работы по переводу ГТД на “сухой” газ.

The contents of GTS, main achievements, technical characteristics, indexes of profitableness and reliability when working on vacuum gasoil, and works about shift of GTE on “dry” gas.

Постановка проблемы и решение невыделенных задач

Газотурбинные установки с утилизацией тепла разработки и изготовления ГП НПКГ “Зоря”-“Машпроект” начали использоваться с начала 70-х годов. Впервые такая схема использования судовых газотурбинных двигателей (ГТД) была применена на плавучих электростанциях (ПлЭС) типа “Северное Сияние”. Всего было построено шесть таких электростанций, где были применены судовые ГТД типа М3А мощностью 12 МВт. На ПлЭС для внешних потребителей были применены котлы-утилизаторы производительностью пара 18 т/ч при давлении 0,5 МПа. К сожалению, из-за сложности строительства тепловых сетей в отдаленных районах, преимущественно характеризуемых вечной мерзлотой, это качество ПлЭС, дававшее возможность существенной экономии топлива при выработке электроэнергии, не нашло практического применения.

В конце 70-х годов ГП НПКГ “Зоря”-“Машпроект” впервые разработало и применило в главных судовых энергетических установках утилизацию тепла выхлопных газов ГТД, что позволило снизить расход топлива на 20÷25% по сравнению с установками простого цикла. Такими установками (агрегаты М25) были оснащены суда-контейнеровозы типа “Капитан Смирнов”. Двадцатилетний опыт эксплуатации судовых газотурбинных установок (ГТУ) с утилизацией тепла подтвердил их высокую надежность и экономическую целесообразность дальнейшего их использования в различных областях народного хозяйства.

Изложение основного материала

Используя опыт, накопленный по эксплуатации ГТУ с утилизацией тепла, а также - по сжиганию вязких сортов топлив в судовых агрегатах М25 ГП НПКГ “Зоря”-“Машпроект” разработало, изготовило и в 1996 году сдало в промышленную эксплуатацию в республике Беларусь на Мозырьском нефтеперерабатывающем заводе (МНПЗ) стационарную газотурбинную электростанцию ГТЭ-15 мощностью 15 МВт с утилизацией тепла выхлопных газов. Поставка оборудования электростанций производилась ГП НПКГ “Зоря”-“Машпроект” комплектно. В состав энергетического оборудования электростанции входят:

- блок-контейнер ГТД, в котором размещены – ГТД ДЖ59Л3, воздухозаборная камера, газоотвод, отсек топливной аппаратуры;
- генератор ТС-20-2УЭ;
- котел-утилизатор КУП-3100;
- масляные блоки ГТД и генератора;
- блок электротехнического оборудования;
- выносной блок топливных и масляных агрегатов;
- комплексное воздухоочистительное устройство (КВОУ).

Основные технические характеристики ГТЭ-15:

номинальная мощность на клеммах генератора – 15,4 МВт при температуре воздуха на входе в ГТД 288К (15°С), сопротивлении

воздухозаборной системы – 981 Па (0,01 кгс/см^2), сопротивлении на выхлопе – 490 Па (0,005 кгс/см^2);

- режим использования – базовый;
- расход жидкого топлива на номинальной мощности – 4350 кг/ч при теплотворной способности – 10200 ккал/кг;
- температура выхлопных газов перед котлом – 643К (370°С), за котлом – 453К (190°С);
- паропроизводительность котла - 25000 кг/ч;
- давление пара – 12 кгс/см^2;
- температура пара 583К (310°С);
- ресурс ГТД до капитального ремонта – 25000 ч;
- ресурс ГТД до списания – 10000 ч;
- ресурс КУП-3100 – 100000 ч.

В начальный период эксплуатации конструкцией ГТД ДЖ59Л3 была предусмотрена возможность его работы на двух видах топлива: дизельном (ГОСТ 305-82) и газообразном (ГОСТ 5542-87). Переход с одного вида топлива на другой

Основные физико-химические характеристики вакуумного газойля

№ п/п	Наименование показателя	Единица измерения	Значение
1	Вязкость кинематическая при 100°С	сст	4,5
2	Температура застывания	^{o}С	+32
3	Температура вспышки в закрытом тигле	^{o}С	190
4	Содержание серы	% масс	0,094
5	Содержание ванадия	ppm	до 0,5
6	Содержание натрия	ppm	до 1,0
7	Теплота сгорания	кДж/кг	42395

Для сжигания вакуумного газойля в камере сгорания ГТД были произведены доработки его узлов и систем:

- разработаны и установлены топливо-воздушные форсунки;
- изменено фронтальное устройство жаровой трубы, внедрены осерадиальные завихрители;
- гидравлическая система регулирования оборотов турбины генератора заменена на электронную, выполненную на базе программно-технических средств Series 4 фирмы Com-pressor Controls Corporation (США), в состав системы автоматического регулирования входит регулирующий клапан Jordan 2800 с электроприводом на базе шагового двигателя фирмы Masoneilen;
- внедрены защитные покрытия сопловых и рабочих лопаток турбин.

