

**БОНДИН Ю.Н.** – генеральный директор ГП НПКГ “Зоря”-“Машпроект”, г. Николаев  
**СУЛТАНСКИЙ Ю.О.** – директор по маркетингу ГП НПКГ “Зоря”-“Машпроект”, г. Николаев  
**СТАШОК А.Н.** – зам. начальника УМПП, ГП НПКГ “Зоря”-“Машпроект”, г. Николаев

## ГАЗОТУРБИННЫЕ ДВИГАТЕЛИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРИМЕНЕНИЯ

В статье представлены краткое описание и основные характеристики двигателей и установок ГП НПКГ “Зоря”-“Машпроект”. Приведены сравнительные характеристики двигателей комплекса с лучшими мировыми образцами мощностного ряда НПК. Приведен прогноз перспектив развития газотурбинной техники в мире по видам использования (энергетика, комбинированный цикл, когенерация, механический привод, включая судовые установки), а также задачи комплекса по укреплению своих позиций на рынке газотурбинной техники.

Resulted comparative descriptions of engines of complex with the best world standards of powerful row. The prognosis of prospects of development of gas turbine technique is resulted in the world after kinds of usage (energy, combined cycle, cogeneration, including ship options), and also tasks of complex in relation to strength-

### **Постановка проблемы и выделение нерешенных задач**

Научно-производственный комплекс газотурбостроения “Зоря”-“Машпроект” крупнейший в странах СНГ разработчик и изготовитель судовых и промышленных газотурбинных двигателей мощностью от 2,5 до 110 МВт и зубчатых передач передаваемой мощностью до 35 МВт.

Высокий технико-экономический уровень газотурбинных двигателей и 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, 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.

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.

Газотурбинными установками комплекса “Зоря”-“Машпроект” оснащены более 500 водоизмещающих кораблей и судов с динамическими принципами поддержания различного назначения в 20 странах мира, более 100 компрессорных станций и 60 электростанций в России, Украине, Казахстане, Белоруссии, Чехии, Канаде, Азербайджане, Иране и в других странах. Суммарная мощность всех поставленных двигателей превышает 25 млн. кВт, общая наработка - более 30 млн. часов на 1.10.2004 г.

Наработки лидерных двигателей второго поколения в промышленности превысили 80.000 часов без капремонта и свыше 100.000 часов с одним капремонтом, третьего поколения (UGT 15000) около 50.000 часов и четвертого поколения (UGT 25000) свыше 35.000 часов.

### **Изложение основного материала**

В эксплуатации николаевские двигатели зарекомендовали себя как наименее прихотливые к топливам и маслам, и как наиболее надежные. По данным "Оргэнергогаза" (РАО "Газпром") средняя наработка на отказ по промышленной группе двигателей в ГП НПКГ "Зоря"- "Машпроект" в 2002 году составила:

ДР59 – 15168 часов  
 ДЖ59 – 11435 часов  
 ДГ90 – 7907 часов

(для сравнения: по лучшим конвертированным авиационным двигателям этот показатель не превышает 4000 часов).

Николаевские турбины также имеют самую высокую готовность к работе в любых климатических условиях, что обеспечивает их востребованность при все возрастающей конкуренции российских моторостроительных заводов.

В течение 2003-2004 г.г. комплексом выполнена поставка более 60 двигателей UGT 6000 (ДТ71), UGT 15000 (ДГ90), UGT 25000 (ДН80) и UGT 10000 (ДН70 и ДУ70) для РАО "Газпром" и "Укртрансгаза". За этот же период было поставлено оборудование и введены в строй электростанции в Заполярном – 4 UGT 6000 (ДВ71), Салехарде – 2 ДЦ59 + UGT 16000 (ДЖ59), на Березовской ТЭЦ – 2 UGT 25000 (ДГ80) и цементном заводе в Костюковичах (Белоруссия) – UGT 16000 (ДЦ90 на Рубежанском картонно-тарном комбинате (Луганская область) – UGT16000 (ДЖ59) и в Каборге (Николаевская обл.) – UGT 110000 (ГТД 110).

