

## ПРИМЕНЕНИЕ НИЗКОКАЛОРИЙНЫХ ТОПЛИВ В ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

*У роботі розглянута можливість застосування слабокалорійних палив у промисловій енергетиці, а також пропозиція створення електрогенеруючого устаткування, яке використовує технологічні гази на базі ГТД, що розроблені та виготовляються ДП НВКГ «Зоря»-«Машпроект».*

*Ключові слова: слабокалорійне паливо, технологічні гази, турбогенератори, котли-утилізатори, компресори слабокалорійних газів.*

*В работе рассматривается возможность применения низкокалорийных топлив в промышленной энергетике, а также предложение о создании электрогенерирующего оборудования, использующего технологические газы на базе ГТД, разработанных и производимых ГП НПКГ «Зоря»-«Машпроект».*

*Ключевые слова: низкокалорийные топлива, технологические газы, турбогенераторы, котлы-утилизаторы, компрессоры низкокалорийных газов.*

*The work maintains information about possibility of using low-calorie fuels in industrial power engineering, and also suggestion of creating the electrogenerating equipment which use technological gases on the basis of gas-turbine engine, developed and produced on State organization: Science-production group of gas-turbine making «Zorya»-«Mashproect».*

*Keywords: low-calorie fuel, technological gases, turbogenerators, coppers-utilizators, compressors of low-calorie gases.*

**Постановка проблеми.** Промышленность Украины потребляет 65-70 % производимой электроэнергии, при этом энергоёмкость отечественной промышленности превышает аналогичный показатель ЕС и США в 4 а Японии в 6 раз. Анализ энергоёмких технологий в нефтехимии и металлургии Украины и сравнение их с технологиями развитых странах убеждает, что одной из наиболее весомых причин такого положения является крайне низкая эффективность использования энергоносителей в виде технологических газов и нефтяных отходов в металлургии и нефтехимии. Более того, зачастую такие газы сжигаются в свечах, а нефтяные отходы накапливаются, загрязняя окружающую среду.

Современные металлургические предприятия развитых стран используют технологические газы (доменный, коксовый, мартеновский, феррогаз) для выработки электроэнергии высокоэффективными парогазовыми установками (ПГУ), что позволяет металлургическим комбинатам полностью покрывать собственные нужды и, более того, продавать избыточную электроэнергию.

В США, Японии и ЕС вязкие нефтяные отходы нефтеперерабатывающих заводов также используются для производства электроэнергии парогазовыми установками, только интегрированными с газификаторами нефтяных отходов.

**Основное содержание.** По нашей оценке в Украине за счет использования газов металлургических производств можно создать до 2 ГВт и на базе отходов нефтеперерабатывающих заводов до 1,5 ГВт электрогенерирующих мощностей. Это рынок для отечественных производителей газовых и паровых турбин, генераторов, котлов и другого энергетического оборудования, оцениваемый в 3,5 миллиарда USD при строительстве и столько же и более за жизненный цикл оборудования.

Резкое повышение цен на энергоносители вынудило отечественных металлургов заниматься проблемами эффективного использования собственных энергоносителей. Первым реализуемым проектом является строительство электростанции мощностью 450 МВт на Алчевском МК. К глубокому сожалению, поставщиком ПГУ для Алчевского МК стала фирма Mitsubishi.

Ориентируясь на перспективный рынок Украины по использованию металлургических газов и нефтяных отходов, ГП НПКГ «Зоря»-«Машпроект» проработало ряд проектов ПГУ.