Для обеспечения требуемого распыла вакуумного газойля предусмотрен его подогрев до 90÷100°С.

Запуск и останов ГТД производится на дизельном топливе. Переход с дизельного топлива на газойль и обратно осуществляется оператором на любом режиме, начиная с холостого хода генератора. При аварийной остановке ГТД на вакуумном газойле предусмотрена промывка топливной системы горячим дизельным топливом.

При работе на газойле занос проточной части турбин несколько увеличился по сравнению с дизельным топливом, что уменьшило периоды между промывками до 2500÷3000 часов.

Увеличение заносов трубных пучков котла-утилизатора КУП-3100 при работе на газойле по сравнению с дизельным топливом не наблюдается.

Трудоемкость технического обслуживания агрегата после перевода его на вакуумный газойль увеличилась и составила ~ 150÷170 чел/ч в год.

Вырабатываемые электроэнергия и пар в количестве 20 тонн пара в час используются для обеспечения технологических нужд завода. После перевода ГТД на сжигание вакуумного газойля рентабельность станции можно охарактеризовать следующими показателями:

Вид энергии	Покупная цена энергии, USD	Себестоимость энергии на МНПЗ, USD	Себестоимость в % от покупной цены
Электрическая за 100 кВт.ч	4,1	2,62	62,5
Тепловая за 1 Гкал	28,06	16,4	57,8

Годовое производство на газотурбинной электростанции МНПЗ: электроэнергии составило 69 млн.кВт.ч; тепловой энергии – 71000 Гкал.

За восемь лет эксплуатации ГТЭ-15 на МНПЗ два ГТД ДЖ59Л3 отработали свой установленный ресурс до капитального ремонта и продолжают

эксплуатироваться. Общая их наработка, соответственно и наработка котла-утилизатора составила – 49000 часов.

Показатели надежности агрегата:

- наработка на отказ ~ 18000 часов;
- коэффициент готовности – 97,5%;
- коэффициент надежности пусков – 95%.

Наиболее характерными отказами агрегата за данный период являлись:

- выход из строя шестеренных топливных насосов;
- разрушение масляных металлорукавов;
- выход из строя датчиков замера температуры слива масла из опор ГТД;
- ложное срабатывание защит системы автоматического управления;
- коррозионное повреждение трубных пучков экономайзера (исключены из работы ~ 5% трубных пучков).

Учитывая длительный опыт эксплуатации котлов КУП-3100 без обмыва трубных поверхностей водой был определен критерий для выполнения обмывов водой загрязненных труб экономайзера и испарительного пучка, который характеризуется повышением сопротивления котла на 15÷20 мм.вод.ст. на номинальной нагрузке по сравнению с чистым состоянием.

Опыт применения вакуумного газойля в качестве топлива для газотурбинного агрегата на МНПЗ подтверждает возможность использования более дешевых и вязких сортов топлива в газотурбинной технике.

С введением в эксплуатацию на МНПЗ комплекса каталитического крекинга при переработке нефти, увеличилось количество получаемого углеводородного “сухого” газа, в состав которого входит до 26,2% водорода. Для оценки возможности сжигания этого газа в турбине ГП НПКГ “Зоря”-“Машпроект” успешно проведены лабораторные испытания камеры сгорания по сжиганию аналога “сухого” газа. Исходя из результатов этих испытаний, выпущена техническая документация, предусматривающая перевод работы ГТД на “сухом” газе. Запуск и останов ГТД производятся на дизельном топливе, а перевод на “сухой” газ или на газойль выполняются на работающем ГТД. Один из ГТД ДЖ59Л3, отработавший ресурс, был отремонтирован и модернизирован на ГП НПКГ “Зоря”-“Машпроект” с обеспечением возможности сжигания в нем дизельного топлива, вакуумного газойля и “сухого” газа.

Вывод

В настоящее время этот ГТД находится на МНПЗ, где ведутся подготовительные работы к его монтажу. Освоение сжигания углеводородных газов с высоким содержанием водорода в камере сгорания ГТД расширит возможности использования

Література

1. Трошин В.П., Бондаренко А.С., Равич А.В., Баишев Р.А. Опыт применения вакуумного газойля на газотурбинной электростанции Мозырьского НПЗ // Известие Академии инженерных наук Украины. – Выпуск 1/1999.