

Состояние и перспективы развития украинского газотурбостроения

(к 50-летию Научно-производственного комплекса газотурбостроения)

В статье представлен обзор продукции, выпускаемой предприятием ГП НПКГ «Зоря»-«Машпроект», сферы ее применения, а также основные технико-экономические характеристики и конструктивные особенности.

A summary of «Zorya» - «Mashproekt» GTR & PC products, the fields of its application, as well as the main technical-economic data and the design features are presented in the article.

Производственное предприятие – Научно-производственный комплекс газотурбостроения «Зоря»-«Машпроект» – крупнейший в странах СНГ разработчик и изготовитель судовых и промышленных газотурбинных двигателей мощностью от 2,5 до 25 МВт и зубчатых передач передаваемой мощностью до 35 МВт.

За 50 лет комплексом изготовлено и поставлено заказчику более 3000 судовых и промышленных газотурбинных двигателей, а также несколько тысяч разнообразных редукторных передач для судовых энергетических установок.

На базе двигателей и редукторных передач комплекса «Зоря»-«Машпроект» созданы десятки газотурбинных судовых и промышленных установок различного назначения мощностью от 2,5 до 325 МВт.

Газотурбинными установками комплекса «Зоря» – «Машпроект» оснащены около 950 водоизмещающих кораблей и судов с динамическими принципами поддержания раз-

личного назначения в 20 странах мира, более 100 компрессорных станций и 60 электростанций в России, Украине, Казахстане, Белоруссии, Чехии, Канаде, Азербайджане, Иране и других странах. Суммарная мощность всех поставленных двигателей превышает 24 млн. кВт, общая наработка – более 28 млн. часов.

Наработки лидерных двигателей второго поколения (ДР59) в промышленности превысили 80000 часов без капремонта и свыше 100000 часов с одним капремонтом, третьего поколения (UGT 15000) – около 40000 часов и четвертого поколения (UGT 25000) – около 30000 часов.

Сегодня ГП НПКГ «Зоря»-«Машпроект» может предложить заказчику самый широкий в странах СНГ мощностной ряд высокоэкономичных и надежных газотурбинных двигателей (ГТД), работающих как на природном газе, так и на различных сортах недорогих жидких топлив, таких как дизельное, вакуумный газойль и др. (табл. 1).

Таблица 1

Технико-экономические характеристики ГТД ГП НПКГ «Зоря»-«Машпроект»

Тип	Модификация	Мощность, МВт	КПД, %
UGT 2500	Д049	2,85	28,5
UGT 3000	ДЕ76, ДС76, ДР76	3,36	31,0
UGT 6000	ДВ71, ДТ71, ДР71, ДС71, ДС77	6,7	31,5
UGT 6000+	ДП71	8,3	33,0
UGT 10000	ДН70, ДИ70	10,7	36,0
UGT 10000S	ДУ70	16,0	43,0
UGT 15000	ДА90, ДБ90, ДГ90, Д090, ДЦ90	17,5	35,0
UGT 15000+	ДА91	20,0	36,0
UGT 15000S	ДС90	25,0	41,0
UGT 16000	ДТ59, ДЖ59, ДН59, ДИ59	16,0	31,0
UGT 25000	ДА80, ДГ80, ДН80	25,0	36,5
UGT 110000	ГТД 110	110,0	36,0

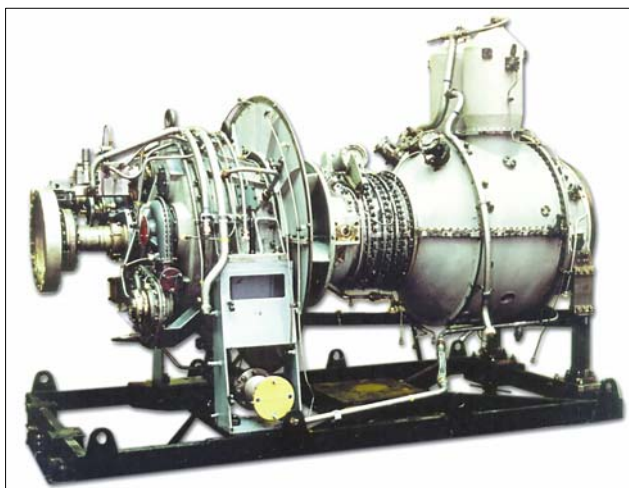
Экологические характеристики ГТД соответствуют требованиям законодательства, государств, в которых они используются.