Это наиболее эффективное электрогенерирующее оборудование, которое позволяет полностью утилизировать металлургические газы с эффективностью 42-45 % и более (с теплофикацией), что в 2,5-3 раза эффективнее существующих технологий. С учетом утилизации газа, сжигаемого в свечах на МК, таким образом можно генерировать в 4-5 раз больше электрической и механической энергии. Такое оборудование может быть создано на базе ГТД, разработанных и производимых ГП НПКГ «Зоря»-«Машпроект». Мировой и собственный опыт создания аналогичного оборудования позволяют быть уверенными в отсутствии технических рисков при реализации таких проектов, поскольку оно создается на базе серийного оборудования. Энергомашиностроительный комплекс Украины производит практически все необходимое оборудование для таких установок – турбогенераторы, паровые турбины, котлы-утилизаторы, тиристорные пусковые устройства и САУ (г. Харьков), ГТД и компрессоры доменного и других низкокалорийных газов на базе компрессоров серийных ГТД – ГП НПКГ «Зоря»-«Машпроект» (таблица 1).

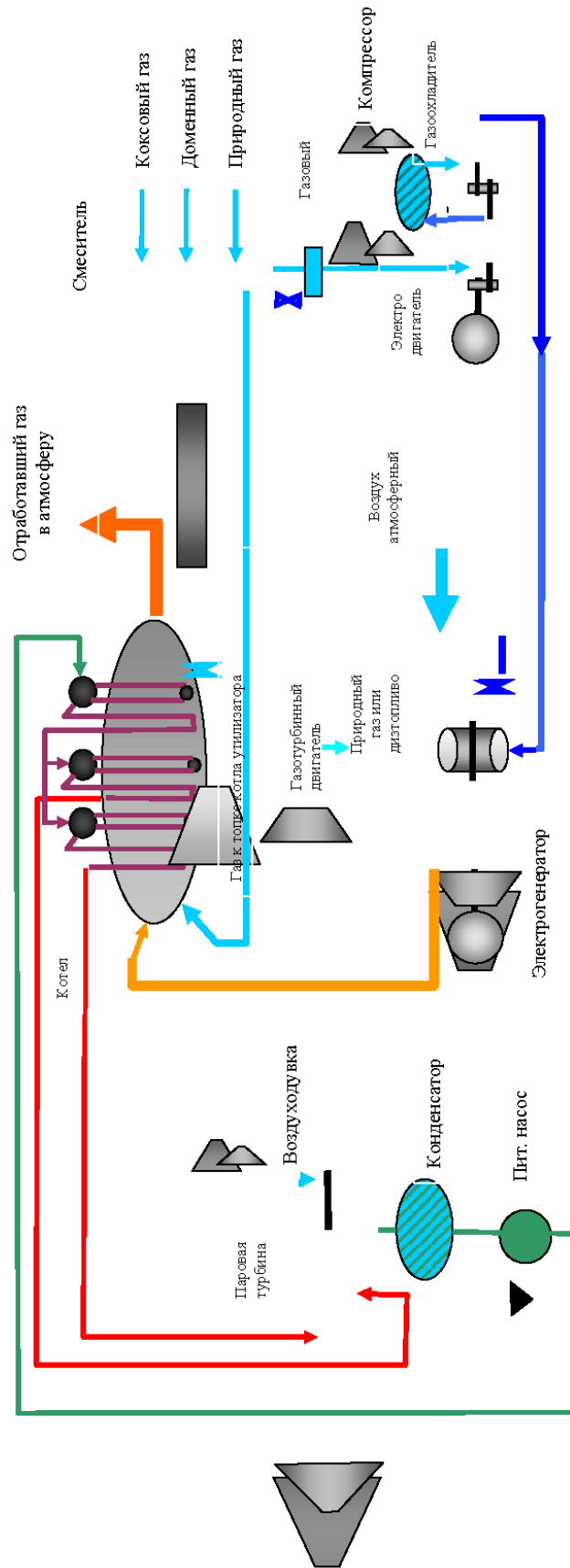
Таблица 1

**Газопаротурбинные установки и ГТУ для работы на низкокалорийных топливах в металлургии (доменные, коксовые, ферро и др. газы)**