Сегодня ГП НПКГ "Зоря"- "Машпроект" может предложить Заказчику самый широкий в странах СНГ мощностной ряд высокоэкономичных и надежных двигателей, работающих как на природном газе, так и на различных сортах жидких недорогих топлив, таких как дизельное, вакуумный газойль и др. С 2004 г. двигатели, поставляемые комплексом, по желанию заказчика могут комплектоваться комбинированными топливными форсунками, работающими как жидком, так и на

газообразном топливе. Переход с одного вида топлива на другой осуществляется без остановки двигателя. Первый такой двигатель уже поставлен на электростанцию в г. Салехард. Ведется работа по созданию аналогичных топливных форсунок и для других двигателей.

Рассмотрим технико-экономические характеристики и конструктивные особенности представляемого ряда двигателей:

**UGT 2500 (Д049)** – одновальный газотурбинный двигатель со встроенным редуктором, разработан специально для нужд энергетики. (рис. 1)

- мощность – 2,85 МВт;
- КПД – 28,5 %;
- габариты 3,0x1,2x2 (м)
- масса – 1,5 тонны
- выпускается опытным производством с 1994 года
- произведено 15 ед.
- общая наработка более 40 тыс. часов.
- наработка лидера – около 15.000 часов
- применяется как привод электрогенератора на электростанциях в Чехии, Канаде и России. В Канаде работает на биотопливе, полученном из древесины. В России Д049 изготавливает по лицензии НПО "Сатурн", г. Рыбинск. По разным источникам информации НПО "Сатурн" уже изготовило и поставило Заказчику более 11 двигателей, и еще на столько же имеются заказы.

**UGT 3000 (ДЕ76, ДС76, ДР76)** – трехвальный газотурбинный двигатель для морского и промышленного применения (рис. 2):

- мощность – 3,36 МВт;
- КПД – 31 %;
- габариты 2,5 x 1,3 x 1,25 (м);
- масса 2,5 – 2,8 тонны;
- серийный выпуск с 1981 года;
- произведено около 110 ед.
- максимальная наработка в промышленности свыше 15000 часов на станции закачки газа в

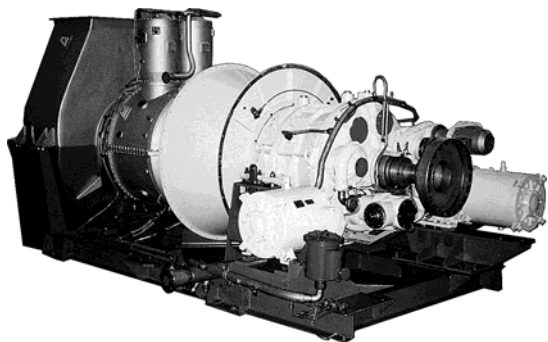


Рис. 1.

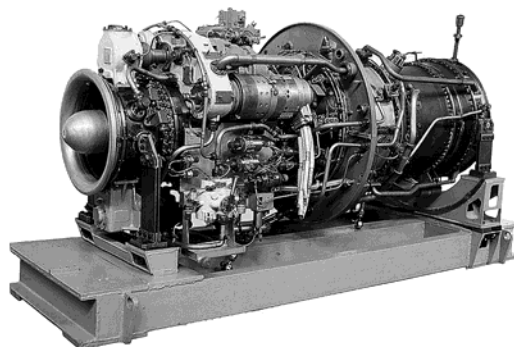


Рис. 2.