В эксплуатации николаевские турбины давно зарекомендовали себя как одни из наиболее надежных. По заключению специалистов РАО «Газпром», судовые двигатели имеют самую большую наработку на отказ и самую высокую готовность к работе в любых климатических условиях, что обеспечивает их востребованность, даже при всевозрастающей конкуренции российских моторостроительных заводов.

Поэтому именно комплекс «Зоря»-«Машпроект» был выбран РАО ЕЭС для размещения заказов на разработку промышленного газотурбинного двигателя 110 МВт для большой энергетики. В настоящее время двигатель разработан и передан по лицензии в НПО «Сатурн».

Коротко представим каждый двигатель в отдельности.

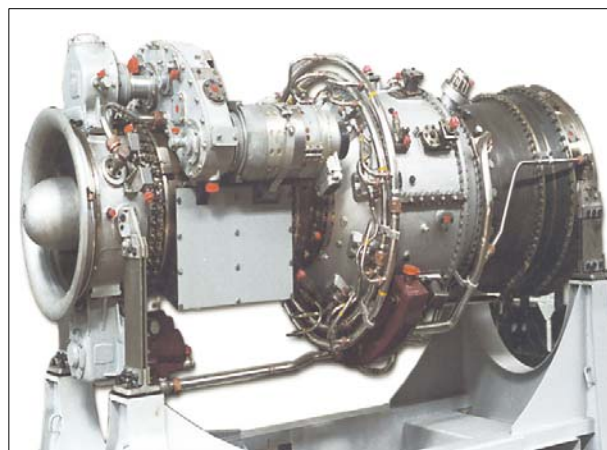
UGT 2500 – одновальный газотурбинный двигатель со встроенным редуктором, разработан специально для нужд энергетики:



- компрессор - осецентрибежный; 9 осевых + 1 центробежная ступени;
- степень сжатия - 12:1;
- камера сгорания - двухтрубная выносная;
- турбина трехступенчатая, скорость вращения 14000 об./мин;
- частота вращения выходного вала за редуктором 3000-3600 об/мин;
- габариты 3,0 x 1,2 x 2 (м) масса - 1,5 тонны;
- выпускается опытным производством с 1994 года;

- произведено 15 ед.;
- эксплуатируется на электростанциях Канады, Чехии и России;
- общая наработка более 30 тыс. часов.

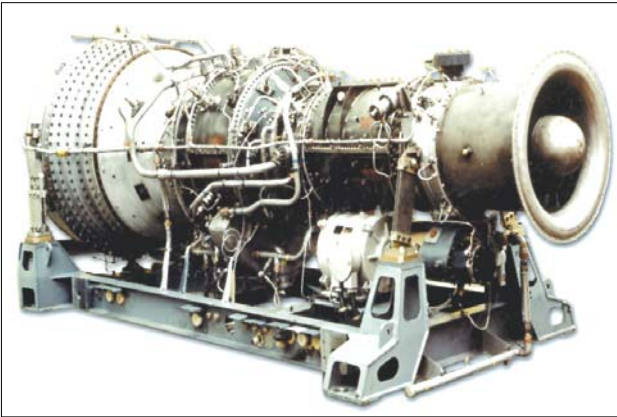
UGT 3000 - трехвальный газотурбинный двигатель для морского и промышленного применения:



- компрессор - осевой, двухкаскадный: 8 + 9 ступеней;
- степень сжатия - 13,5:1;
- камера сгорания - трубчато-кольцевая противоточная с 9-ю жаровыми трубами;
- турбины компрессора - осевые одноступенчатые;
- силовая турбина - трехступенчатая (реверсивная и нереверсивная), скорость вращения 8800 - 9700 об/мин;
- габариты 2,5 x 1,3 x 1,25 (м), масса 2,5-2,8 тонны;
- эксплуатируются в качестве маршевых двигателей на ракетных катерах проекта «Молния» и на закачке газа в подземные хранилища в г. Штрамберк (Чехия);
- серийный выпуск с 1981 года;
- произведено около 110 ед.;
- максимальная наработка в промышленности около 10000 часов.

