

няться на этапах концептуального проектирования элементов СТС. V-задача может использоваться для решения задачи назначения допусков при изготовлении элементов СТС, а P-задача – для интервального анализа параметров структурных элементов СТС.

Литература

1. Угрюмова Е.М. Совершенствование сложных технических систем методом обратных задач / Е.М. Угрюмова,

С.Г. Волков, М.Л. Угрюмов // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2006. – № 1 (27). – С. 91 – 95.

2. Е.М. Угрюмова, А.А. Трончук, М.Л. Угрюмов, А.В. Меньяйлов, Г.С. Цыховский *Методология совершенствование газотурбинных двигателей на основе решения взаимосвязанных оптимизационных и обратных задач // Вестник двигателестроения*. – 2007. – № 3. – С. 156 – 162.
3. Рутковская Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы. / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 452 с.

УДК 658.567:621.31

СОЗДАНИЕ ЭНЕРГО-СБЕРЕГАЮЩЕЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ ЭНЕРГИИ ДОМЕННОГО ГАЗА

В.В. Ситников

Ведущий инженер – конструктор*
Контактный тел.: 8 (0512) 49-74-27
E-mail: spe@mashproekt.nikolaev.ua

А.А. Усатенко

Ведущий инженер - конструктор, руководитель группы газодинамики
Отдел турбин КО
ГП НПКГ "Зоря" - "Машпроект"
пр. Октябрьский, 42а, Николаев, Украина, 54018
Контактный тел.: 8 (0512) 49-77-09
E-mail: spe@mashproekt.nikolaev.ua

Представлены основные технические характеристики, особенности конструкции, компоновки, спроектированной ГП НПКГ "Зоря" - "Машпроект" детандер-генераторной установки доменного газа. Рассмотрены перспективы использования этих установок на металлургических заводах. Проведен также сравнительный анализ параметров и особенностей конструкции детандеров различных фирм

Ключевые слова: генератор, скруббер, дроссельная группа, доменная печь

Main technical performances, design features, arrangement of blast-furnace gas expansion turbine generating unit produced by GTRPC "Zorya" - "Mashproekt" are presented. Prospectives of these units applications at metallurgical plants are considered. Comparative analysis of performances and main design features of expansion turbine generating units from different firms was performed as well

Keywords: The generator, a scrubber, throttle group, a blast furnace

1. Введение

Успешная реализация проекта детандер-генераторной установки, работающей на природном газе, позволила предприятию приступить к созданию детандер-генераторных установок, предназначенных для работы на доменном газе (ранее более известных под

названием "ГУБТ" - газовые утилизационные бескомпрессорные турбины). При проектировании этих установок нового поколения, получивших название "детандеров доменного газа" (ДДГ), был учтен опыт создания, доводки и эксплуатации ГУБТов "Невского завода" (Санкт-Петербург), "Уральского турбомоторного завода" (Екатеринбург) ГУБТ-6, ГУБТ-8, ГУБТ-

12, ГУБТ-25, а также ГУБТов японского производства -фирмы "Kawasaki".

На украинских металлургических предприятиях, на которых в свое время были установлены ГУБ-Ты производства Уральского турбомоторного завода ("Криворожсталь" - две ГУБТ-12 в 1974 - 1980 г.г., Днепровский завод им. Дзержинского – одна ГУБТ-8 в 1980г., Алчевский меткомбинат – одна ГУБТ-12 в 80-х годах) в настоящее время ГУБТы не эксплуатируются. Это объясняется разными причинами:

- ГУБТы, установленные на Криворожском и Алчевском меткомбинатах разрабатывались в 60-70-х годах XX века, имели при этом серьезные недостатки (пониженную по сравнению с проектной мощность, необходимость частых остановов для выполнения очистки проточной части турбин и так далее);
- при низких ценах на электроэнергию экономический эффект от их внедрения был незначителен (при довольно высокой стоимости проекта период окупаемости составлял 8-10 лет);
- стоимость аналогичного импортного оборудования (поставляемого "под ключ") является еще более высокой: 14-17 млн\$ и также не могла быть стимулом для внедрения этих технологий.

Тем не менее на Череповецком металлургическом комбинате (Россия) до настоящего времени находятся в эксплуатации ГУБТ-8 и ГУБТ-12, а также введенный в эксплуатацию в 2002 году ГУБТ-25 (спроектированный и изготовленный на "Невском заводе", Санкт-Петербург).