Обозначение установки	Параметры ГПТУ для работы на доменном газе					Технол. схема
	Мощн., МВт	КПД %	Топливо	Ккал./ нм <sup>3</sup>	Расх. газа нм <sup>3</sup> /ч	
ГПТУ18	17,6	40	Дом. + кокс. газ	2000	21600	Схема 1
ГПТУ45	41/45	39/40	Дом.+ кокс. газ	1050	Дом. 90000 Кокс. 2730	Схема 3
ГПТУ 60	54	39	Дом + др. газы	1050	120 000	Схема 2
ГПТУ 70	70	40	Ферро + прир	2160	Фер/газ 28250 Прир. 700	Схема 2
ГПТУ 130/150	133	44	Дом + др. газы	1050	Дом. 241 000 Прир. 7320	Схема 3
Газотурбокомпрессор доменного дутья	23	65	Дом + кокс газы	2000		Схема 4

Схема 1

КОГЕНЕРАЦИОННАЯ ГТУ 18 МВт ДЛЯ РАБОТЫ НА ДОМЕННОМ ГАЗЕ С ДОБАВКОЙ КОКСОВОГО ГАЗА

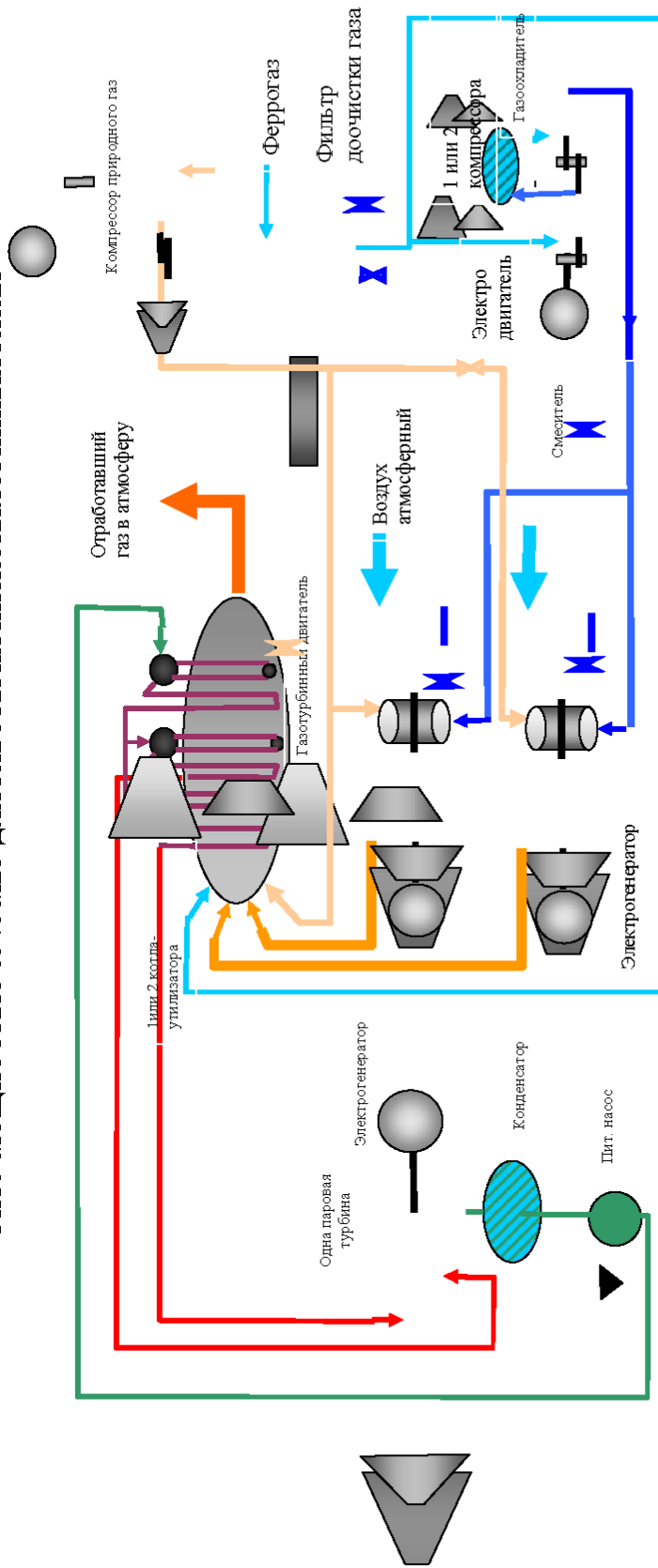


ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБОРУДОВАНИЯ КОГЕНЕРАЦИОННОЙ ГТУ 18 ПРИ РАБОТЕ НА СМЕСИ ГАЗОВ 2000 ккал/м<sup>3</sup>