UGT 6000 - трехвальный газотурбинный двигатель для морского и промышленного применения:

- компрессор - осевой, двухкаскадный: 8 + 9 ступеней;
- степень сжатия - 16,6:1;
- камера сгорания - трубчато-кольцевая противоточная с 10-ю жаровыми трубами;



- турбины компрессора - осевые одноступенчатые;
- силовые турбины в зависимости от назначения 2, 3, 4 и 6-ступенчатые, скорость вращения от 3000 до 9300 об/мин, направление вращения левое или правое;
- морские ГТД при необходимости имеют реверсивную силовую турбину;
- габариты двигателей (2,8-4,6) x 1,7 x (1,6-1,8) (м);
- вес 3,1-4,5 тонны;
- серийный выпуск с 1978 года;
- изготовлено около 400 ед.;
- эксплуатируется на различных типах водоизмещающих кораблей в качестве маршевого и форсажного двигателя и на судах с динамическими принципами поддержания, на компрессорных и электрических станциях во многих странах мира;
- суммарная наработка более 300 тыс. часов;
- наработка лидерного двигателя в промышленности более 20 тыс. часов.

UGT 8000+ – форсированный вариант двигателя UGT 6000.

UGT 10000 - трехвальный газотурбинный двигатель IV поколения для морского и промышленного применения:

- компрессор осевой, двухкаскадный; 9 + 9 ступеней;
- степень сжатия - 19,5:1;
- камера сгорания - трубчато-кольцевая противоточная с 10-ю жаровыми трубами;
- турбины компрессора - осевые, одноступенчатые;

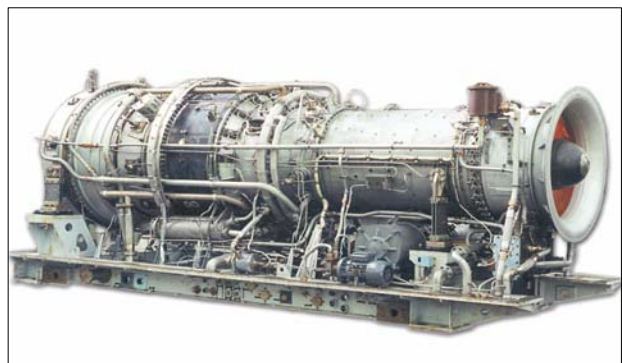
- силовые турбины - осевые 3-, 4- и 6-ступенчатые с частотой вращения от 3000 до 6500 об/мин, левого и правого вращения;
- габариты 4,0 x 1,8 x 1,7 (м);
- масса 5 тонн;



- выпускается опытным производством с 1998 года;
- изготовлено 5 ед.;
- эксплуатируется на компрессорных станциях Украины;
- максимальная наработка лидерного двигателя около 5000 часов (на 01.08.2003);
- серийный выпуск с 2004 года.

UGT 10000S - модификация двигателя UGT 10000 с перепрофилированной проточной частью для впрыска пара, выработанного в утилизационном парогенераторе. Двигатель предназначен для использования в комбинированных газопаровых установках типа «Водолей» мощностью 16 МВт.

UGT 15000 - трехвальный газотурбинный двигатель III поколения для морского и промышленного применения:



- компрессор - осевой, двухкаскадный; 9 + 10 ступеней;
- степень сжатия - 19,6:1;

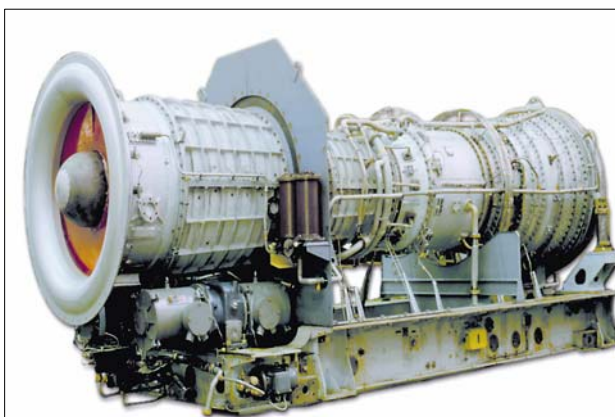
- камера сгорания - трубчато-кольцевая, противоточная с 16-ю жаровыми трубами;
- турбины компрессора - осевые, одноступенчатые;
- силовые турбины осевые 3- и 4- ступенчатые со скоростью вращения от 3000 до 5300 об/мин, левого и правого вращения, реверсивные и нереверсивные;
- габариты (4,7-5,0) x (2,2-2,5) x (2,5-2,7) (м);
- масса 9-15 тонн;
- серийно выпускается с 1988 года;
- изготовлено около 170 ед.;
- эксплуатируется на больших противолодочных кораблях, а также на компрессорных и электрических станциях, на заводах химической промышленности;
- суммарная наработка на 01.07.2003 г. более 1 млн. часов;
- наработка лидерного двигателя около 40 тыс. часов.