С вступлением стран СНГ в рыночную экономику, отношение к энергосберегающим технологиям в металлургической отрасли резко изменилось: появилась потребность в современных агрегатах, способных преобразовывать потенциальную энергию сжатого доменного газа (теряемую в обычных условиях) в электрическую и, таким образом, частично компенсировать

затраты на электроэнергию в доменном производстве (возвращая при этом до 40% энергозатрат, расходуемых на доменное дутье). Еще в 2002г. предприятие "Зоря" - "Машпроект" получило от предприятия "Криворожсталь" приглашение на участие в тендере по модернизации (замене) установленных ранее ГУБТов. При подготовке к этому тендеру был проведен комплекс теплотехнических и газодинамических расчетов.

Принципиальная схема включения ГУБТ (ДДГ) в технологическую схему металлургического завода приведена на рис. 1.

Колошниковый газ, образующийся при плавке чугуна в доменной печи (ДП), проходя через систему сухой газоочистки (сухой пылеуловитель) и влажной газоочистки (скруббер) поступает на вход ДДГ. Отработанный в турбодетандере газ поступает в общий коллектор газовой сети металлургического завода. Пуск ДДГ производится через пусковой регулирующий клапан, который закрывается после синхронизации генератора с сетью и открытия основного быстрооткрывающегося клапана.

При неработающем ДДГ колошниковый газ поступает в заводскую газовую сеть через дроссельную группу клапанов и главный быстрооткрывающийся байпасный клапан.

2. Анализ современного рынка производителей ДДГ

В настоящее время, по сути, единственным поставщиком современных детандер-генераторных установок доменного газа (ГУБТов) является фирма "Kawasaki", закупившая в 70-х годах в Советском Союзе пять ГУБТов мощностью 8 и 12МВт, разработавшая с учетом опыта их эксплуатации собственные ГУБТы и поставившая около 30 ГУБТов для собственных металлургических предприятий и более 40 комплектов

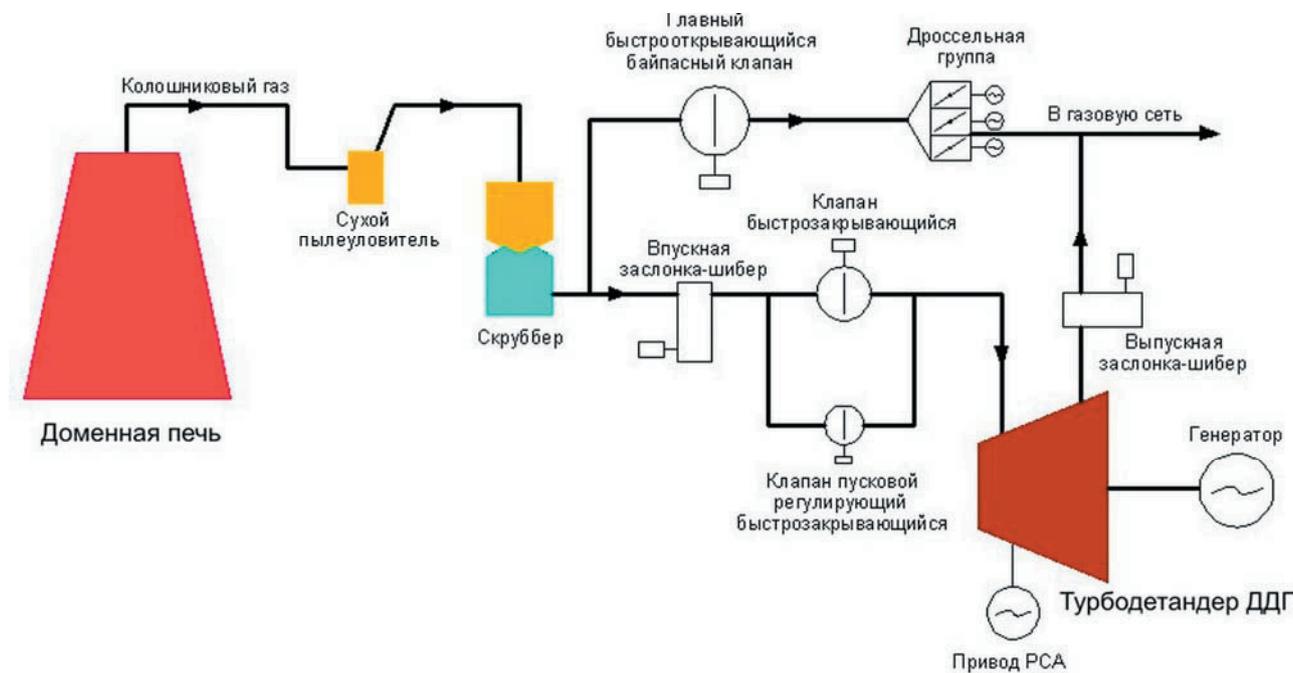


Рис. 1. Принципиальная схема включения ДДГ

такого оборудования для различных стран мира. Разработчик и серийный производитель ГУБТов – Уральский турбомоторный завод (в настоящее время - ОАО "Турбомоторный завод", Екатеринбург) не занимается разработкой новых модификаций ГУБТов, а по-прежнему предлагает к поставке устаревшие ГУБТ-8 и ГУБТ-12.