ГТУ 18	ГТ двигатель	Электрогенератор	Паровой котел-утилизатор	Компрессор топ. газа
Мощность с учетом компрессора газа – 14 МВт	Мощность эл. – 17 МВт	Мощность – 20 МВт	Давление пара – 29 бар	Потр. мощность – 3,5 МВт
Коэффициент использования топлива (КИУТ) с учетом затрат энергии на компрессор и генерацией пара – 0, 71	КПД эл. % – 35,4	Частота – 50 Гц	Расход – 24,5 т/ч	Давл. вх. – 1,133 кгс/см <sup>2</sup>
	Расход топ. газа – 26640 кг/ч	Напряжение – 6,3/10,5 кВ	Кол. утилизируемого тепла – 20 МВт (17,2 Гкал/ч)	Давл. вых. – 25 кгс/см <sup>2</sup>
	Расход газов за ГТД – 62 кг/с	Охлаждение водное	Температура пара – 396,4°C	
	Температура газа за ГТ – 476 °С		Температура газа за котл. – 174,5°C	
Запуск на ДТ или пр. газе	Запуск эл. стартерный	Пр-во ОАО «Привод»		
	Пр-во «Зоря»-«Машпроект»			

Схема 2

ГТУ МОЩНОСТЬЮ 60-70 МВт ДЛЯ РАБОТЫ НА НИЗКОКАЛОРИЙНЫХ ГАЗАХ

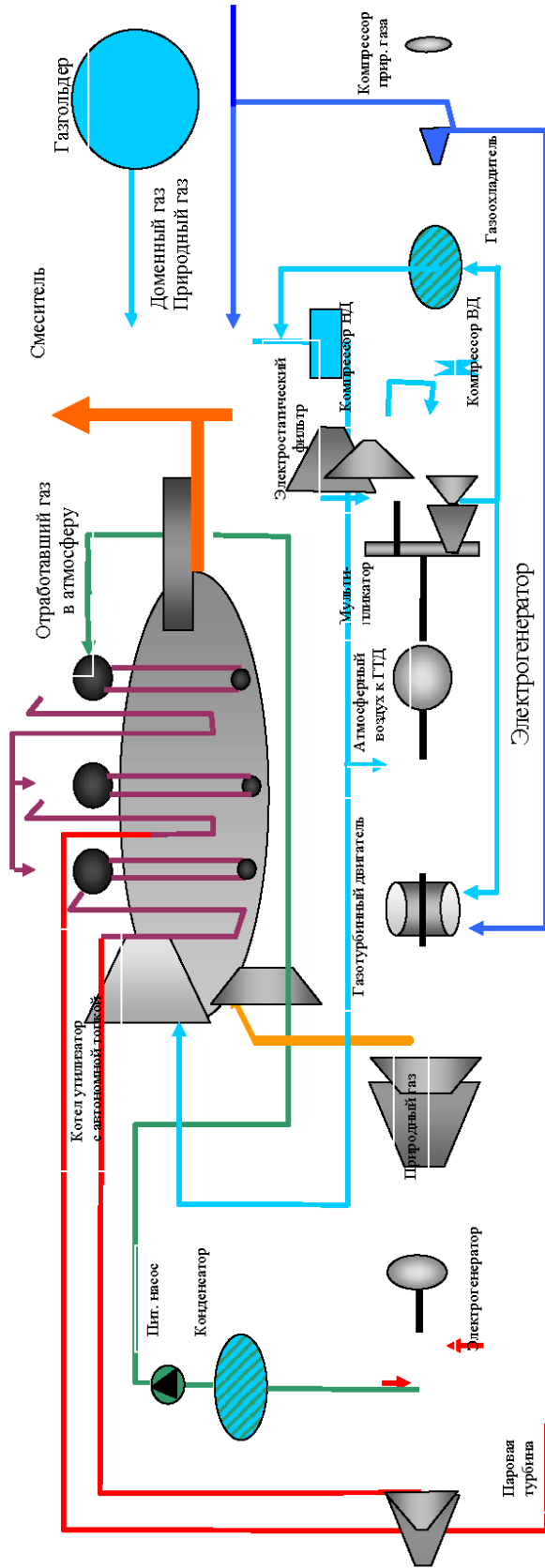


ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБОРУДОВАНИЯ ПГУ 70 ДЛЯ РАБОТЫ НА ФЕРРОГАЗЕ