UGT 15000+ - форсированный вариант UGT 15000 мощностью 20 МВт.

UGT 15000S - модификация UGT 15000, приспособленная для впрыска пара в проточную часть двигателя и предназначена для использования в установках «Водолей» мощностью 25 МВт.

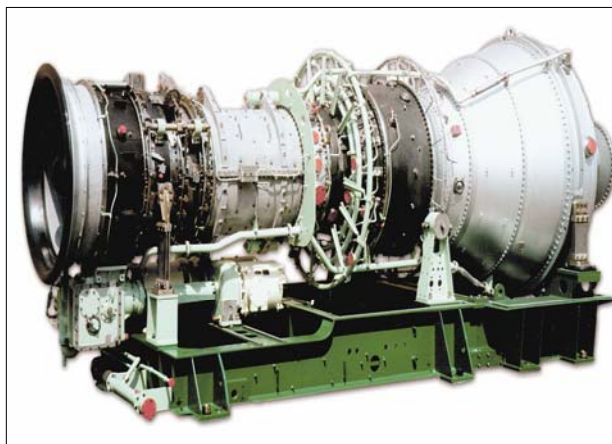
UGT 16000 - трехвальный газотурбинный двигатель II поколения для морского и промышленного применения:

- компрессор - осевой, двухкаскадный; 7 + 9 ступеней;
- степень сжатия - 12,8:1;



- камера сгорания - трубчато-кольцевая, проточная с 10-ю жаровыми трубами;
- турбины компрессора - осевые двухступенчатые;
- силовые турбины - осевые 2- и 3- ступенчатые, с частотой вращения 3000-5200 об/мин, левого и правого вращения, реверсивные и нереверсивные;
- габариты 5,9 x 2,7 x 3,1 (м);
- масса 16-18 тонн;
- серийно выпускается с 1980 года;
- изготовлено около 400 ед.;
- эксплуатируется на больших противолодочных кораблях, крейсерах, а также на компрессорных и электрических станциях;
- общая наработка более 3 млн. часов;
- наработка лидерных двигателей около 60 тыс. часов.

UGT 25000 - трехвальный газотурбинный двигатель IV поколения для морского и промышленного применения:

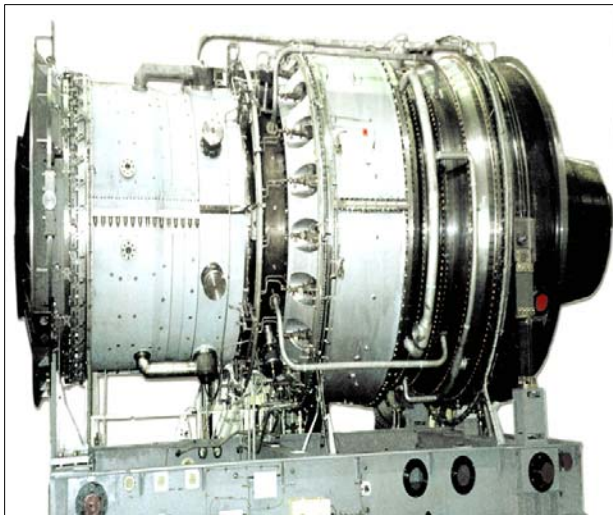


- компрессор - осевой, двухкаскадный; 9 + 9 ступеней;
- степень сжатия - (21,8-23,6):1;
- камера сгорания - трубчато-кольцевая, противоточная с 16-ю жаровыми трубами;
- турбины компрессора - осевые, одноступенчатые;
- силовые турбины - осевые 3- и 4- ступенчатые, со скоростью вращения 3000-4700 об/мин;
- серийный выпуск с 1995 года;
- изготовлено более 40 ед.;
- эксплуатируется на больших многоцелевых кораблях, а также на компрессорных и электрических станциях;



- общая наработка (на 01.07.2003) около 300 тыс. часов;
- наработка лидера около 30 тыс. часов.