Невский завод, после проведенной реорганизации также прекратил заниматься проектированием ГУБТов. ГУБТ-25 является последней его разработкой.

В связи с этим идея заняться производством подобной техники является не только привлекательной, но и экономически целесообразной, так как производство конкурентоспособной техники на современном техническом уровне будет иметь постоянный спрос (по крайней мере, пока существует металлургическое производство) и гарантированно обеспечивать загрузку предприятия новыми заказами. Особенно, если учесть тот факт, что во всем мире в настоящее время модернизация любой существующей доменной печи, или строительство новой сопровождаются, как правило, одновременной установкой ГУБТа (ДДГ).

3. Организационно-технические мероприятия по подготовке к проектированию универсального ДДГ

К вопросу проектирования детандеров доменного газа наше предприятие подошло основательно, начав предпроектную подготовку еще в 2002 году (получив приглашение от ОАО "Криворожстали" для участия в тендере на поставку ГУБТа при модернизации доменной печи №9).

При этом была тщательно изучена история создания, доводки и эксплуатации ГУБТов (ГУБТ-6; ГУБТ-8; ГУБТ-12; ГУБТ-25, а также ГУБТов японского производства) на металлургических заводах Кривого Рога, Днепродзержинска, Алчевска, Череповца (Россия), Магнитогорска (Россия), Кошица (Словакия), а также Азиатского региона.

Подготовка к проектированию детандера доменного газа проводилась по двум направлениям.

Во-первых были налажены деловые контакты с проектантом металлургических комбинатов Государственным институтом "Укрспромез" (Днепропетровск), по рекомендациям которого была определена номенклатура доменных печей в Украине, за которыми наиболее целесообразна установка детандеров доменного газа (таблица 1).

По результатам анализа параметров доменного газа этих печей было принято решение о проектировании универсального ДДГ мощностью от 6 до 8 МВт, который можно было бы без доработок устанавливать за любой из доменных печей объемом от 1500 м³ до 2300 м³. Таким образом, из рекомендованных институтом "Укрспромез", спроектированный детандер может эффективно эксплуатироваться на 18 доменных печах металлургических комбинатов Украины.

Кроме того, его пропускная способность может обеспечить расход газа до 350 тыс. нм³/ч, что фактически позволяет реально рассматривать возможность установки спроектированного ДДГ и при доменных печах объемом 2700 м³.

Таблица 1

Количество доменных печей	Полезный объём, м ³	Выход доменного газа, тыс. нм ³ /ч			Давление доменного газа перед ДДГ (избыточное), кгс/см ²
		Максимальный	Номинальный	Минимальный	
1	5000	620	560	490	макс. – 2,2 номин. - 1,6 миним. - 1,0
1	2700	410	370	330	
1	2300	380	350	300	
5	2000	330	300	260	
1	1890	315	280	250	
6	1719	286	260	230	
5	1513	280,0	250	220	

Во-вторых в ОАО "Северсталь" (Череповецкий меткомбинат) были командированы специалисты ЦНИОКР "Машпроект", целью поездки которых являлось ознакомление с конструкцией, схемой размещения оборудования, особенностями эксплуатации ГУБТов, а также получение данных для подтверждения достоверности используемой в конструкторском отделе ЦНИОКР "Машпроект" методики расчета теплотехнических характеристик (ТТХ) проектируемого ДДГ.

ОАО "Северсталь" был выбран по причине того, что на данном предприятии установлены детандеры доменного газа трех модификаций мощностью 8, 12 и 25 МВт (ГУБТ-8; ГУБТ-12 и ГУБТ-25, соответственно):

- ГУБТ-8, расположенный за доменной печью №3 объемом 2000 м³, введен в эксплуатацию в 1968 году и успешно эксплуатировался до 2005 года;

- в 1973 году введен в эксплуатацию ГУБТ-12, расположенный за доменной печью №4 объемом 2700 м³ (оба ГУБТа производства Уральского турбомоторного завода, на данный момент проводится модернизация этих агрегатов - замена генератора, оборудования и системы управления);

- в 2002 году введен в эксплуатацию ГУБТ-25 за доменной печью №5 объемом 5500 м³, разработки и производства фирм ОАО "Невский завод" (Санкт-Петербург), "Zimmermann & Jansen" (Германия) и ОАО "Электросила" (Санкт-Петербург), в настоящее время ГУБТ-25 находится в эксплуатации.