ГТУ70	ГТ двигатель	Электрогенераторы	Котел-утилизатор	Паровая турбина	Компрессоры	САУ
Мощность эл. – 65 МВт.	Мощность – 2x27 МВт	ГТ мощность – 2x30 МВт	Паровой	Мощность – 20 МВт	Привод – электродвигатель	Цифровая
КПД – 42%	КПД – 3 6%	ПТ мощность – 25 МВт	С автономной топкой	Теплофикационная	$G_{\text{пр}} = 2x22420 \text{ нм}^3/\text{ч}$	Регуляторы цифр.
Частота тока – 50 пц	К.С. пруб. – кольцевая	Напряжение – 6,3/10,5 КВ	Давл. – 3,5 Мпа	1 – отбор 0,6 МПа, 30 Т/ч	Мощ. – 2x4,3 Мвт	Выборочный контроль
Напряжение – 6,3/10,5 КВ	Част. СТ –	Охлаждение – водяное	Температура – 435 С	2 – отбор 0,12 МПа, 90 Т/ч		Диагностика
	3000 об./мин					
Расх. феррогаза – 448-40 нм <sup>3</sup>	Запуск эл. стартеры		Расход – 90 Т/ч	Низк. давл. – 5,0 бар	$G_{\text{пр.г}} = 2x 1000 \text{ нм}^3/\text{ч}$	
Расх. пр.р. газа – 2000 нм <sup>3</sup>					Мощ. – 2x100 кВт.	
«Зоря-Машпроект»	«Зоря-Машпроект»	ОАО «Привод»	Харьков	ABB		СПА