UGT 110000 - одновальный газотурбинный двигатель, разработанный для нужд энергетики:



- компрессор - осевой; 15 ступеней;
- степень повышения давления - 14,7:1;
- камера сгорания - трубчато-кольцевая, прямооточная с 20-ю жаровыми трубами;
- турбина - осевая, четырехступенчатая, скорость вращения 3000 об/мин;
- габариты 5,7 x 3,7 x 4,0 (м);
- масса 50 тонн;
- изготавливается в опытном производстве с 1999 года;
- изготовлено 2 ед.;
- эксплуатируется на электрических станциях: Иваново (Россия), Каборга (Украина).
- наработка лидера на 01.07.2003 года более 2000 часов;
- серийное производство будет осуществляться НПО «Сатурн» (Россия).

Все перечисленные двигатели имеют дистанционное управление и оснащены всеми необходимыми вспомогательными системами: топливной, смазки, очистки циклового воздуха, газовыхлопа, шумоглушения, вентиляции, пожаротушения и т.д.

Система качества проектирования и опытного производства соответствует

ДСТУ ISO 9001-95, серийного производства ДСТУ ISO 9002-95.

В настоящее время проводятся работы по подготовке к приемке фирмой Bureau Veritas системы качества, соответствующей ISO 9001-2000.

Высокий технико-экономический уровень газотурбинных установок разработки и производства ГП НПКГ «Зоря»-«Машпроект» обеспечивается наличием в составе комплекса квалифицированного центра научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, обладающего необходимыми навыками и средствами для выполнения автоматизированного проектирования, и уникальными стендами для поузловой доводки двигателей, а также серийного производства, оснащенного современным оборудованием, и двух испытательных станций для испытания опытных и серийных газотурбинных двигателей и установок различного назначения: судовых, газоперекачивающих агрегатов и газотурбогенераторов для энергетики.

В комплексе большее внимание уделяется работам по улучшению экологических характеристик двигателей. За последние годы уровень вредных эмиссий «сухой КС» по базовому ряду двигателей был снижен в два раза и достиг величин: NO_x 50-70 мг/нм^3 , CO 80-90 мг/нм^3 при 15% O_2 , что на сегодня соответствует законодательствам большинства стран, куда поставляются наши двигатели. Однако для более уверенного продвижения продукции комплекса на международные рынки уровень вредных эмиссий не должен превышать 50 мг/нм^3 , а для высокоразвитых стран – не более 25 мг/нм^3 . Практически этот уровень на сегодня обеспечивает экологический впрыск пара или воды в камеру сгорания, что подтверждено испытаниями установки ГТГ25С (UGT 15000 S2) на стенде.

По своим технико-экологическим параметрам газотурбинные двигатели комплекса на сегодня соответствуют уровню лучших мировых образцов, а новые разработки комплекса UGT 10000 (ДН70, ДИ 70) и UGT 110000 даже превосходят их в своем классе мощности (табл. 2).