В ходе данной командировки подробнее был рассмотрен более современный ГУБТ мощностью 25 МВт, который практически непрерывно находится в эксплуатации и, по оценкам руководства доменного цеха, ГУБТ-25 только в 2005 году выработал более 140 млн. кВт/ч электроэнергии.

По результатам рассмотрения вышеизложенных подготовительных мероприятий на НТС предприятия было принято решение о выполнении данного проекта при соблюдении следующих требований:

- создание "универсального детандера доменного газа", который должен быть рассчитан для эксплуатации на параметрах максимально возможного количества ДП, обеспечивая при этом высокую эффективность (с оптимальным КПД) выработки элект-

троэнергии на номинальных параметрах газа каждого типа ДП;

- учитывая повышенные требования к надежности работы ДДГ, в максимальной степени использовать в его конструкции узлы и детали современных серийных ГТД, подтвердивших свою работоспособность длительной безаварийной наработкой.

4. Анализ конструкции существующих ГУБТов

ГУБТ-25 (рис. 2) спроектирован с подводом газа в радиальном направлении через улиточный воздухоподвод и с разделением потока газа на две противоположные стороны.



Рис. 2. ГУБТ-25

Это позволило значительно уменьшить высоту лопаток и диаметры дисков (так высота лопатки 1-ой ступени турбины составляет ~300 мм). Однако, с точки зрения неравномерности поля на входе в первые ступени турбины, такой подвод выглядит менее предпочтительным, нежели осевой подвод газа. Статорная часть турбины (для обеспечения сборки-разборки) имеет горизонтальный разъем. В качестве опор ротора применены выносные подшипники скольжения, что дает преимущества для работы масляной системы по сравнению с ГУБТами мощностью 8-12 МВт (опоры которых располагаются внутри турбин), так как отсутствует вероятность выброса масла в проточную часть и не требуется удаление азота из масловоздушной смеси. В связи с симметричным расположением 2-х турбин на общем валу, исключается также необходимость выполнения разгрузки турбины по осевым усилиям.

Подпор лабиринтных уплотнений турбины, исключающих протечки доменного газа в машинный зал осуществляется азотом от технологической системы давлением ~2,5 кгс/см² (фактически по показанию манометра перед входом в турбодетандер в процессе работы; согласно эксплуатационной документации – давлением 5-6 кгс/см²). Дополнительно азот подводится к уплотнениям поворотных лопаток регулируемого соплового аппарата (РСА). Реальный суммарный расход азота на подпор уплотнений составляет ~600 м³/ч (по проекту 150 м³/ч).

В конструкции турбины реализован гидроподъем ротора перед пуском давлением масла ~30 кгс/см², создаваемым специально предназначенным для этого насосом.

Оборудование системы смазки (общей для турбодетандера и генератора), системы гидравлики (для обеспечения работы гидроприводов клапанов и гидромоторов заслонок-шиберов) размещается в помещении вспомогательных систем (рис. 3).



Рис. 3. Помещение вспомогательных систем ГУБТ-25

ГУБТ-8 и ГУБТ-12 по конструкции аналогичны (рис. 4). Увеличение мощности с 8 МВт до 12 МВт осуществляется повышением расхода доменного газа через проточную часть.

В отличие от ГУБТ-25 они имеют осевой подвод доменного газа.

Выполнены конструктивно 2-х ступенчатыми. Первый сопловой аппарат имеет возможность фиксированной установки на требуемый угол (определяемый номинальным расходом газа).

Обеспечение требуемого давления под колошником доменной печи достигается за счет поворота регулируемой диафрагмы перед входом в турбину. Данная конструкция турбодетандеров имеет двухсторонний упорный подшипник скольжения (УПС).



Рис. 4. ГУБТ-8 (ГУБТ-12)

Сопловые аппараты 1-й и 2-й ступеней имеют горизонтальные разъемы. Опорными подшипниками (ОП) ротора турбины являются подшипники скольжения с горизонтальным разъемом неколодочного типа.