Схема 3

ГТУ ДЛЯ РАБОТЫ НА ДОМЕННОМ ГАЗЕ МОЩНОСТЬЮ ОТ 45 ДО 150 МВт

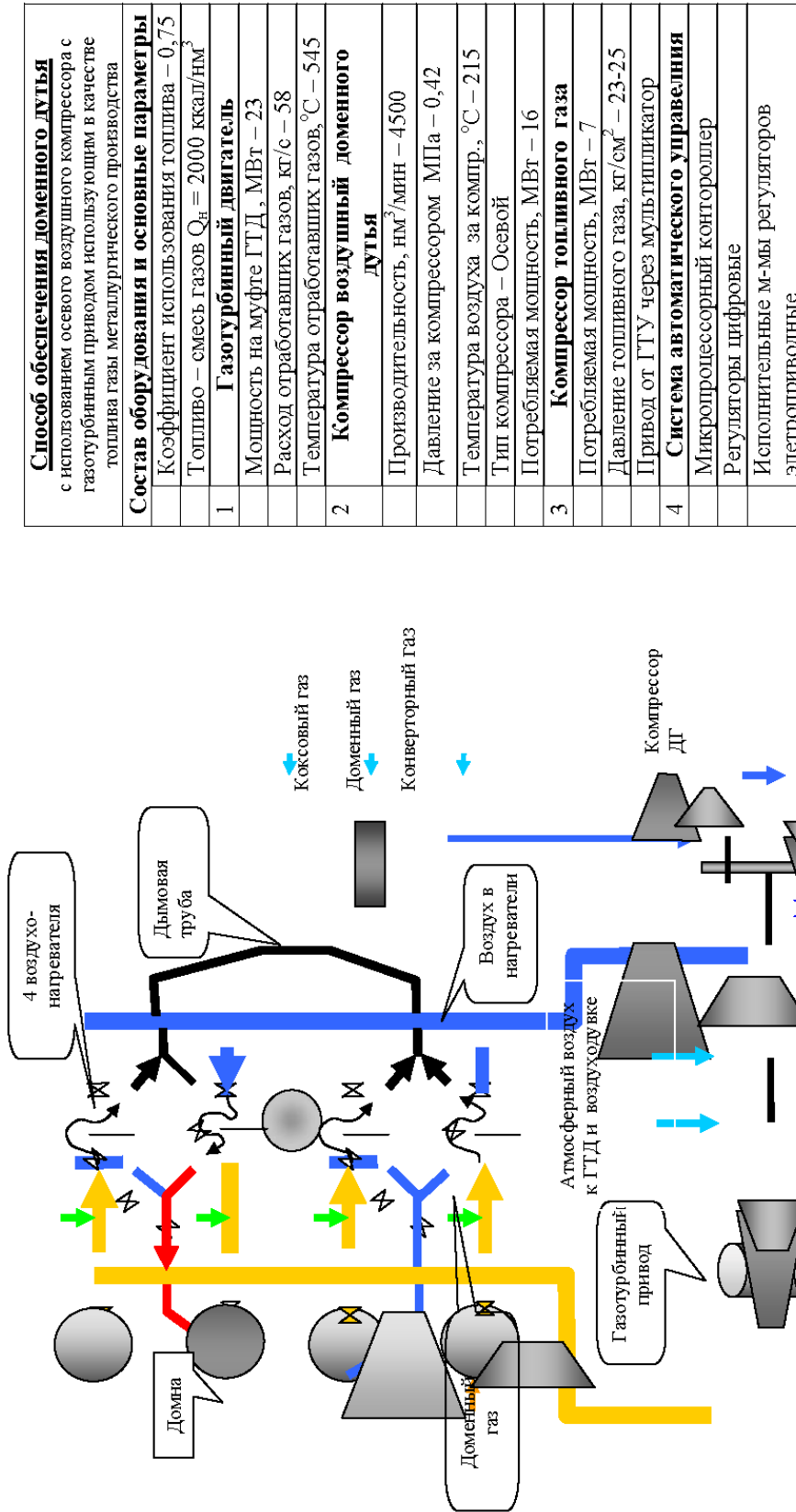


ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБОРУДОВАНИЯ ГТУ 130/150

ПГУ125	ГТ двигатель	Электродвигатель	Котел-утилизатор	Паровая турбина	Компрессор	САУ
Мощность эл. – 133 МВт	Мощность – 125 МВт	Мощность – 110 МВт	Расход пара – 179 т/ч	Мощность – 47 МВт	Двухкаскадный	Микропроцессорная
Мощность макс. – 150 МВт	Валов – 1	Безщеточный	Давление – 10,0 МПа	Давление пара – 10 МПа	Тип – осевой	Регуляторы цифровые
КПД – 44%	КПД – 36 %	Частота – 50 Гц	Температура пара – 385°C	Частота тока – 50 Гц	Привод – ГТУ	Контроль вибрации
Частота вр. – 50 Гц	Пуск генератором	Напряжение – 6,3/10,5 кВ	Давл. в конд. – 5,7 кПа	Конденсационная	Мощ. – 41 МВт	Ограничительные защ.
Топливо, ккал/нм <sup>3</sup> – 1050	Проект «Машпроект»	Охл. воздушное, замкн.	Автономная топка	Верхний конденсатор	Р за компр. – 20 кг/см <sup>2</sup>	Диагностика
Расх. дом. газа – 215000 нм <sup>3</sup> /ч	Изг. «Саурин» РФ	Изг. ОАО «Электросила»	Автономная работа	Изг. ОАО «Турбоатом»	«Зорь»-«Машпроект»	На выбор заказчика
Расх. прир. газа – 7320 нм <sup>3</sup> /ч						