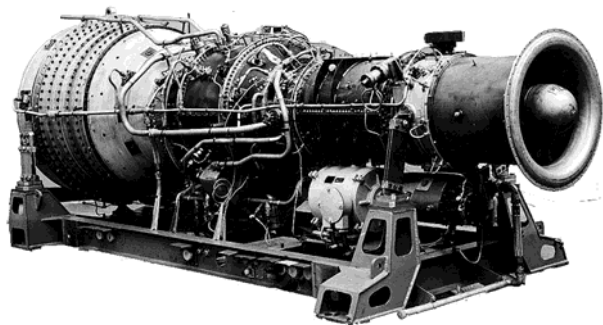


Рис. 3.

- подземное хранилище в г. Штрамберк (Чехия).
- эксплуатируются в качестве маршевых двигателей на ракетных катерах проекта "Молния" и на закачке газа в подземные хранилища в г. Штрамберк (Чехия).

**UGT 6000** (ДВ71, ДТ71, ДС71 и др.) – трехвальный газотурбинный двигатель для морского и промышленного применения (рис. 3):

- мощность – 6,7 МВт;
- КПД – 31,5 %;
- 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.
- суммарная наработка около 400 тыс. часов.
- наработка лидерного двигателя в газовой промышленности более 22 тыс. часов.
- наработка лидерного двигателя на ЭС Заполярье – около 10000 часов.
- 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.

**UGT 8000+** (ДП71) – форсированный вариант двигателя UGT 6000

- мощность – 8,3 МВт
- КПД – 33 %

**UGT 10000** (ДН70, ДИ70) – трехвальный газотурбинный двигатель IV поколения для морского и промышленного применения (рис. 4):

- мощность – 10,7 МВт;
- КПД – 36 %;
- габариты 4,0 x 1,8 x 1,7 (м)
- масса 5 тонн
- выпускается опытным производством с 1998

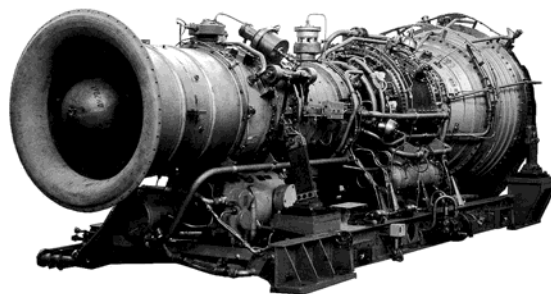


Рис. 4.

- года
- изготовлено 5 ед.
  - эксплуатируется на компрессорных станциях Украины
  - максимальная наработка лидерного двигателя свыше 8000 часов (на 1.10.2004).
  - серийный выпуск с 2004 года.

**UGT 10000S** (ДУ) – модификация двигателя UGT 10000 с перефигурованной проточной частью для впрыска пара, выработанного в утилизационном парогенераторе.

Двигатель предназначен для использования в комбинированных газопаровых установках типа "Водолей" мощностью 16 МВт.

- мощность – 16 МВт;
- КПД – 45 %;
- С 2003 года двигатель находится в опытно-промышленной эксплуатации на компрессорной станции "Ставищенская" Черкасытранс-газ, наработка свыше 2000 часов.

**UGT 15000** (ДО90, ДБ90, ДГ90, ДН90) – трехвальный газотурбинный двигатель III поколения для морского и промышленного применения (рис. 5):

- мощность – 17,5 МВт;
- КПД – 35,4 %;
- габариты (4,7-5,0) x (2,2-2,5) x (2,5-2,7) (м)
- масса 9-15 тонн

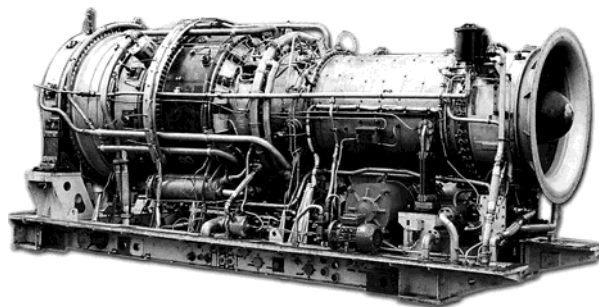


Рис. 5.

- серійно випускається з 1988 року.
- виготовлено около 190 ед.;
- сумарна наработка около 2 млн. годин
- наработка лідерних двигателів – около 47 тис. годин в газовій промисловості і більше 25000 годин в складі комбінованої установки на Одеському припортовому заводі. Остання поставка двигателя для енергетических цілей здійснена на Білоруський цементний завод, де з 1 грудня 2003 року двигатель наработав около 4000 годин.
- експлуатується на великих протилежних кораблях, а також на компресорних і електричних станціях на заводах хімічної промисловості.

**UGT 15000+ (ДА91)** – форсований варіант UGT 15000

- потужність – 20 МВт;
- КПД – 36 %;

В нинішнє час проходить сдаточні випробування.

**UGT 15000S (ДС90)** – модифікація UGT 15000, пристосована для впрыску пари в проточну частину двигателя і призначена для використання в установках “Водолей” потужністю

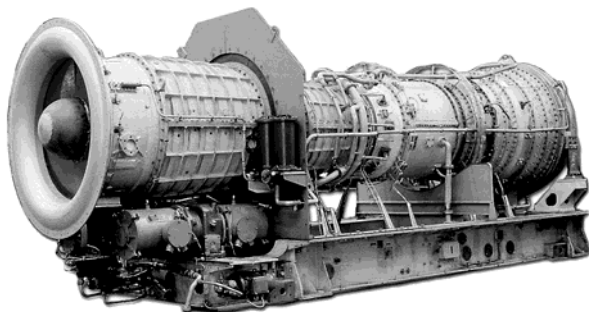


Рис. 6.

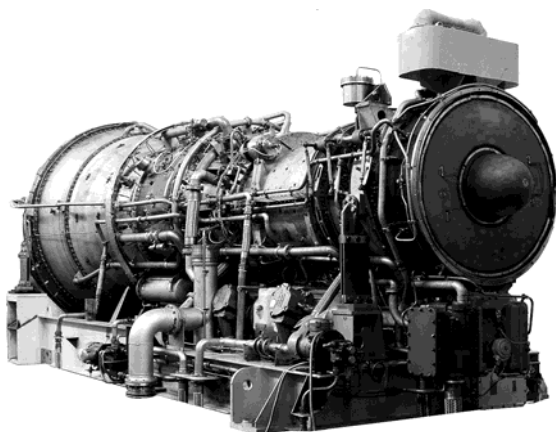


Рис. 7.

25 МВт і КПД 42 %. Загальна наработка 10.000 год. на заводській ЕС в г. Николаеве.

**UGT 16000 (ДЖ59, ДЕ59, ДТ59)** – трьохвальний газотурбинний двигатель II покоління для морського і промислового застосування (рис. 6):

- потужність – 16 МВт;
- КПД – 31 %;
- габарити 5,9 x 2,7 x 3,1 (м)
- маса 16 – 18 тонн
- серійно випускається з 1980 року.
- виготовлено свйше 150 ед.
- загальна наработка около 4,5 млн. годин
- наработка лідерних двигателів свйше 70 тис. годин.
- експлуатується на великих протилежних кораблях, крейсерах, а також на компресорних і електричних станціях.

**UGT 25000 (ДА80, ДН80, ДГ80, ДИ80)** – трьохвальний газотурбинний двигатель IV покоління для морського і промислового застосування (рис. 7):

- потужність – 25 МВт;
- КПД – 36,5 %;
- серійний випуск з 1995 року.
- виготовлено більше 60 ед.
- загальна наработка около 500 тис. годин
- наработка лідера в газовій промисловості – свйше 36 тис. годин, в енергетиці на Березовській ТЭЦ в Білорусії – 4000 годин.
- експлуатується на есмінцах (КПР), а також на компресорних і електричних станціях.

**UGT 110000 (ГТД 110)** – одновальний газотурбинний двигатель, розробаний для потреб енергетики (рис. 8):

- потужність – 110 МВт;
- КПД – 36 %;
- габарити 5,7 x 3,7 x 4,0 (м)

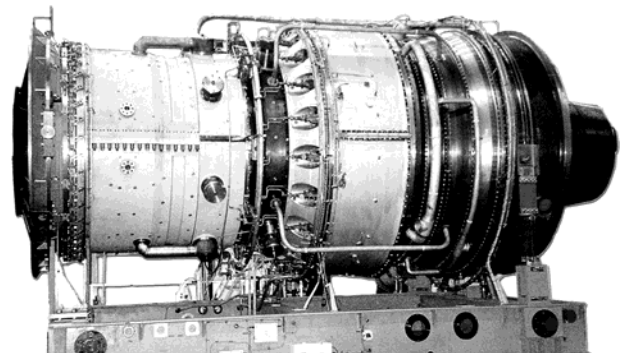


Рис. 8.

- масса 50 тонн
- изготавливается в опытном производстве с 1999 года;
- изготовлено 2 ед.
- наработка лидера на 1.07.2004 года свыше 3000 часов;
- серийное производство будет осуществляться НПО "Сатурн" (Россия).
- эксплуатируется на электрических станциях Иваново (Россия), Каборга (Украина).

Все перечисленные двигатели имеют дистанционное управление и оснащены всеми необходимыми вспомогательными системами: топливной, смазки, очистки циклового воздуха, газовыхлопа, шумоглушения, вентиляции, пожаротушения и т.д. По желанию Заказчика все двигатели комплектуются современными системами автоматизированного управления и контроля, помещаются в звуко- и теплоизолирующие укрытия и обеспечиваются системами и устройствами воздухоочистки и

Табл. 1

Тип/годы	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, т.е. ежегодный заказ ГТД в 45 млрд. долл., а для энергетики 40 млрд. долл.

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 то факт, что ВМС США закупило их для своих сил быстрого реагирования. Первый модернизированный контейнеровоз в настоящее время прошел ходовые испытания и передан в

эксплуатацию.

Используя опыт, накопленный при создании и эксплуатации судовых энергетических установок с утилизацией тепла на базе двигателей третьего и четвертого поколения, в комплексе был разработан ряд высокоэкономичных газотурбинных установок для применения в энергетике, газовой, нефтяной, химической промышленности и металлургии.

По использованию вторичного тепла комбинированные газотурбинные установки ГП НПКГ "Зоря"- "Машпроект" распределяются на основные четыре вида:

- когенерационные установки мощностью 2,5-25 МВт для выработки электрической и тепловой энергии (пар или горячая вода) или то и другое вместе используются для технологических целей (рис.10).

Количество получаемой электрической энергии в такой установке соответствует мощности газотурбинных двигателей, а количество тепловой энергии, произведенной котлом-утилизатором, 120-190 % мощности ГТД. В случае применения дожигания в котле-утилизаторе количество тепловой энергии может быть увеличено пропорционально дополнительно затраченному топливу.

- комбинированные парогазовые установки мощностью 13,5-325 МВт для выработки электрической энергии (рис.11). Пар в парогазовых установках направляется в паровые турбины, где срабатывая, дает приращение электрической мощности. Мощность парогазовой установки равна

сумме мощностей газовых и паровых и 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 (рис.12). Выработанный в котле-утилизаторе 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 (рис. 13).

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 и электроэнергии и др.

### Выводы

Перспективы применения газотурбинных двигателей и установок в промышленности практически неограниченны. Это подтверждает и тот факт, что производственные мощности ведущих зарубежных фирм загружены уже на несколько лет вперед.

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

В перспективе комплекса – создание 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. В России активную деятельность по созданию двигателя пятого поколения развернули

### Література