Вследствие подогрева доменного газа на входе в ГУБТ-8 и ГУБТ-12 в подогревателе смешивающего типа температура доменного газа перед турбиной значительно выше (до 120⁰С), чем у ГУБТ-25.

По этой же причине конденсации паров в процессе расширения не происходит и при эксплуатации этих турбин актуальным является вопрос промывки (проводится ежесуточно) и очистки проточной части (ежемесячно).

5. Особенности конструкции универсального ДДГ

Задачи, поставленные перед конструкторским отделением предприятия (ЦНИОКР «Машпроект») были успешно реализованы в созданном ДДГ.

На рис. 5 представлена конструкция (продольный разрез) спроектированного детандера. Турбина выполнена двухступенчатой, консольной с РСА на первой ступени, с осевым подводом газа и отводом отработавшего газа через улиточный газоотвод с малым гидравлическим сопротивлением.

РСА позволяет не только обеспечивать оптимальный подвод рабочего тела на рабочие лопатки турбины при различных расходах доменного газа, но и по командам, поступающим из САУ, обеспечивает регулирование давления (а также его стабильность в заданном диапазоне) под колошником доменной печи.

В конструкции турбины применены опорные подшипники скольжения колодочного типа, имеющие больший чем шарико- или роликоподшипники ре-

курс. Ротор и опорные подшипники спроектированы таким образом, что не требуют статического гидроподъема ротора перед пуском ДДГ (а это, в свою очередь, исключает необходимость иметь дополнительную гидравлическую систему, как это предусмотрено в ГУБТ-25).

Корпус соплового аппарата выполнен разъемным, что позволяет выполнять в эксплуатации замену (при необходимости) сопловых и рабочих лопаток.

Упорный подшипник - колодочного типа двухстороннего действия, что позволяет фиксировать положение ротора ДДГ в осевом направлении как при режимной работе, так и при переходе генератора в режим электродвигателя (в зависимости от режима работы доменной печи).

Рабочие лопатки и лопатки соплового аппарата второй ступени использованы с силовой турбины двигателя UGT-15000.

Механизм поворота РСА применен с двигателя Д090 (военно-морская модификация UGT-15000 в реверсивном исполнении).

Для предотвращения утечек доменного газа через уплотнения поворотных лопаток и масляную полость применена система подпора уплотнений инертным газом (азотом).

Все основные элементы данной конструкции турбодетандера ранее были реализованы и их работоспособность подтверждена в процессе эксплуатации указанных изделий:

- в ГТД-110 (UGT-110000) – опорные и упорные подшипники скольжения;
- в ДГ80 (UGT-25000) и ДГА-2500 – консольное исполнение турбины;
- в Д090 (UGT-15000) и ДГА-2500 – регулируемый РСА и механизм его поворота.