Схема 4

ГАЗОТУРБОКОМПРЕССОР ДОМЕННОГО ДУТЬЯ С УТИЛИЗАЦИЕЙ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ В КАУПЕРАХ



<b>Способ обеспечения доменного дутья</b>	с использованием осевого воздушного компрессора с газотурбинным приводом используемым в качестве топлива газы металлургического производства
<b>Состав оборудования и основные параметры</b>	Коэффициент использования топлива – 0,75 Топливо – смесь газов $Q_H = 2000$ ккал/нм <sup>3</sup>
1	<b>Газотурбинный двигатель</b> Мощность на муфте ГТД, МВт – 23 Расход отработавших газов, кг/с – 58 Температура отработавших газов, °С – 545
2	<b>Компрессор воздушный доменного дутья</b> Производительность, нм <sup>3</sup> /мин – 4500 Давление за компрессором МПа – 0,42 Температура воздуха за компр., °С – 215 Тип компрессора – Осевой Потребляемая мощность, МВт – 16
3	<b>Компрессор топливного газа</b> Потребляемая мощность, МВт – 7 Давление топливного газа, кг/см <sup>2</sup> – 23-25 Привод от ГТУ через мультипликатор
4	<b>Система автоматического управления</b> Микропроцессорный контроллер Регуляторы цифровые Исполнительные м-мы регуляторов электроприводные

Принципиальные преимущества предлагаемых установок перед зарубежными аналогами заключается в следующем:

- Применяемые ГТД отечественного производства отличаются высокой ремонтно-пригодностью, благодаря модульной конструкции.
- Вместо типовой моноблочной схемы ГПТУ состоит из двух, способных работать автономно блоков – газотурбинного, с утилизацией или сбросом отработавших газов в атмосферу, и паротурбинного, способного работать в утилизационном режиме или от утилизационного котла с автономной топкой. Такая схема обеспечивает непрерывное и более надежное энергоснабжение при плановых ремонтах и в аварийных ситуациях.

Окупаемость электрогенерирующих ГПТУ и ГТУ, работающих на низкокалорийных газах металлургического производства, составляет не более 2-3 лет.

Применение газопаротурбинных установок работающих на низкокалорийных газах не ограничивается металлургией. Нефтеперерабатывающие заводы Украины начинают внедрять технологии глубокой переработки нефти, отходами которой является нефтяной кокс (вязкие отходы). Современной технологией утилизации таких отходов для выработки электроэнергии является их газификация в ГПТУ с внутрицикловой газификацией. Отходов только Одесского НПЗ после модернизации хватит для ГПТУ мощностью до 350 МВт, а в смеси с углем 700 МВт.

Дальнейшая перспектива ГПТУ с внутрицикловой газификацией распространяется на общую энергетику с использованием для газификации углей. Эта технология развивается в США, ЕС и Японии как альтернатива пылеугольным паротурбинным установкам и уже превосходит их, прежде всего, по экологическим показателям.

### **Заключение**

Освоение отечественным энергомашиностроением ГПТУ, работающих на низкокалорийных газах металлургического производства с дальнейшим внедрением газификации для утилизации отходов нефтепереработки, обеспечит дальнейшее развитие отечественного, стратегического для экономики страны, энергетического машиностроения.

Широкое внедрение ГПТУ для низкокалорийных газов позволит создать до 3,5 ГВт генерирующих мощностей на технологических газах в промышленности. Дальнейшая перспектива, согласно прогнозам развития мировой энергетики, – это работа ГПТУ на продуктах газификации угля в большой энергетике. В Украине потенциальный рынок для маневренных мощностей ГПТУ с газификацией оценивается от 9 до 20 ГВт.

Рецензенты: д.т.н., професор Борисенко В.Д.,  
к.т.н., доцент Чернобривець А.П.

© Шелестюк А.И., Чобенко В.Н., 2009

*Стаття надійшла до редколегії 12.05.09.*