Таблиця 2

Сравнение ГТД проектов ГП НПКГ «Зоря»-«Машпроект» с зарубежными аналогами

ГТД	Мощность, МВт	КПД, %	Фирма-изготовитель	Год выпуска
GT-2500	2,85	28,5	«Зоря»-«Машпроект»	1994
ST18A	1,96	30,3	Pratt&Whitney	1995
VT2600	2,25	30,3	Volvo Aero	2001
M1T-13D	2,90	23,6	Kawasaki	1995
ГТУ-2,5П	2,50	21,8	Авиадвигатель	1995
GT-3000	3,36	31,0	«Зоря»-«Машпроект»	1981
ST-30	3,27	31,8	Pratt&Whitney,	1999
Centaur - 40	3,52	27,9	Solar	1992
ASE 40	3,28	27,7	Allied Signal	1996
ГТУ-4П	4,00	23,8	Авиадвигатель	1998
GT-6000	6,70	31,5	«Зоря»-«Машпроект»	1978
601-КС9	6,71	33,8	Rolls-Royce	1998
Tornado	6,45	31,1	Alstom	1981
M7A-02	6,96	30,9	Kawasaki	1997
АИ-336	6,30	30,0	Мотор Сич	1997
ГТУ-6П	6,15	26,1	Авиадвигатель	2000
GT-10 000	10,7	36,0	«Зоря»-«Машпроект»	1998
ГПУ-12П	12,0	34,5	Авиадвигатель	1994
АИ-336-2-10	10,0	34,0	Мотор Сич	1997
ГТУ-10П	10,0	34,0	Авиадвигатель	1999
ASE 120	9,3	33,2	Allied Signal	2000
НК-143	10,0	33,0	НК-двигатели	1996
GE10	11,27	31,3	General Electric	2000
GT-15 000	17,5	35,0	«Зоря»-«Машпроект»	1988
НК-39	16,0	38,0	НК-двигатели	проект
ГТУ-16П	16,0	37,0	Авиадвигатель	1996
LM 2000	17,9	36,3	General Electric	2000
PGT20	17,47	35,1	General Electric	2001
АЛ-31СТ	16,0	35,0	Люлька-Сатурн	1998
L20A	17,0	34,0	Kawasaki	2001
GT-25 000	27,5	36,0	«Зоря»-«Машпроект»	1993
LM2500+	28,6	38,9	General Electric	1997
FT-8	26,2	38,7	Pratt&Whitney,	1990
ГТУ-25П	24,85	37,8	Авиадвигатель	2004
GT 10C	29,1	36,0	Alstom	1999
НК-37	25,0	35,1	НК-двигатели	1999
GT-110000	110,0	36,0	«Зоря»-«Машпроект»	2001
M501	114,0	34,9	Mitsubishi	1980
W501D5A	120,5	34,7	Siemens Power Generation	1993
GT11N2	116,5	34,0	Alstom	1993
MS9001E	123,4	33,8	Nuovo Pignone	1976



Анализ перспектив развития современного газотурбинного рынка показывает, что практически 90% изготавливаемых на сегодня

и предназначенных к выпуску до 2010 году двигателей используются или будут использоваться для нужд энергетики (табл. 3).

Таблица 3

Тип/Года	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	Всего	%
Морские приводы	78	90	105	110	110	105	105	110	105	105	1023	4,7%
Механический привод	137	158	176	186	190	187	184	178	172	165	1733	8%
Энергетика	1605	1755	1850	1953	1985	2072	1992	1909	1888	1874	18883	87,3%
Всего	1820	2003	2131	2249	2285	2364	2281	2197	2165	2144	21639	
% к 2001 г.	0	+10%	+11,7%	+12,4 %	+12,6 %	+13,0%	+12,5%	+12,1%	+11,9%	+11,8%		

Общая стоимость заказов ГТД оценивается в сумму около 450 миллиардов долл. США, в том числе более 400 миллиардов долл. США – за энергетические ГТД.

Такие перспективы развития мирового газотурбинного рынка диктуют комплексу необходимость перестройки структуры разработки и производства газовых турбин в сторону энергетических ГТУ. Большой задел в этом направлении у комплекса есть.

На предприятии разработали и впервые в мире применили паровой теплоутилизующий контур (ТУК) в главных судовых газотурбинных установках. Это позволило уменьшить расход топлива на 20-25% по сравнению с установками простого цикла. Первая судовая парогазовая установка М25 мощностью 18,5 МВт была установлена на контейнеровозе Ro-Ro класса «Капитан Смирнов» в 1979 году.

Затем такими установками были оснащены еще три контейнеровоза. Для военных кораблей была разработана маршевая установка М21 мощностью 7,5 МВт, которая была установлена на трех крейсерах проекта «Слава».

К настоящему времени все парогазовые установки в рабочем состоянии, а наработка ТУКов на контейнеровозах превысила 100000 часов. Об эффективности и надежности этих установок говорит тот факт, что ВМС США закупили их для своих сил быстрого реагирования. Первый модернизированный контейнеровоз в настоящее время проходит ходовые испытания.

Используя опыт, накопленный при создании и эксплуатации судовых энергетических

установок с утилизацией тепла на базе двигателей третьего и четвертого поколения, был разработан ряд высокоэкономичных газотурбинных установок для применения в энергетике, газовой, нефтяной и химической промышленности.

По использованию вторичного тепла газотурбинные установки распределяются на четыре основных вида:

- когенерационные установки мощностью 2,5-25 МВт для выработки электрической и тепловой энергии; количество получаемой электрической энергии в такой установке соответствует мощности газотурбинных двигателей, а количество тепловой энергии произведенной котлоутилизатором, – 120-190% мощности ГТД. В случае применения дожигания в котлоутилизаторе количество тепловой энергии может быть увеличено пропорционально дополнительно затраченному топливу;

- комбинированные парогазовые установки мощностью 13,5-325 МВт для выработки электрической энергии. Пар в парогазовых установках направляется в паровые турбины, где, срабатывая, дает приращение электрической мощности. Мощность парогазовой установки равна сумме мощностей газовых и паровых турбин. ПГУ – самый экономичный способ производства электроэнергии, что подтверждается их высоким спросом на рынке энергетики;

- установки с энергетическим впрыском пара мощностью 4,7-40,7 МВт для различного назначения. Выработанный в котлоутилизаторе пар сбрасывается в газовую

турбину как дополнительное высокопотенциальное рабочее тело, увеличивая мощность газовой турбины на 60-80% и КПД на 20-25%;

- установки с энергетическим впрыском пара в проточную часть двигателя мощностью 4,15-39,7 МВт с последующим улавливанием и отделением его из выхлопных газов в контактном конденсаторе и повторным использованием конденсата в рабочем цикле после его охлаждения и химической очистки (технология «Водолей»). Такие установки не имеют аналогов в мире.

В сравнении с другими типами установок они позволяют сразу решить три задачи:

- повышение КПД на 20-25 %;
- снижение эмиссий в 2 раза;
- сокращение в несколько раз эксплуатационных расходов на подготовку котловой воды при некотором увеличении капитальных затрат на строительство контактного конденсатора и систем водоохлаждения и химочистки. Окупаемость таких установок в зависимости от условий эксплуатации 2-4 года.

Есть и другие перспективные проработки по применению установок ГП НПКГ «Зоря»-«Машпроект» в различных отраслях промышленности, предложенные специалистами ведущих академических институтов Украины и России.

В частности, это:

- использование ГТУ с ТУКом для охлаждения компримированного газа на компрессорных станциях с целью снижения затрат на транспортировку газа;
- использование ПГУ в металлургии и нефтехимии на металлургических газах и в установках с газификацией нефтяных отходов с целью снижения затрат на производство основной продукции;
- использование ГТУ в качестве надстроек к существующим котельным установкам коммунальных хозяйств и предприятий с целью снижения затрат на производство тепла, электроэнергии и др.

Перспективы применения газотурбинных двигателей и установок в промышленности

практически неограничен. Это подтверждает и тот факт, что производственные мощности ведущих зарубежных фирм загружены уже на несколько лет вперед.

Главная задача работников комплекса – продолжить работы по совершенствованию существующих серийных газотурбинных двигателей и установок, улучшению их качества и снижению себестоимости проектирования и производства.

Необходимо также изыскать средства для создания двигателя пятого поколения с КПД не меньше 40% в простом цикле. На такие параметры сейчас выходят лучшие зарубежные двигатели мощностью 40-50 МВт LM6000 фирмы Дженерал Электрик и «Trent» фирмы «Роллс-Ройс», которые имеют довольно устойчивый спрос на мировом энергетическом рынке. На рынке стран СНГ активную деятельность развернули НПО «Сатурн» (г. Рыбинск) и ФГУП «Салют» (г. Москва), которые вместе с «Пермскими моторами» являются нашими основными конкурентами в России. Эти предприятия уже приступили к созданию авиационного двигателя пятого поколения и ведут бескомпромиссную борьбу между собой за получение федерального заказа на его создание.

На базе технологий, разработанных при создании авиационного двигателя пятого поколения, предполагается затем создать новые российские двигатели для промышленности и флота.

Положение ГП НПКГ «Зоря»-«Машпроект» на рынке России, где сегодня реализуется большая часть продукции, будет определяться не только эффективностью и надежностью двигателей, но и его ценовой политикой.

Это означает, что двигатели ГП НПКГ по своим параметрам не должны уступать российским и в то же время должны быть дешевле их. Необходимо также изыскивать и другие варианты сотрудничества с российскими предприятиями и организациями, при которых использование двигателей ГП НПКГ «Зоря»-«Машпроект» в России было бы взаимовыгодным.