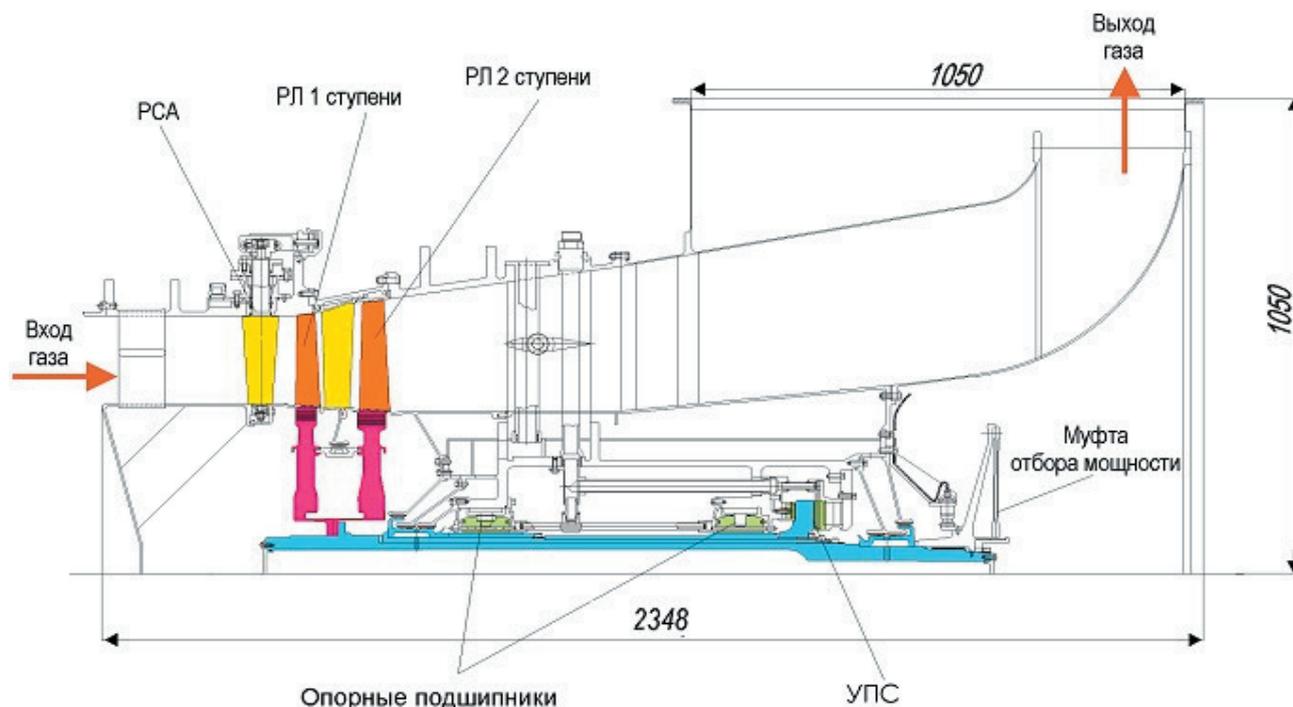


Рис. 5. Продольный разрез турбины ДДГ-6 (ДДГ-8)

Основные параметры ДДГ представлены в табл. 2.

Таблица 2

Наименование параметра	Значение параметра
Давление газа на входе, МПа, избыточное - максимальное - номинальное	0,22 0,16
Давление газа на выходе из ДДГ, МПа, избыточное	0,01
Расход газа, $\text{м}^3/\text{ч}$ - максимальный - номинальный	360000 250000
Температура газа на входе, °С (без подогрева) - максимальная - номинальная	+60 +50
Температура газа на выходе, °С, не менее	+5
Мощность (электрическая) при $\eta_{\text{ген}}=0,97$, кВт, не менее - на максимальном режиме - на номинальном режиме	9500 5600

При этом необходимо отметить, что в качестве расчётной точки были выбраны не теоретические (2,5 кгс/см²), а реальные (не выше 2,2 кгс/см²) значения избыточных давлений доменного газа. Тем не менее, если учесть, что установка детандеров, как правило, производится при капитальных ремонтах доменных печей (с восстановлением давления под колошником ДП до расчётных величин), то при этом можно ожидать реального увеличения значений электрической мощности, по сравнению с приведенными в таблице.

6. Комплектность поставляемого оборудования

Оборудование поставляется в полной заводской степени готовности. Поставка выполняется автомобильным или железнодорожным транспортом. Ниже представлен перечень комплектно поставляемого оборудования ДДГ, проходящего испытания и проверки на заводских стендах:

- турбодетандер (расширительная турбина);
- теплозвукоизолирующее укрытие (ТЗИУ) турбодетандера с встроенной системой вентиляции;
- система подпора уплотнений;
- входное устройство (на входе в ДДГ);
- выходное устройство (газоотвод);
- трансмиссия с муфтой предельного момента;
- электрогенератор с системой возбуждения;
- комплектное распределительное устройство питания потребителей собственных нужд – НКРУСН-380;
- САУ - система автоматического управления, контроля и защиты ДДГ и технологическим оборудованием (быстрозапорными отсечными и регулирующими клапанами, клапанами дроссельной группы, шиберами заслонками);
- система виброконтроля турбодетандера и генератора;

- система контроля загазованности в ТЗИУ турбодетандера (с датчиками уровня загазованности);
- автоматизированная система пожарной сигнализации (с датчиками сигнализации о пожаре) и тушения пожара в генераторе и в помещении турбодетандера (с углекислотной станцией пожаротушения);
- КИП и электрооборудование.

В перечисленный комплект поставки входит также:

- проведение экспертизы и получение положительных заключений "Госназдорхрантруда" проектной документации и оборудования ДДГ;
- проведение монтажных и пуско-наладочных работ на поставляемом оборудовании;
- выполнение пробных пусков и отладка работы САУ совместно с технологическим оборудованием доменных цехов;
- сдача ДДГ в эксплуатацию;
- обеспечение гарантийной эксплуатации ДДГ и комплектно поставленного оборудования в течение 12 месяцев с момента сдачи ДДГ в эксплуатацию, а также поставка комплекта ЗИПа, требуемого для обеспечения гарантийной эксплуатации.

Размещение основного оборудования ДДГ показано на рис. 6.

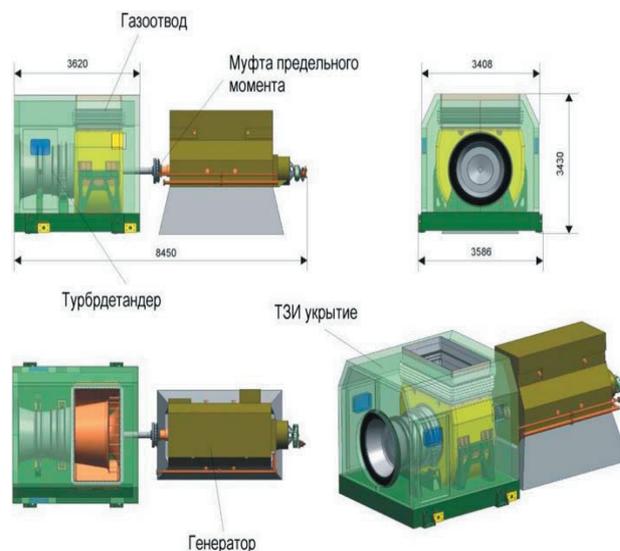


Рис. 6. Размещение основного оборудования ДДГ

Непосредственно турбодетандер устанавливается на собственной раме, сопрягается с литочным газоотводом и размещается в теплозвукоизолирующем укрытии (ТЗИУ), оборудованном всеми необходимыми системами (вытяжной вентиляции, контроля загазованности, сигнализации о пожаре, пожаротушения). С валом генератора ротор турбодетандера соединяется посредством эластичной рессоры через муфту предельного момента, предотвращающую разрушение турбодетандера при коротком замыкании обмоток генератора.

Слив сконденсированной в процессе расширения воды (загрязненной пылью, содержащейся в доменном газе) производится из газоотвода через дренажный трубопровод. Конструкция газоотвода позволяет выполнять его установку с любым (требуемым на объекте эксплуатации) углом расположения выхлопного патрубка, что значительно упрощает монтаж газоотводящих трубопроводов объекта.

7. Выводы

Спроектированный предприятием ГП НПКГ "Зоря"-Машпроект современный компактный и высокоэффективный детандер доменного газа является универсальным, но при этом имеет две модификации ДДГ-6 и ДДГ-8. Отличаются между собой модификации типом приводимого электрогенератора.

Детандер может быть поставлен на 18 доменных печей металлургических комбинатов Украины, а также для примерно такого же количества доменных печей объемом от 1500 м³ до 2700 м³, работающих на металлургических заводах стран СНГ.

ДДГ лишен недостатков, присущих ГУБТам (спроектированным и изготавливаемым "Невским заводом" и "Уральским турбомоторным заводом") и обладает следующими преимуществами:

- отсутствие смешивающего подогревателя, применяемого для ГУБТ-8 и ГУБТ-12, не вызывает снижение калорийности доменного газа, проходящего через ДДГ;
- высокий коэффициент полезного действия турбодетандера на переменных режимах работы доменной печи за счет используемого в конструкции ДДГ регулируемого соплового аппарата;

- высокая степень герметичности турбодетандера, достигаемая благодаря его конструктивному исполнению и системе подпора уплотнений;

- наличие специальной системы охлаждения обеспечивает возможность работы ДДГ в вентиляторном (моторном) режиме в течение требуемого доменным технологическим процессом времени;

- высокая степень взрывозащищенности и безопасности обслуживания оборудования, достигаемая благодаря размещению турбодетандера с газоотводом в газоплотном теплозвукоизолирующем укрытии с вытяжной резервируемой системой вентиляции;

- в процессе эксплуатации ДДГ не требуется вскрытие проточной части турбодетандера для проведения ее очистки от механических примесей, содержащихся в доменном газе;

- благодаря конденсации содержащегося в доменном газе водяного пара (в процессе его расширения в турбодетандере), теплотворная способность газа на выходе из ДДГ повышается, а его температура не снижается ниже +5 °С.

Сравнительные характеристики ГУБТов и ДДГ приведены в таблице 3.

Таблица 3

Наименование параметра	ГУБТ-8 "Уральский турбомоторный завод"		ГУБТ-12 "Уральский турбомоторный завод"		ГУБТ-25 "Невский завод"		ГУБТ-8 "Kawasaki"	ДДГ "Зоря" - "Машпроект"
	Проект	Факт.	Проект	Факт.	Проект	Факт.	Факт.	Проект
Мощность электрическая, МВт	8,0	3,9	12,0	6,7...7,6	25	17	10,2	5,6...9,5
Расход газа через турбину, тыс. нм ³ /ч	260	260	360	380	800	660... 900	417	250...360
Температура газа на входе, 0С	120	120	140	120	40	45	120	45...60
Давление (изб.) на входе в турбину, МПа	0,2	0,16	0,23	0,16...0,2	0,2	0,195	0,2	0,16...0,22
Стоимость комплектной поставки	4 млн \$USA		5,6 млн \$USA		6 млн EURO		7,2 млн. \$USA	3,6...4,1 млн. \$USA

Анализ приведенных в таблице показателей свидетельствует о высоком техническом уровне спроектированного ДДГ. При аналогичных исходных параметрах доменного газа (давлении, температуре, расходе) уровень мощности, за счет большей эффективности процесса расширения газа в турбодетандере, выше. При том же давлении и расходе мощность ДДГ составляет 5,6 МВт и 9,5 МВт, а у ГУБТ-8 и ГУБТ-12 фактическая мощность составляет 3,9 МВт и 7,6 МВт, соответственно.

Данная технология соответствует современному подходу к экономии энергетических ресурсов, а также возврата инвестированных в эти технологии материальных средств (срок окупаемости ДДГ составит от 2 до 3 лет).

Внедрение ДДГ на 18 доменных печах Украины позволит получать дополнительно за год минимум 940 млн кВт*ч электроэнергии (без сжигания топлива), что эквивалентно годовой экономии 385000 тонн условного топлива (исходя из существующего в стране

расхода условного топлива на тепловых электростанциях равного 0,410 кг/кВт*ч).

Имеющийся у предприятия ГП НПКГ "Зоря" - "Машпроект" опыт газотурбостроения в целом, а также приобретенный опыт по проектированию и вводу в эксплуатацию детандер-генераторных установок является уникальным и позволяет рекомендовать потенциальным заказчикам производимые ДДГ для объектов даже с самыми высокими требованиями к безопасности и надежности работы указанных установок.

Розглядаються розроблені методики розрахункового дослідження термонапруженого стану й оцінки ресурсу з урахуванням живучості високотемпературних елементів енергомашин. Основу методик складають розв'язки нестационарних задач теплопровідності, термомеханіки й механіки крихкого руйнування. Наводяться приклади розв'язаних задач

Ключові слова: термонапружений стан, ресурс, енергомашина

Рассматриваются разработанные методики расчетного исследования термонапряженного состояния и оценки ресурса с учетом живучести высокотемпературных элементов энергомашин. Основу методик составляют решения нестационарных задач теплопроводности, термомеханики и механики хрупкого разрушения. Приводятся примеры решенных задач

Ключевые слова: термонапряженное состояние, ресурс, энергомашина

The developed techniques of settlement research of a thermostressed state and life estimation taking into account survivability of high-temperature elements of power machinery are considered. The basis of techniques is made by solutions of non-stationary problems of heat conductivity, thermomechanics and mechanics of brittle failure. Examples of the solved problems are presented

Key words: thermostressed state, lifetime, power machinery

Литература

1. Сперкач И.Е. Перспективы внедрения газовых утилизационных бескомпрессорных турбин // Сталь. – 2004. – №2. – С. 2-4.
2. Кройцхубер П. Утилизация энергии в результате использования газовой расширительной турбины на заводе в Кошице// Черные металлы. – 1997. – Июнь. – С. 41-45.
3. Сазанов Б.В. Доменные газотурбинные установки. - М.: Металлургия. – 1965.
4. Технические условия ТУ 24-2-341-71. Турбина газовая утилизационная бескомпрессорная типа ГУБТ.
5. Газ доменный ОРД 14.587-1-90.

УДК 621.165:539.4

ЗАДАЧИ ТЕРМОПРОЧНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ ТУРБОУСТАНОВОК

Н. Г. Шульженко

Доктор технических наук, профессор, заведующий отделом*

П. П. Гонтаровский

Кандидат технических наук, старший научный сотрудник*

Ю. И. Матюхин

Кандидат технических наук, старший научный сотрудник*

*Отдел вибрационных и термомопрочностных исследований

ИПМаш им. А.Н. Подгорного НАН Украины

1. Введение

Проблема обеспечения надежной работы паровых и газовых турбин приобретает все большую актуальность в связи с тем, что старение оборудования опере-

жает темпы его замены. Решение этой задачи в первую очередь требует наличия современных методов оценки и контроля технического состояния исследуемых объектов по прочностным параметрам. В Институте проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН