

№4 (10) июль–август 2000

Двигатель

Научно–технический журнал



**Новые суда
российского флота
будут ходить
на отечественных двигателях**

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ ЖУРНАЛА "ДВИГАТЕЛЬ"

Абрамов Г.А.,

научный консультант Российского Речного Регистра

Анисин Д.Д.,

зам. руководителя Департамента мореплавания Минтранспорта РФ

Гриценко Е.А.,

ген. конструктор СНТК им. Н.Д. Кузнецова, Самара

Губертов А.М.,

зам. директора ФГУП "Исследовательский центр им. М.В. Келдыша"

Данилов О.М.,

ген. директор ЗАО "Центральная компания МФПГ "БелРусАвто", Москва

Долецкий В.А.,

президент АО "Русские моторы", Ярославль

Жарнов В.М.,

ген. конструктор ПО "Минский моторный завод"

Зазулов В.И.,

гл. конструктор ОКБ "ЭГА", Москва

Каблов Е.Н.,

директор ГНЦ ВИАМ

Каторгин Б.И.,

ген. конструктор, ген. директор НПО "Энергомаш", член-корр. РАН

Клименко В.Р.,

гл. инженер ОАО "Аэрофлот – РМА"

Коржов М.А.,

гл. конструктор двигателей ОАО "АвтоВАЗ", Тольятти

Крымов В.В.,

зам. ген. директора ФНПЦ ММП "Салют" по науке, Москва

Кузнецов А.Н.,

зам. ген. директора Российского авиационно-космического агентства

Кутнев В.Ф.,

зам. ген. директора ГНЦ НАМИ по внешнеэкономическим связям

Леонтьев Н.И.,

ген. конструктор, ген. директор КБХМ им. А.М. Исаева

Муравченко Ф.М.,

ген. конструктор МКБ "Прогресс", Запорожье

Мышелов Е.П.,

декан фак. № 2 МАИ, ректор Международного инженерного университета

Романов В.И.,

ген. директор НПП "Машпроект" им. С.Д. Колосова", Николаев

Скибин В.А.,

директор ГНЦ ЦИАМ им. П.И. Баранова

Степанков В.Г.,

председатель Совета директоров ОАО "Пермский моторный завод"

Троицкий Н.И.,

директор НИИ двигателей

Фаворский О.Н.,

академик, член президиума РАН

Чепкин В.М.,

ген. конструктор ОАО "А. Люлька-Сатурн"

Черный В.С.,

начальник Департамента локомотивного хозяйства МПС РФ

Чуйко В.М.,

президент Ассоциации "Союз авиационного двигателестроения"

Шапошников Е.И.,

советник Президента РФ по авиации и космонавтике

УЧРЕДИТЕЛЬ
ООО "Редакция журнала "Двигатели"

ИЗДАТЕЛЬ
ООО "Редакция журнала "Двигатели"

РЕДАКЦИЯ

Главный редактор

Александр Бажанов

Заместитель главного редактора

Дмитрий Боев

Ответственный секретарь

Александр Медведь

Финансовый директор

Галина Чекина

Редакторы:

Андрей Касьян, Людмила Клименко,

Валентин Шерстянников

Литературный редактор

Лидия Рождественская

Художественный редактор

Людмила Жемуранова

Дизайн и верстка

Александр Коваленко

Техническая поддержка

Александр Бобылев

**В номере использованы
фотографии, эскизы и рисунки:**

Александра Бажанова,

Дмитрия Боева,

Андрея Касьяна,

Александра Медведя,

Виктора Васина - 1 стр. обложки

Адрес редакции журнала "Двигатель":

111250, Россия, Москва,

ул. Авиамоторная, 2

Тел.: (095) 362-39-25

Факс: (095) 362-39-25

E-mail: engine@ilm.net

http://www.engines.da.ru

.....
Рукописи не рецензируются
и не возвращаются.

Редакция не несет ответственности

за достоверность информации

в публикуемых материалах.

Мнение редакции не всегда

совпадает с мнением авторов.

Перепечатка опубликованных

материалов без письменного

согласия редакции не допускается.

Ссылка на журнал при перепечатке

обязательна.

.....
Научно-технический журнал

"Двигатель" ©

зарегистрирован

в Государственном Комитете РФ

по печати

Reg. № 018414 от 11.01.1999 г.

Отпечатано на фабрике офсетной печати

г. Москва

Тираж 5000 экз.

Цена свободная

СОДЕРЖАНИЕ

2 Двигательные проблемы речного флота

Беседа с заместителем министра транспорта
начальником Росречфлота Н. Смирновым

4 Чистота воздушного бассейна над акваторией

М. Андерсен

6 Судовая система аэрозольного объемного пожаротушения

7 Эластомеры для перспективных ДВС

И. Пятов, С. Тихонова

8 Для российского флота

А. Королев, В. Кулабухов, Е. Никитин

12 Реакторы для "золотой рыбки"

А. Маринин

14 Малооборотные дизели для судов речного и смешанного плавания

Ю. Коробков, Е. Васюков

16 Новое приложение сил

Ю. Елисеев, В. Беляев

18 Морские и промышленные газотурбинные установки

В. Романов, Л. Лимборская

22 Пермские двигатели для ТЭК

Ю. Решетников

24 УМПО расширяет сферу применения своих двигателей

В. Лесунов

26 Из истории паровой турбины

Н. Александров

30 Чешские поршневые авиационные двигатели: история продолжается

В. Засадил

32 Семейство ТВ3-117: настоящее и будущее

П. Изотов, Д. Изотов

35 Всероссийская конференция молодых ученых

Е. Джамай

36 Сердце истребителя

А. Николаев

40 Моделирование процессов теплообмена в тепловом аккумуляторе

Н. Давыденко, Ю. Кочетков, В. Кошлаков,
В. Миронов

44 "Чемодан", или два поршня в одном цилиндре

В. Марковский



ДВИГАТЕЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ РЕЧНОГО ФЛОТА

После распада Советского Союза у российского речного флота осталась львиная доля судоходных путей, составляющих сегодня почти 100 тысяч километров. Ходят по ним более 33 тысяч судов, из которых 1300 смешанного плавания - типа "река-море". В последнее время грузооборот на водных артериях страны возрастает, что радует, но одновременно создает речникам определенные проблемы. О путях решения некоторых из них редакция журнала "Двигатель" попросила рассказать заместителя министра транспорта, руководителя Государственной службы речного флота Николая Григорьевича Смирнова.



"Двигатель": Какие изменения произошли в структуре и функциональных обязанностях вашего ведомства с переходом от Министерства к Государственной службе (в плане определения политики судового двигателестроения)?

Николай Смирнов: За длительный период перехода от Министерства к Государственной службе речного флота в функциональных обязанностях ведомства не просто произошли изменения, а эти изменения носили кардинальный характер. Продиктованы они были переменами, произошедшими в экономической политике государства. Все вопросы, которые можно решать без привлечения государства, ушли к новым собственникам. Это было оправданным шагом, поскольку большинство таких вопросов были чисто хозяйственными. Судовладелец, распоряжаясь своей собственностью, вправе самостоятельно выбрать, к примеру, поставщика или марку двигателя для судна.

Однако в силу ряда причин сложилось положение, когда на все крупные транспортные суда, построенные в последние годы, устанавливались дизели только зарубежных производителей. В этой ситуации потребовалось наше вмешательство: в инвестиционных проектах на строительство флота, в которых принимает участие государство, мы предусматриваем применение двигателей отечественного производства. При этом, естественно, рассматриваются только двигатели, удовлетворяющие современным требованиям по экономичности и имеющие экологические параметры на уровне мировых стандартов. И такие двигатели на наших предприятиях пока еще есть. Вот это "пока" нас, потребителей судовых дизелей, весьма беспокоит. Сравнивая продукцию отечественных и западных двигателестроительных фирм, мы видим, что наши предприятия, не имея последние 10 лет инвестиций на развитие, практически остановились в совершенствовании и обновлении номенклатуры производимых двигателей. Лишь немногим из них, использующим ранее накопленный потенциал и частично сохранившим конструкторские кадры, удалось не потеряться, а в ряде случаев и успешно конкурировать с европейскими производителями.

К примеру, Коломенский завод небезуспешно совершенство-

вал ранее существовавший типоразмерный ряд и конвертировал тепловозные двигатели в судовые. И если это предприятие решит вопрос комплектования дизелей реверс-редуктором, то его двигатели будут иметь хорошие перспективы на речном флоте. Такие предприятия, как Нижегородский РУМО или Брянский машиностроительный завод пошли по пути освоения и расширения производства лицензионных машин. К сожалению, из этого ряда выпал "Русский дизель", с которым у речников были связаны большие надежды в период строительства там новых производственных мощностей для изготовления машин по лицензии финской фирмы "Вартсиля".

"Д": Какими рычагами вашей Службы осуществляется техническая политика на речном флоте? Взаимодействуете ли Вы с другими службами Минтранса, МПС и Росавиакосмосом при выработке единого подхода к силовым установкам, например, по вопросам экологии?

Н.С.: В ответе на предыдущий вопрос я затронул эту тему. Несмотря на изменившуюся ситуацию Государственная служба речного флота не осталась в стороне от столь важного вопроса, как оснащение речного флота судовыми дизелями. У нас есть примеры реального воздействия на процесс формирования технической политики двигателестроения. В 90-х годах наше ведомство принимало непосредственное участие в создании новых типов дизельных установок и конвертировании автотракторных и тепловозных двигателей в судовые. Участие в этих работах осуществлялось путем разработки технических требований, руководств по конвертации, рекомендаций по конструктивным решениям. В некоторых случаях Росречфлот осуществлял частичное финансирование работ. Необходимо отметить, что конвертированные двигатели прекрасно зарекомендовали себя и массово применяются на речном флоте.

Еще одним примером реального влияния Службы на процесс формирования технической политики была разработка и строительство на Коломенском заводе по заказу Департамента внутренних водных путей нового четырехцилиндрового судового дизеля размерностью 30/38 для земснаряда. При испытаниях этого



дизеля были получены показатели расхода топлива и объемов выброса вредных веществ, выводящие его на уровень передовых мировых производителей.

Что касается взаимодействия с упомянутыми ведомствами, мы его почти не имеем по той причине, что в этих отраслях сформировались парки двигателей, отличные от нашего.

"Д": Осуществляется ли сертификация новых (отечественных и зарубежных) судовых двигателей и кто ее проводит?

Н.С.: Вопросом сертификации новых судовых двигателей мощностью 55 кВт и выше, как отечественных, так и зарубежных, занимается Российский Речной Регистр. Основные российские предприятия, которые производят дизели, предназначенные для установки на суда речного флота, имеют свидетельство о признании Регистром, и строительство двигателей ведется с обязательным исполнением требований правил и под надзором инспектора Регистра. Зарубежные двигатели также подлежат сертификации в установленном Правилами РРР порядке. В отдельных случаях сертификация иностранных двигателей может осуществляться по поручению Российского Речного Регистра другим классификационным обществом.

"Д": Какое мнение (за долгие годы работы на речном транспорте) сложилось у Вас о судовых двигателях отечественного и зарубежного производства?

Н.С.: Около 30 тысяч дизелей сорока типоразмеров и свыше 300 модификаций - таков дизельный парк на речном флоте. Еще к 90-м годам сложилось соотношение применяемых отечественных и импортных дизелей: примерно 7 к 3. Основными импортными двигателями на речных судах были и остаются дизели немецкого комбината "СКЛ" и чехословацкие двигатели марки "Шкода". Такие характеристики, как расход топлива, экологические показатели, удельная масса отечественных и импортных двигателей в большинстве случаев схожи, но каждый тип двигателей имеет свои преимущества и недостатки. Так, немецкие двигатели отличаются высокой надежностью, а самый массовый двигатель на речном флоте - ЧСП 18/22, производимый хабаровским предприятием "Дальдизель", превосходит другие по ресурсу работы. В целом же большинство дизелей, установленных на судах речного флота, имеют слишком большой удельный расход топлива и значительную удельную массу.

Необходимо отметить следующее обстоятельство: западные дизельстроительные компании в последнее десятилетие совершили значительный рывок в направлении устранения этих недостатков. Каждое из этих предприятий разработало и внедрило в производство целый ряд двигателей, удовлетворяющих современным требованиям по технико-экономическим и экологическим показателям. Если отечественные дизельстроительные предприятия в ближайшие годы не получат значительных инвестиций в отрасль, то они не смогут выжить в конкурентной борьбе.

"Д": Какие типы судов входят в состав речного флота? Какая часть из них оснащена современными двигателями?

Н.С.: Речной флот России насчитывает около 33 тысяч судов, среди которых основными типами являются сухогрузные, наливные, буксирные и пассажирские суда. Средний возраст флота превысил 24 года, соответственно и возраст эксплуатируемых

двигателей близок к этому показателю. Современных двигателей на флоте крайне мало. К их числу можно отнести только установленные на суда недавней постройки, но за последние 10 лет количество строящихся судов заметно уменьшилось. Что касается эксплуатируемых судов, то двигатели на них менялись только в исключительных случаях. Причем иногда в качестве замены использовались автотракторные двигатели, конвертированные в судовые. Суммарное количество новых двигателей не превышает 10% от общего числа.

"Д": Как на судах, так и на берегу, например, в системе подъема воды и поворота створок шлюзов есть еще и электродвигатели. Существуют ли проблемы с ними?

Н.С.: На внутренних водных путях России эксплуатируется более 700 гидротехнических сооружений - это судоходные шлюзы, гидроэлектростанции, насосные станции и т.д. Все сооружения имеют в составе оборудования большое количество дизельгенераторов и электродвигателей. Срок службы основной массы этого оборудования, установленного еще в период строительства гидротехнических сооружений, истек, а некоторые агрегаты, учитывая тяжелый режим работы, физически изношены и подлежат замене.

"Д": Выработывается ли единая политика Государственной службы речного флота и российских судовладельцев относительно судов и двигателей?

Н.С.: Как я уже сказал, средний возраст флота приближается к критическому. Чтобы не потерять позиции на рынке транспортных услуг необходимо проводить обновление флота. Для этого требуются вкладывать значительные средства, возврат которых возможен не ранее чем через 6-8 лет. Государственной службе речного флота совместно с судоходными компаниями приходится вести непрерывную работу с кредитными учреждениями, убеждая их в перспективности вложения средств в судостроение. И в этом вопросе есть определенные успехи, некоторые проекты сейчас находятся в стадии, близкой к реализации. Если нам удастся окончательно решить вопрос с привлечением кредитов на строительство флота, появится перспектива и у предприятий, производящих судовые двигатели.

Что касается определения технической политики в области судостроения, то здесь наше ведомство принимает самое непосредственное участие через разработку нормативно-технической документации, определяющей требования к судам и судовым дизелям. С другой стороны, мы пришли к заключению о чрезмерности некоторых требований, не позволяющих судовладельцам создавать недорогие конкурентоспособные суда. Эта ситуация нас беспокоит и мы работаем над ее разрешением.

"Д": Какие у Вас пожелания разработчикам и изготовителям судов и двигателям к ним?

Н.С.: Росречфлот совместно с судостроительными компаниями разрабатывает программу строительства судов "река-море" плавания в 2001-2005 гг. Хотелось бы, чтобы на этих судах можно было устанавливать отечественные двигатели - экономичные, надежные, долговечные.



Марина Андерсен,

заместитель начальника отдела науки и экологии
Государственной службы речного флота

ЧИСТОТА

По имеющимся данным эксплуатируемый на территории России транспорт сжигает примерно 110...115 млн т топлива и 12...15 млн т смазочного масла.

При этом в атмосферу выбрасывается около 30 млн т вредных веществ, в том числе:

- 15 млн т окиси углерода,
- 12 млн т окислов азота,
- 2 млн т углеводородов,
- 1 млн т сажи.

На долю судов речного флота приходится 0,8 млн т выбросов в атмосферу при потреблении 6,9 млн т топлива.

Несмотря на то, что доля речных судов в выбросах всего транспортного комплекса составляет всего 2,7%, решением проблемы предотвращения загрязнения атмосферного воздуха от судовых двигателей внутреннего сгорания на речном транспорте занимаются уже давно.

Были созданы и внедрены устройства для приготовления водотопливной эмульсии, разработана и апробирована методика прямого впрыскивания воды в цилиндры двигателя, что существенно снизило количество вредных веществ в отработавших газах. Однако указанные способы снижения вредных выбросов оказались малоприменимыми для дизелей, работающих на маневровых режимах (швартовка, отход от причала, пуск и прогрев двигателя), из-за опасности попадания воды в масло двигателя. Поэтому мероприятиям, направленным на снижение загрязнения атмосферного воздуха судами, работающими на этих режимах, уделяется особое внимание. Тем более, что маневровые режимы выполняются на акваториях портов, расположенных в черте населенных пунктов.

Известно, что к основным компонентам вредных выбросов отработавших газов (ОГ) судовых двигателей внутреннего сгорания (СДВС) относятся оксиды азота (NO_x), диоксид углерода (CO_2), угарный газ (CO), диоксид серы (SO_2), углеводороды (HC) и твердые сажистые частицы (S).

Практика показала, что наиболее токсичными компонентами ОГ являются оксиды азота. Известно, что их концентрация в ОГ дизеля зависит от конструкции камеры сгорания: низкооборотные двигатели вырабатывают больше NO_x , чем среднеоборотные или высокооборотные двигатели. Поэтому допустимое количество NO_x для малооборотных дизелей составляет 20 г/кВт·ч, а для среднеоборотных - 10 г/кВт·ч.

До 2000 г. вредные выбросы оксидов углерода и окислов азота дизелей нормировались в соответствии с ГОСТ 24585-81 "Дизели судовые, тепловозные и промышленные. Выбросы вредных веществ с отработавшими газами. Нормы и методы определения". Дымность ОГ определялась и нормировалась в соответствии с ГОСТ 2402В-80 "Дизели судовые, тепловозные и промышленные. Дымность отработавших газов. Нормы и методы измерения". Однако требования этих государственных стандартов распространялись только на заводские стендовые испытания дизелей и не применялись для дизелей в эксплуатации.

С 1 января 2000 г. введен в действие новый государственный стандарт ГОСТ Р 51249-99 "Дизели судовые, тепловозные и промышленные. Выбросы вредных веществ с отработавшими га-

зами. Нормы и методы определения", требования которого допускается распространять на дизели в условиях эксплуатации, в том числе и после капитального ремонта.

Исходя из этого, а также с учетом положений нового Закона "Об охране атмосферного воздуха" № 96-ФЗ от 04.05.99 г. и принятого в сентябре 1997 г. Приложения VI "Правила предотвращения загрязнения воздушной среды с судов" к Международной Конвенции МАРПОЛ 73/78 на речном транспорте продолжены и расширены поисковые работы по созданию эффективных средств для снижения загрязнения атмосферного воздуха. Кроме того, Комитет по внутреннему транспорту Европейской экономической комиссии ООН, в работе которого принимают участие представители Минтранса РФ и Российского Речного Регистра, также рассматривает на своих сессиях проблему предотвращения загрязнения атмосферного воздуха. При этом отмечается экологическое преимущество судов по выбросам углеводородной группы по сравнению с поездами и грузовиками. Одновременно отмечено, что количество выбросов оксидов азота и несгоревших углеводородов напрямую зависит от конструкции двигателя, поэтому судовладельцы не могут оказать существенного воздействия на уровни этих выбросов. Учитывая тот фактор, что внедрение двигателей более совершенной конструкции потребует определенного времени, предлагается предусмотреть поэтапное принятие новых предписаний, касающихся адаптации двигателей применительно к новым требованиям.

Отечественные надзорные органы на водном транспорте (Регистр) совместно с профильными научно-исследовательскими институтами создают новую редакцию технических требований к оборудованию и устройствам судов по предотвращению загрязнения атмосферы.

В настоящее время все технические мероприятия, направленные на снижение вредных выбросов ОГ дизелей можно подразделить на три группы:

- совершенствование конструкции дизелей и точная регулировка параметров;
- применение каталитических нейтрализаторов и других средств очистки ОГ;
- улучшение состава топлива.

В свою очередь из мероприятий первой группы можно выделить основные наиболее эффективные:

- изменение угла опережения впрыскивания топлива (его

ВОЗДУШНОГО БАССЕЙНА НАД АКВАТОРИЕЙ



уменьшение приводит к снижению NO_x , но влечет за собой увеличение удельного расхода топлива. Так, 10-процентное снижение уровня NO_x вызовет дополнительно 2-процентное увеличение расхода топлива);

- управление подачей топлива (для управления началом подачи топлива с целью снижения NO_x и концом топливopодачи с целью снижения выбросов сажи перспективно применение электронных топливных систем, которые в настоящее время в отечественном дизелестроении находятся в стадии внедрения);

- изменение степени сжатия (повышение с 13 до 16);

- повышение давления впрыскивания топлива (увеличение числа сопловых отверстий распылителя форсунки с одновременным уменьшением их диаметра приводит к более однородному распыливанию топлива и улучшению смесеобразования, в результате чего содержание NO_x падает);

- изменение параметров наддувочного воздуха и коэффициента избытка воздуха (уменьшение температуры наддувочного воздуха с одновременным увеличением давления наддувочного воздуха и коэффициента избытка воздуха приводит к снижению выбросов NO_x).

Нейтрализация газов путем удаления токсичных составляющих с помощью химических реакций в нейтрализаторе является эффективным способом решения проблемы комплексной очистки отработавших газов, нашедшим широкое применение на автотранспорте. Однако с помощью нейтрализаторов, применяемых для автомобильных дизелей, нельзя решить проблему комплексной очистки ОГ судовых дизелей, так как находящаяся в дизельном топливе даже в малых количествах сера существенно ухудшает надежность и срок службы нейтрализатора. Поэтому в судовых энергоустановках в настоящее время применяются конструкции нейтрализаторов, где в качестве средства для снижения NO_x используется аммиак или мочевины. За рубежом для снижения NO_x в судовых установках используются системы с впрыскиванием мочевины. Однако эти системы сложны, дорогостоящи (до 15 % стоимости силовой установки) и крупногабаритны, что затрудняет их размещение в машинных отделениях речных судов. Основным конструкционным материалом нейтрализатора и фильтра-катализатора, предлагаемого для судов речного флота, является блочная сотовая высокопористая и термостойкая керамика. Ее важнейшим достоинством считается не только способность улавливания твердых аэрозольных частиц сажи и тяжелых углеводородов (НС) на фильтре при всех режимах работы двигателя, но и способность реген-

ерации и самоочистки в температурном окне работы катализатора (250...450 °С) без существенного ухудшения газодинамического сопротивления. Стендовые испытания макета нейтрализатора показали, что он позволяет снизить концентрацию NO_x на 20...30 %, а СО и легких углеводородов на 40...60 %.

В настоящее время готовятся дополнительные испытания в судовых условиях нейтрализаторов конструкции ЦНИДИ и "Эко-нейтраль". Относительная стоимость этих устройств применительно к наиболее распространенным на речном флоте двигателям 6Ч 15/18 и 6Ч 18/22 составляет соответственно 13 и 7 %. Кроме того, указанным нейтрализаторам свойственна простота конструкции и малые габариты, позволяющие свободно размещать их на речных судах всех типов. Проведенные научно-исследовательские изыскания показали, что из всех способов предотвращения образования вредных веществ в дизелях наиболее универсальным является сжигание топлива в виде водотопливной эмульсии (ВТЭ), причем этот способ хорошо подходит для судовых условий. При работе двигателя на ВТЭ (содержание воды в топливе 15...40 %) в результате улучшения полноты сгорания дымность ОГ снижается в 2...3 раза и на 20...30 % сокращаются выбросы оксидов азота. Однако на холостом ходу и при малых нагрузках дизеля применение ВТЭ создает совокупный отрицательный эффект.

Известно, что все технологии уменьшения NO_x связаны с удорожанием стоимости дизелей в изготовлении и некоторым ростом расходов на обслуживание при эксплуатации. По данным научных исследований увеличение стоимости малотоксичной модификации дизеля по сравнению со стоимостью базового дизеля может достигать \$10 тыс. Московской государственной академией водного транспорта разрабатываются рекомендации по средствам снижения вредных выбросов с учетом типа судна и основных параметров ДВС, установленных на них.

Учитывая, что по медицинским нормам наибольшими показателями относительной опасности обладают окислы азота (41,1 усл.т/т), сернистый газ (16 усл.т/т) и сажа (41,5 усл.т/т), основные научно-исследовательские работы на речном флоте направлены на снижение выбросов указанных веществ. В частности, для снижения NO_x предлагается применение системы частичной рециркуляции ОГ, а для снижения продуктов неполного сгорания топлива - метод каталитической нейтрализации ОГ (фильтр-нейтрализатор). Дооборудование судового двигателя внутреннего сгорания мощностью 100 кВт приводит к его удорожанию на \$2 тыс.



5. Переход на природный газ (снижение выбросов сажи-стых частиц в два раза). Применение природного газа совместно с рециркуляцией и использованием нейтрализатора приводит к снижению выбросов оксидов азота примерно в 10 раз и сажи-стых частиц в 2 раза.

6. Установка временного ограничителя хода рейки топливного насоса высокого давления (снижение дымности на переходных режимах: максимальной примерно в 2 раза, суммарной на 40 %).

7. Применение системы частичной рециркуляции (снижение выбросов оксидов азота ОГ) и метода каталитической нейтрализации ОГ фильтром-нейтрализатором (снижение выбросов продуктов неполного сгорания топлива). Это эффективно для двигателей речных судов мощностью 100...200 кВт.

8. Прямой впрыск воды и другие мероприятия, которые могут быть реализованы в основном на этапе проектирования и изготовления двигателя и его систем. Для существующего парка двигателей этот путь неприемлем из-за существенных финансовых затрат и значительного объема работ, связанных с заменой целых агрегатов и систем.

Следует отметить, что в настоящее время не существует комплексной оценки (или критерия) эффективности методов (средств) улучшения экологических показателей судовых дизелей. Представляется целесообразным в комплексной оценке учитывать стоимость самих устройств и величину предотвращенного ущерба, хотя методы оценки последней недостаточно отработаны.

Имеющиеся методики позволяют сделать только относительные оценки эффективности средств снижения выбросов, поэтому дальнейшей задачей научно-исследовательских организаций и надзорных органов является создание системы комплексной оценки предлагаемых методов и средств улучшения экологических показателей судовых дизелей при их эксплуатации.

Мероприятия, направленные на снижение выбросов в атмосферу судовыми дизелями на речном флоте можно ранжировать в следующем порядке:

1. Использование трехкомпонентного каталитического нейтрализатора на двигателях, работающих на дизельном топливе (снижение оксидов азота).

2. Применение водотопливной эмульсии в дизелях, работающих на тяжелом топливе (снижение выбросов продуктов неполного сгорания - оксидов азота).

3. Десятипроцентная рециркуляция выпускного газа (снижение выбросов оксидов азота приблизительно на 30 % без существенного изменения расхода топлива, но с некоторым возрастанием дымности).

4. Уменьшение угла опережения подачи топлива (снижение оксидов азота до 10...30 % при незначительном увеличении дымности на 2...5 % и ухудшении экономичности на 4...5 %). Данный способ может быть рекомендован только для судов, работающих в густонаселенных пунктах.

СУДОВАЯ СИСТЕМА АЭРОЗОЛЬНОГО ОБЪЕМНОГО ПОЖАРОТУШЕНИЯ

"Непреодолимые силы стихии и непредвиденные на море случаи", - такова одна из формулировок Страхового Регистра Ллойда, объясняющая причины гибели судна. Можно до бесконечности совершенствовать технику, однако пока она работает в реальном мире, взаимодействует с другими объектами и управляется человеком, случайность остается одним из важнейших факторов, влияющих на судьбу судна и его экипажа.

Статистические данные свидетельствуют о том, что пожар на борту не является редким явлением. Плавсредства подвержены этой опасности даже в большей степени, чем береговые сооружения, поскольку в море немногочисленный экипаж не может рассчитывать на помощь со стороны. Рост энергонасыщенности современных кораблей и судов дополнительно обостряет проблему. Достаточно напомнить, что из четырех потерянных отечественных атомных подводных лодок по меньшей мере две ("К-8" и "К-278") погибли из-за пожаров.

После запрещения Монреальским протоколом использования и производства озоноразрушающих хладонов на-

чались интенсивные разработки альтернативных средств пожаротушения. Вскоре российскими специалистами были созданы генераторы огнетушащего аэрозоля, обеспечивающие эффективное подавление возгораний жидких и твердых горючих материалов.

В 1993-1996 гг. НПО "Каскад" совместно с ОАО "Гранит-Саламандра" разработало систему аэрозольного объемного тушения (АОТ) пожаров в судовых помещениях, которая прошла комплексные межведомственные испытания и опытную эксплуатацию на судах, поднадзорных Российского морского регистра судоходства (РМРС). Система АОТ судовых помещений выпускается серийно, имеет сертификат типового одобрения РМРС и допуск РРР, рекомендована Министерством транспорта РФ для установки на морских судах.

В настоящее время судовая система аэрозольного объемного пожаротушения установлена более чем на пятидесяти судах: морских, речных и смешанного плавания. Система АОТ компактна, практически не требует эксплуатационных расходов, не оказывает воздействия на озоновый слой Земли, не способствует возникновению парникового эффекта. Стоимость системы, включая проектную документацию, монтаж и сдачу "под ключ" на 30...40 % ниже стоимости газовой системы аналогичного назначения.

Судовая система АОТ способна надежно и эффективно защитить суда от одного из самых страшных бедствий на море - пожара.



ЗАО НПО "Каскад".
196128, Россия, Санкт-Петербург,
Московский пр-кт, 149-В.
Тел.: (812) 298-4114.
Факс: (812) 298-0864.
E-mail: firm_kaskad@mail.lansk.net

ООО "РЕАМ-РТИ":

Иван Пятов, генеральный директор

Светлана Тихонова, главный технолог

ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ДВС

Применение в современных двигателях внутреннего сгорания (ДВС) наддува, впрыска топлива под высоким давлением, малосернистого дизельного топлива и многого другого потребовало при конструировании использования новых материалов, в том числе резинотехнических изделий (РТИ). Основное назначение последних - уплотнение подвижных и неподвижных соединений (коленчатого вала, клапанов, топливоподающей аппаратуры, трубопроводной арматуры и т.д.).

Для России особенно актуально применение в двигателях резинотехнических (эластомерных) изделий универсального климатического исполнения, физико-механические свойства которых должны обеспечивать:

- работу в широком температурном диапазоне от -50 до +200 °С для манжет коленчатого вала и клапанов и до +240 °С для гильз цилиндров и клапанов рециркуляции отработавших газов;

- низкие коэффициенты статического и динамического трения;
- стойкость к выдавливанию в уплотняемый зазор при давлении до 160 МПа;

- совместимость с новыми смазочными и охлаждающими материалами, содержащими антиоксиданты, противоизносные, моющие, антивспенивающие и другие присадки.

Исследования - наши и нефтяной компании "Лубризол" - показывают, что многие традиционные резиновые композиции на основе фторкаучуков (типа Viton, FKM, отечественных смесей на основе СКФ-26, СКФ-32) не позволяют обеспечить надежную герметизацию как при температурах ниже -35 °С, так и при длительной работе в условиях высоких температур (выше 180 °С).

В настоящее время среди направлений создания новых рецептур резиновых композиций особенно эффективными являются:

- специальные композиции на основе нитрильно-бутадиеновых каучуков (NBR) для длительной работы в моторных маслах при температурах до 150...160 °С и гидрированных нитрильно-бутадиеновых каучуков (HNBR) - до 185 °С;

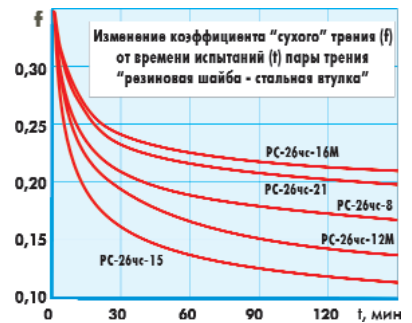
- специальные маслостойкие композиции на основе силиконовых каучуков для длительной работы в минеральных нефтяных моторных маслах при температурах до 240 °С и горячем воздухе до 300 °С;

- специальные композиции на основе фторэластомеров (например композиции Fluorel фирмы Dupont) для длительной работы в минеральных нефтяных и синтетических моторных маслах, а также горячем воздухе при температурах до 300 °С.

Современные рецептурные подходы к созданию эластомерных композиций позволяют расширить функциональные свойства РТИ - достаточно длительно выдерживать режимы масляного (жидкостного) голодания благодаря включению своеобразных "депо" для противозадирных и антифрикционных ингредиентов (см. график).

Эластомерные композиции РС-26ч и РС-40ч, созданные РЕАМ-РТИ, успешно заменяют фторкаучуковые смеси при низкотемпературных применениях, а по длительной стойкости в средах до температуры 150 °С превосходят их. Композиция РС-26ч-5 обеспечивает динамический коэффициент сухого трения "резина-сталь" ниже 0,3. Это позволило создать РТИ, предназначенные для замещения импортных изделий в топливной аппаратуре, газовых клапанах высокого давления, оборудовании нефтегазового комплекса.

Для производства маслостойких силиконовых изделий используются высококачественные импортные кремнеорганические каучуки фирм Wacker Chemie, Dow Corning, General Electric. РТИ на их основе превосходят по ряду функциональных качеств фторкаучуки в таких изделиях, как уплотнения маслосъемных колец автомобильных и авиационных роторно-поршневых двигателей СКБ РПД Вазы, маслоотражательные колпачки дизелей. Из-за того, что силиконовые композиции часто несовместимы с синтетическими моторными маслами, используемыми для высокофорсированных по температуре двигателей, для их защиты применяется "капсулирование" - изготовление по специальной технологии оболочек из фторэластомеров.



СООТНОШЕНИЕ СТОИМОСТЕЙ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ЭЛАСТОМЕРОВ

Тип эластомера	NBR	Силиконовый каучук	HNBR	Фторэластомеры
Цена изделия, %	100	200	300	500...1000

105188, Россия, Москва, ул. Щербаковская, д.57а, офис 413.

Тел./Факс: (095) 232-94-55; 369-43-16; 369-08-79.

E-mail: reamt@glasnet.ru; reamt@online.ru

РЕЗИНОВЫЕ СМЕСИ ООО "РЕАМ-РТИ"

Шифр резиновой смеси	Тип каучука	Назначение РТИ	Условия работы		Отличие от серийных аналогов	Серийные аналоги
			Среда	Температурный интервал использования, °С		
РС-26ч	СКН-26	Формовые уплотнители неподвижных и подвижных соединений, работающих при статической и динамической деформации. Диафрагмы гидрозачисты, сальфоны торцевых уплотнений погружных насосов	Воздух, масла, топлива, пластовая жидкость	-50...+150 (-60...+170)* Кратковременно до +180	Повышена теплостойкость, морозостойкость, стойкость к "кессонному" эффекту. Снижено накопление остаточной деформации (Кв**= 0,6 при -40 °С) и набухание в рабочих средах	3826с 9831 В-14
РС-26ч-5	СКН-26	Уплотнители подвижных и неподвижных соединений	Воздух, масла, топлива, вода, литол	-50...+150 (-60...+170)*	Улучшены антифрикционные свойства (повышена стойкость к "сухому" трению, уменьшено трение стравливания, снижен коэффициент трения и износ)	3826с ИРП-1078
РС-26ч-21	СКН-26	Уплотнители подвижных и неподвижных соединений	Воздух, масла, топлива, вода, литол	-50...+150 (-60...+170)*	То же. Высокая абразивостойкость	3826с ИРП-1078
РС-26ч-65	СКН-26	Уплотнители подвижных и неподвижных соединений	Воздух, масла, топлива, воде, литол	-50...+150 (-60...+170)*	То же	3826с ИРП-1078
РС-СИЛ	СКТВ	Уплотнители неподвижных соединений (формовые и неформовые)	Воздух с объемным содержанием озона. Электрическое поле	-80...+250 Кратковременно до +300	Стойкость к минеральным маслам и смазкам	ИРП-1401
РС-40ч	СКН-40	Уплотнители неподвижных и ограниченно подвижных соединений	Воздух, топлива, масла, вода, слабые растворы кислот и щелочей	-50...+150 (-55...+170)* Кратковременно до +180	Повышены теплостойкость и стойкость к "кессонному" эффекту. Снижено накопление остаточной деформации (Кв**= 0,5 при -40 °С) и набухание в рабочих средах	3825 4004
РС-ВА	СКФ-26	Уплотнители неподвижных и ограниченно подвижных соединений	Воздух, топлива, масла, смазки, слабые растворы кислот и щелочей	-20...+250	Повышена эластичность, снижено накопление остаточной деформации и набухание в рабочих средах	ИРП-1287

Примечание: * - для специальных исполнений; ** - коэффициент эластичного восстановления.



ДЛЯ РОССИЙСКОГО ФЛОТА

ОАО ХК "Коломенский завод":

Александр Королев,
генеральный директор
Владимир Кулабухов,
технический директор
Евгений Никитин,
главный конструктор

Становление и развитие Коломенского завода (ныне открытое акционерное общество - холдинговая компания "Коломенский завод") непосредственно связаны с судостроением России. Основанный в 1863 г. для возведения железнодорожного моста через Оку, завод быстро развивался. Уже в 1878 г. был построен первый "мелкосидящий пароход", который использовался заводом для доставки стальных заготовок с Кулебакинского горного завода Нижегородской губернии. Успешная эксплуатация этого парохода и полученные заказы на другие явились толчком к быстрому развитию судостроения, и уже в 1881 г. были изготовлены три буксира, а в 1882 г. построен первый пассажирский пароход. С 1883 г. начато сооружение морских паровых шхун, предназначенных для перевозки керосина и нефти по Каспийскому морю.

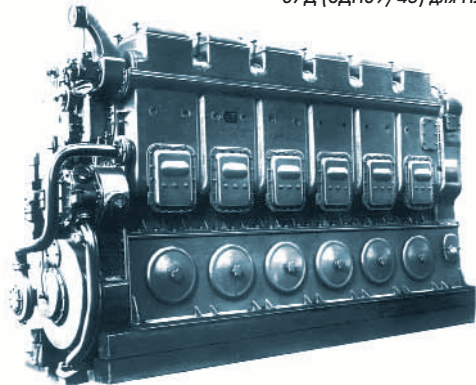
Новым мощным импульсом развития судостроения на заводе явилось освоение производства двигателей внутреннего сгорания. В июне 1902 г. "Русское общество моторов Дизеля" продало Коломенскому машиностроительному заводу права пользования патентами №№ 261, 4082 и 4083. Эти права распространялись на "моторы постоянные и переменные всех величин и сил, какие могут быть осуществлены". В том же 1902 г. на Коломенском заводе был создан отдел тепловых двигателей Дизеля и насосов. Работники завода переработали полученные чертежи, и уже в 1903 г. был построен первый одноцилиндровый дизель мощностью 18 л.с. (13,2 кВт).

Конструкторы отдела разработали одно-, двух-, четырех- и шестицилиндровые двигатели мощностью от 10 до 750 л.с., которые выпускались заводом до Первой мировой войны. Коломенские дизели, отличавшиеся удачной конструкцией и качеством исполнения, пользовались широким спросом для нужд электростанций, мельниц, горнорудной промышленности, судостроения. В 1907 г. завод построил колесный буксир "Мысль" с дизелем мощностью 300 л.с. На судне впервые в мире была применена оригинальная система передачи с реверсом хода, разработанная и изготовленная заводскими специалистами по проекту инженера Р.А. Корейво.

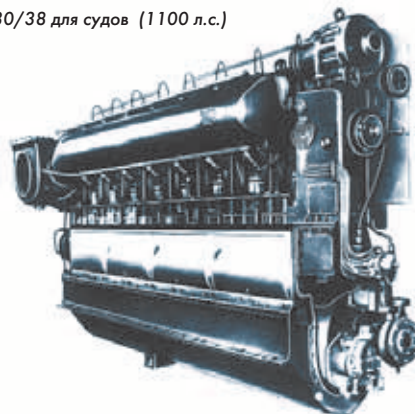
В этот период завод изготавливал дизели не только для судов собственной постройки, но и получал заказы со стороны. Так, в 1908 г. по заказу морского министерства были построены 16 четырехцилиндровых дизелей мощностью по 259 л.с. для канонерских лодок типа "Шквал", которые строились на Балтийском заводе для Амурской флотилии.

Следует отметить, что к 1910 г. уже сложилось серийное производство дизелей, 57 % которых (по суммарной мощности) были судовыми. Не случайно в мае 1910 г. на международной выставке двигателей внутреннего сгорания в Петербурге министерство торговли и промышленности наградило Коломенский завод большой золотой медалью "За организацию производства двигателей внут-

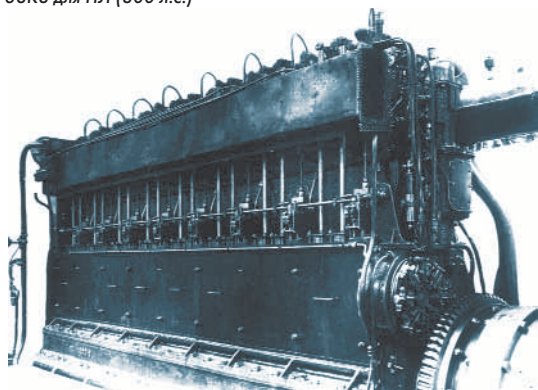
37Д (6ДН39/45) для ПЛ (2000 л.с.)



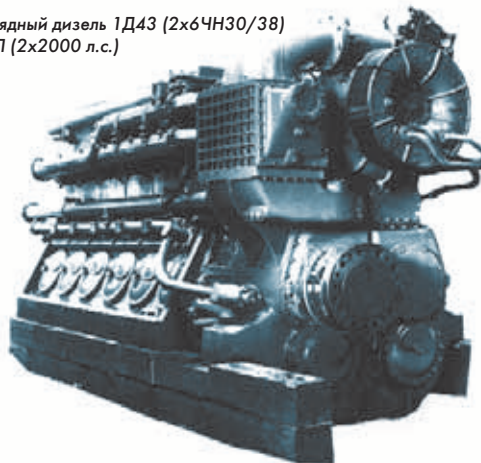
8ЧНР30/38 для судов (1100 л.с.)



38К8 для ПЛ (800 л.с.)



Двухрядный дизель 1Д43 (2x6ЧН30/38)
для ПЛ (2x2000 л.с.)



Дизельная подводная лодка с двигателем Коломенского завода



ренного сгорания в применении к судовым целям". В 1912 г. на международной выставке в Турине за новую конструкцию дизеля завода была присуждена Большая премия.

Значительным этапом в развитии судостроения был спуск на воду в 1912 г. двухвинтового теплохода "Бородино", на котором впервые была применена комплексная энергетическая установка, состоявшая из двух главных шестицилиндровых реверсивных дизелей 15Д6 мощностью по 600 л.с. и двух вспомогательных дизелей мощностью по 30 л.с. для внутреннего энергоснабжения.

Всего до 1917 г. завод построил 64 теплохода собственной конструкции с дизелями суммарной мощностью 44 475 л.с.

В 1924 г. с целью быстрого восстановления после Гражданской войны заводу было разрешено заключить лицензионный договор с немецкой фирмой MAN на постройку безнаддувных дизелей 42БМ (45/42) и дизеля размерностью 30/38. Полученная конструкторская документация была переработана и освоено производство дизелей 38В8 мощностью 685 л.с. и 38К8 мощностью 800 л.с. Кроме того, была разработана конструкция и освоено производство дизеля 1Д с газотурбинным наддувом мощностью 2000 л.с.

Этими двигателями оснащались большинство подводных лодок, выпускавшихся до и во время Великой Отечественной войны, в том числе и подлодка С-13, которой командовал А.И. Маринеско.

Незадолго до Великой Отечественной войны был разработан и запущен в производство восьмицилиндровый четырехтактный реверсивный дизель 9Д размерностью 30/38 с газотурбинным наддувом. Его номинальная мощность составляла 1100 л.с. при частоте вращения коленчатого вала 600 об/мин, расход топлива 180 г/л.с.ч, удельная масса 10,6 кг/л.с. Он нашел широкое применение на морском флоте.

Заметной вехой в развитии судового дизелестроения на заводе является создание и серийное производство двухтактного дизеля 37Д размерностью 39/45 с прямоточно-клапанной продувкой. Его создание было начато в 1942 г., а в 1950 г. уда-

лось наладить серийное производство. Было выпущено 1250 двигателей этой размерности, в том числе реверсивных. Этот дизель определил развитие целого поколения судов специального назначения, среди которых были подводные лодки проектов 611, 613, 633, 641 и 629.

В 50-е годы была завершена прерванная войной доводка оригинального двухтактного V-образного реверсивного дизеля 30Д с прямоточной клапанно-щелевой продувкой мощностью 2000 л.с. По своим массогабаритным показателям он превосходил лучшие зарубежные образцы аналогичного класса. На базе 30Д были разработаны и запущены в серийное производство следующие варианты дизеля размерностью 23/30 (всего их выпущено свыше 1000 экземпляров):

- судовой реверсивный дизель 40Д с газотурбинным наддувом (отмечен Большой золотой медалью ВДНХ в 1960 г.);
- судовой дизель 10Д40 для речных буксиров-толкателей;
- 16-цилиндровый судовой дизель-генератор 6ДГ мощностью 1500 кВт со встроенным мультипликатором (устанавливался на научно-исследовательских судах типа "Космонавт Юрий Гагарин").

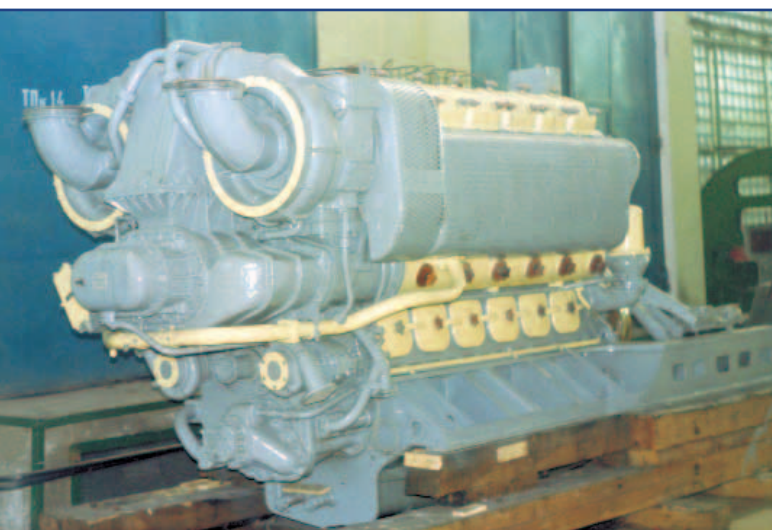
Наиболее массовыми дизелями Коломенского завода стали судовые двигатели размерностью 30/38. Их изготовили уже более 2600 единиц. Современные двигатели этого типа имеют модульную конструкцию, подвесные коленчатый вал и втулки цилиндров, обеспечивающие высокую эффективность производства, эксплуатации и ремонта. Сегодня выпускаются варианты дизелей с одно- и двухступенчатым газотурбинным наддувом и охлаждени-

КОЛОМЕНСКИЕ ДИЗЕЛИ ПОДВОДНЫХ ЛОДОК (довоенной и военной постройки)

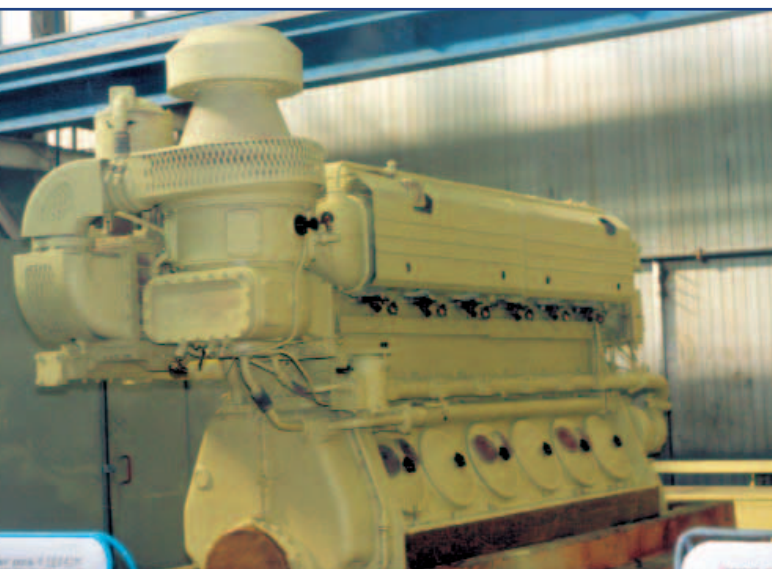
Тип подводной лодки, серия	Построено	Тип дизеля	Количество и мощность дизелей, л.с.
"Декабрист", I серия	6	42БМ	2x1100
"Ленинец", II, XI, XIII серии	19	42БМ	2x1100
"Ленинец", XIIIбис серии	5	1Д	2x2000
"Щука", V серия	39	38В8	2x685
"Щука", X серия	43	38К8	2x800
"Малютка", VI серия	50	38В8	1x685
"М", XII серия	40	38К8	1x800
"С", IX серия	40	1Д	2x2000



4CH30/38 установлен на земснаряде



4QDM (12VДНР23/30) (2500 л.с.)



Д42 (6CH30/38) удостоен государственной премии

ем наддувочного воздуха. В эксплуатации на кораблях и судах 39 проектов находятся более 700 двигателей 25 модификаций. Из них 15 % эксплуатируются за рубежом. Основное применение - корабли ВМФ, где двигатели эксплуатируются преимущественно

в тяжелых специфических условиях при большом противодавлении на выхлопе.

Дизели размерностью 30/38 в качестве главных и вспомогательных силовых установок эксплуатируются также на плавкранах, буксирах-спасателях, полупогруженных и плавучих буровых установках, на судах рыбопромыслового флота в составе дизель-генераторов и пропульсивных установок. В настоящее время автоматизированные главные установки изготавливаются как в реверсивном, так и в неревверсивном исполнении, со встроенным редуктором и без него. Так, на правительственной яхте "Россия" установлены два автоматизированных реверсивных дизеля ЗД42 номинальной мощностью по 1500 л.с. Коломенские двигатели размерностью 30/38 соответствуют требованиям Морского Регистра и выпускаются под его надзором. Их конструкция является патентно чистой.

Дважды, в 1971 и 1984 гг., за создание двигателей 30/38 и их модификаций группам специалистов завода присуждались Государственные премии СССР. Конструкция дизелей 30/38 постоянно совершенствуется на основе опыта эксплуатации и дальнейшего развития с учетом современных достижений отечественного и зарубежного дизелестроения.

За последние годы заводом создано новое поколение судовых рядных двигателей размерностью 30/38:

- в четырехцилиндровом исполнении (10Д42) - номинальной мощностью 450 кВт при 360 об/мин;
- в шестицилиндровом исполнении - номинальной мощностью 1500 кВт (30ДГ) и 1750 кВт (30ДГМ);
- в восьмицилиндровом исполнении (ЗДРА) - полной мощностью 1838 кВт при частоте вращения вала отбора мощности встроенного редуктора 250 об/мин.

Важнейшими особенностями этих двигателей являются:

1. Высокая надежность и износостойкость деталей и сборочных единиц, обеспечиваемые применением прогрессивных технологических процессов:
 - азотирования коленчатых валов и втулок цилиндров;
 - хромирования поршневых колец;
 - покрытия тронка поршней дисульфидом молибдена;
 - дробнаклепа рабочих профилей и впадин зубчатых колес, стержней шатунов;
 - суперфиниширования цапф шестерен встроенных редукторов и шеек коленчатых валов;
 - специальной механотермической обработкой выпускных клапанов из жаропрочного никелевого сплава типа "Нимоник";
 - трехкомпонентного "оловянно-свинцовистого" гальванического покрытия тонкостенных коренных и шатунных подшипников с подслоем никеля и др.

2. Большие назначенные ресурсы, которые в зависимости от степени форсирования составляют:

- до первой переборки - 15 000 ч;
- до капитального ремонта - 75 000 ч;
- до списания - 120 000 ч при сроке службы до 30 лет.

3. Значительная степень форсирования с освоением среднего эффективного давления 23,4 бар (30ДГМ) по условиям ИСО.

4. Высокая топливная экономичность. Расход топлива при условии ИСО 3046/1 составляет 178...185 г/кВт·ч.

5. Малый удельный расход масла - не более 1 г/кВт·ч.

6. Высокие экологические показатели, соответствующие нормам Международных Морских организаций по токсичности ОГ.

Технико-экономические показатели базовых двигателей нового поколения 30/38 подтверждены испытаниями, в том числе ресурсными. По оценке межведомственных комиссий, принимавших эти двигатели, они не уступают лучшим зарубежным образцам. Большое внимание было уделено унификации внутри этого ряда, которая составляет более 70 %.

Подтверждена возможность эксплуатации двигателей на моторных топливах вязкостью до 180 сСт при 50 °С и с содержанием серы до 1,5 %. Предусмотрена эксплуатация также на импортных маслах, топливах и присадках к воде.

С целью обеспечения стабильности технологии сборки и каче-

ства, повышения удобств и снижения трудозатрат при обслуживании и ремонте двигатели комплектуются гидравлическими и механическими (с планетарной передачей) приспособлениями для тарированной затяжки ответственных соединений.

Имеющийся научно-технический и производственный потенциал позволяет заводу предложить для проектирования новых судов и замены двигателей других фирм двигатели 30/38 с современными технико-экономическими показателями в следующих исполнениях:

- в четырехцилиндровом (в диапазоне мощностей 450...1450 кВт);
- в шестицилиндровом (800...2170 кВт);
- в восьмицилиндровом (1150...2800 кВт).

Частота вращения коленчатого вала для всех исполнений составляет 300...750 об/мин. Разработаны также V-образные модификации дизелей этой размерности.

Двигатели могут быть выполнены:

- автоматизированными;
- нереверсивными для работы на реверс-редуктор (встроенный или отдельно стоящий);
- с реверсом для работы непосредственно на винт фиксированного шага;
- с непосредственным реверсом и встроенным редуктором с различным расположением фланца отбора мощности относительно оси коленчатого вала и различными частотами вращения вала отбора мощности или для работы на отдельно стоящий редуктор;
- с картером "сухого" или "мокрого" типа и со свободным сливом масла;
- с правым и левым направлением вращения;
- в составе дизель-генераторов с агрегатным размещением установочного оборудования.

Проработана установка двигателей на судовой фундамент как с жестким креплением, так и через опорные и упорные виброизоляторы. Специалисты завода имеют опыт и необходимую квалификацию, позволяющую им качественно выполнять расчеты на крутильные колебания судового валопровода и амортизационного крепления как для разрабатываемых судов, так и для модернизируемых.

В 80-е годы на заводе создан уникальный по своим возможностям мощностной ряд четырехтактных дизелей размерностью 26/26. При высокой экономичности и хороших массогабаритных показателях эти дизели имеют широкий диапазон мощностей (от 360 до 5000 кВт) и выпускаются в четырех- и шестицилиндровом рядном, а также в восьми-, двенадцати-, шестнадцати- и двадцатицилиндровом исполнении V-образной компоновки.

На базе этих двигателей в качестве судовых заводом в настоящее время серийно выпускаются дизель-генераторы типа 22ДГ мощностью до 1000 кВт с 8-цилиндровыми и 69ДГ мощностью 2094 кВт с 16-цилиндровыми дизелями.

По результатам анализа рынка судовых дизелей Коломенский завод ведет работы по созданию дизель-реверс-редукторных агрегатов и дизель-генераторов с четырех- и шестицилиндровыми двигателями размерностью 26/26 рядного исполнения. Базовые модели дизелей этого ряда имеют одобрение Регистра. При необходимости по заданию конкретного заказчика могут поставляться главные судовые дизели и дизель-генераторы во всем диапазоне мощностного ряда.

Использование подобных агрегатов, а также агрегатов на базе дизелей размерностью 30/38 позволяет полностью решить проблему замены импортных двигателей в речных судах и на су-



Коломенские дизель-генераторы устанавливались на плавучие буровые установки...



...и корабли ВМФ

дах типа "река-море". Гарантийное и сервисное обслуживание судовых двигателей организовано дочерним предприятием ЗАО "Дизельсервис".

Богатейший опыт создания и поставки двигателей для судов морского, рыболовного и кораблей военно-морского флота, а также имеющийся производственный и технический потенциал позволяет ОАО ХК "Коломенский завод" успешно участвовать в программе возрождения флота России.

**ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
ХОЛДИНГОВАЯ КОМПАНИЯ "КОЛОМЕНСКИЙ ЗАВОД"**
Россия, 140408, Коломна, Московская обл., ул. Партизан, д. 42.
Тел.: (096) 13-81-52
Факс: (096) 13-80-32

DIGEST

FOR RUSSIA FLEET

Setting-up and progress of Kolomna facility (today known as the open joint-stock company - "Kolomensky Zavod" Holding Company) are directly related to Russia shipbuilding. At the beginning of the XX c., Kolomna diesel engines distinguished by a successful design structure and workmanship were widely used in power stations, mills, mining industry, and shipbuilding.

In 1924, aiming at speedy completion of restoration after the Civil War, the facility entered into a license agreement with MAN Company from Germany. Most of Soviet submarines built in the pre-war period and World War II years were powered by Kolomna diesels.

The diesel design structure was being continuously improved with due account of accumulated experience and achievements of Russian and foreign engine manufacturers. Twice, in 1971 and in 1984, Kolomna employees were awarded the USSR State Prizes for manufacturing of ship diesel engines.

Profound experience and knowledge in the development and deliveries of engines for sea ships, fishing vessels and Russia Navy as well as available engineering and technical potential make "Kolomensky Zavod" Co. an active member in the program of Russia fleet revival.

РЕАКТОРЫ ДЛЯ "ЗОЛОТОЙ РЫБКИ"

Александр Маринин



"Золотая рыбка" возвращается в базу

Первая американская и советская атомные подводные лодки (АПЛ), как известно, оснащались паропроизводящими установками с водо-водяными реакторами. Однако уже на второй АПЛ "Сивулф" американские конструкторы применили реактор с жидкометаллическим теплоносителем (ЖМТ). Рассматривались и другие схемы, в том числе так называемый "кипящий" реактор, реактор с газовым теплоносителем, однако достоинство реактора с ЖМТ оказались наиболее привлекательными. Во-первых, металлический теплоноситель позволяет иметь в первом контуре достаточно высокую температуру при относительно небольшом давлении. Благодаря этому можно было увеличить температуру в паропроизводящем контуре, что способствовало достижению высокого к.п.д. установки в целом. Во-вторых, давление в этом контуре принималось значительно более высоким, чем в первом, поэтому негерметичности первого контура не приводили к быстрому радиоактивному загрязнению пара. В-третьих, большая теплоемкость металла принципиально способствовала уменьшению габаритов и массы реактора.

В Советском Союзе разработка судового реактора с ЖМТ была задана постановлением ЦК КПСС и Совмина от 22 октября 1955 г. Постановление предусматривало создание опытной АПЛ проекта 645 с двухреакторной паропроизводящей установкой. Корпус лодки, как и все основные системы (помимо реакторов), предстояло "позаимствовать" от серийной лодки проекта 627.

Работы по техническому проекту АПЛ были закончены осенью 1956 г., через год подготовили рабочие чертежи, а 15 июня 1958 г. на предприятии СМП в Северодвинске заложили опытный атомход. Спустя пять лет АПЛ проекта 645, которой был присвоен тактический номер К-27, вступила в состав ВМФ. Подобно кораблям 627-го проекта, новая лодка предназначалась, в основном, для борьбы с надводными кораблями противника при действиях на большом удалении от базы.

В отличие от АПЛ проекта 645 реакторы расположили в четвертом отсеке (у предшественницы - в пятом). Перемещение тяжелых реакторов ближе к носу корабля позволило улучшить дифферентовку, однако в результате принятого решения центральный пост стал соседствовать с реакторным, что усложнило обеспечение радиационной безопасности. Входившие в состав главной энергетической установки ядерные реакторы ВТ-1, созданные подольским ОКБ "Гидропресс" при научном руководст-

ве Физико-энергетического института (Обнинск), имели суммарную мощность 146 МВт. Паротурбинная установка лодки выполнялась двухвальная, каждая из двух паровых турбин имела номинальную мощность 17 500 л.с.

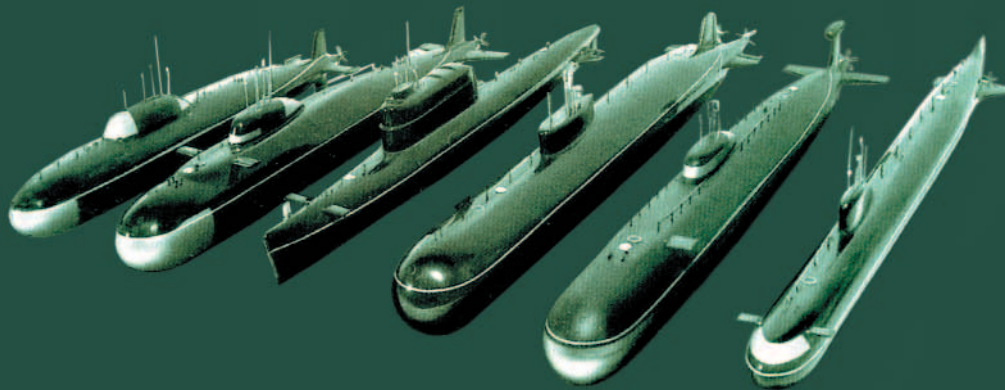
На своей лодке американцы применили в качестве ЖМТ натриево-калиевый сплав, активно, с большим выделением тепла, реагирующий при соприкосновении с водой. Отечественные конструкторы остановились на сплаве свинец-висмут с температурой плавления 398 К. Температура теплоносителя на выходе из реактора составляла 713 К., а температура перегретого пара во втором контуре - 628 К. Реакторы обладали определенными преимуществами по сравнению с традиционными водо-водяными. В частности, их расхолаживание в случае перерыва в электропитании осуществлялось путем естественной циркуляции, без использования насосов.

Лодку обеспечивали электроэнергией два автономных турбогенератора мощностью по 1600 кВт. В частности, от них запитывались так называемые "двигатели подкрадывания" ПГ-116, позволявшие скрытно сблизиться с объектом атаки (основные сильно шумящие турбозубчатые агрегаты при этом отключались). В отличие от АПЛ проекта 627 резервная дизель-электрическая установка у К-27 отсутствовала.

После вступления в строй лодка совершила два дальних похода, выявивших как положительные, так и отрицательные стороны применения судовых реакторов с ЖМТ. Трудности были преимущественно эксплуатационные. Так, выяснилось, что сплав свинец-висмут постепенно зашлаковывался, что требовало его периодической замены. С учетом того, что отработанный сплав был загрязнен высокоактивным полонием-210, пришлось создать специальные дистанционно управляемые устройства для приема теплоносителя. Даже при стоянке в базе, а также при доковании следовало постоянно поддерживать температуру в первом контуре выше температуры застывания ЖМТ, что создавало определенные неудобства для экипажа.

В мае 1968 г. К-27 в очередной раз вышла в море. Уже при возвращении на лодке произошла тяжелая радиационная авария, в результате которой погибло девять членов экипажа атомхода. После аварии восстанавливать К-27 не стали, и после 13-летнего отстоя в резерве лодка была затоплена в Карском море.

Однако опыт эксплуатации судовых реакторов с ЖМТ в нашей стране не был признан однозначно отрицательным (в отличие от США). В 1959 г. А.Б. Петров, один из ведущих специалистов ленинградского КБ, проектировавшего АПЛ, предложил идею малогабаритной высокоскоростной лодки, отличавшейся исключительно высокой по тем временам степенью автоматизации. По его замыслу она должна была стать своеобразным "подводным истребителем-перехватчиком" неприятельских субмарин. Идею поддержали на самом высоком уровне. В частности, ее сторонниками были министр судостроения Б.Е. Бутома и главком ВМФ С.Г. Горшков. 23 июня 1960 г. вышло совместное постановление ЦК КПСС и Совмина о постройке АПЛ проекта 705. Об исключительном внимании "сверху" к оригинальному кораб-



Некоторые отечественные АПЛ (слева направо): проект 705 ("Альфа"), 671 ("Виктор" I), 629 ("Гольф"), 661 ("Папа"), 671 ("Виктор" III) и 627 ("Новембер")

**ЧИСЛО АТОМНЫХ ПОДВОДНЫХ ЛОДОК,
ПОСТРОЕННЫХ В СССР И США**

Период	СССР	США
1955-1960	8	14
1961-1965	31	42
1966-1970	47	36
1971-1975	49	18
1976-1980	40	10
1981-1985	25	29
1986-1990	27	16

лю свидетельствовало и второе постановление от 25 мая 1961 г., разрешившее конструкторам при наличии достаточных оснований отступать от норм и правил, принятых в военном кораблестроении.

Общее руководство программой осуществлял академик А.П. Александров, главным конструктором был назначен М.Г. Русанов. Для достижения 40-узловой скорости требовалась исключительно мощная, и, вместе с тем, малогабаритная и легкая энергетическая установка. Выполненные расчеты убедительно свидетельствовали, что применение реактора с ЖМТ позволяло сэкономить 300 т водоизмещения по сравнению с традиционным водо-водяным реактором. Созданием энергетической установки для АПЛ проекта 705 занялись два коллектива: подольское ОКБ "Гидропресс" и горьковское ОКБМ.

Первоначальный проект предусматривал комплексную автоматизацию большинства систем АПЛ, и, благодаря этому, - исключительно малую численность экипажа из 16 человек. Столь "экстремистское" предложение не нашло отклика у руководства ВМФ, настоявшего на увеличении состава экипажа до 29 специалистов - только офицеров и мичманов. Лодка имела всего один обитаемый отсек, а прямо над ним - впервые в мире - аварийную всплывающую камеру, обеспечивавшую спасение всего экипажа с глубин вплоть до предельной, при значительных крене и дифференте.

Опытную лодку проекта 705 (тактический номер К-64) заложили на ленинградском Адмиралтейском объединении в июне 1968 г., а спустя три с половиной года корабль прибыл на Северный флот, вступив в его состав 31 декабря 1971 г. Эта лодка имела энергетическую установку, разработанную горьковским ОКБМ. С самого начала эксплуатации К-64 преследовали неудачи и аварии, крупнейшая из которых привела к застыванию теплоносителя и полному выходу из строя реактора. В августе 1974 г. лодку вывели из боевого состава флота, а еще до этого приостановили и всю программу строительства серии (к этому времени в Ленинграде и Северодвинске на стапелях находились еще пять аналогичных кораблей).

Состоявшийся "разбор полетов" на самом высоком уровне привел к отказу от варианта горьковчан в пользу энергетической установки БМ-40А мощностью 150 МВт, разработанной в Подольске. Она оказалась гораздо более надежной, во всяком случае, на построенных впоследствии шести АПЛ усовершенствованного проекта 705К по причине радиационных аварий не погиб ни один моряк.

Лодки проекта 705К были приняты флотом в 1977-1981 гг. Их оценки разными специалистами варьировались от весьма положительных ("золотая рыбка", "упущенная жар-птица") до резко негативных. Названные на Западе "Альфами", эти АПЛ могли часами висеть на хвосте у НАТОвских субмарин, не позволяя им ни оторваться, ни контратаковать, ведь их маневренность и скорость

были куда выше, чем у оппонентов. Благодаря особенностям энергетической установки "семьсот пятые" обладали исключительно высокими разгонными и маневренными характеристиками. Для разворота на 180° при максимальной скорости лодке требовалось всего 42 с. Первому командиру первой АПЛ проекта 705К капитану 2 ранга А.Ч. Аббасову за успешное освоение корабля принципиально нового типа в 1984 г. было присвоено звание Героя Советского Союза.

Вместе с тем, оригинальность конструкции неизбежно предполагала и наличие изрядной "ложки дегтя". Западные специалисты неизменно критиковали "Альфы" за высокую шумность, почти не-



Схема подлодки проекта 705

избежную при движении АПЛ с высокой подводной скоростью. Не преминул упомянуть об этом Том Кленси в своей крайне тенденциозной книге "Охота за "Красным Октябрем". Но более существенными опять-таки оказались эксплуатационные проблемы: необходимость постоянного поддержания реактора в "теплом" состоянии, периодической регенерации и замены ЖМТ. Флоту не удалось отладить на практике внешне весьма привлекательную систему эксплуатации лодки двумя экипажами - "морским" и "береговым". В результате карьера АПЛ проекта 705 была непродолжительной - все они, кроме одной, были выведены из боевого состава флота уже к 1990 г. Последней "Альфой" в составе российского ВМФ осталась головная серийная лодка К-123, списанная в 1997 г.

И все же, по мнению специалистов Физико-энергетического института, опыт эксплуатации корабельных реакторов с ЖМТ позволяет рекомендовать подобные системы для использования на перспективных АПЛ.

**ОСНОВНЫЕ ТАКТИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ОТЕЧЕСТВЕННЫХ АПЛ С РЕАКТОРАМИ С ЖМТ**

Характеристика	Проект 645	Проект 705К
Длина наибольшая, м	109,8	81,4
Ширина наибольшая, м	8,3	10,0
Средняя осадка, м	5,8	7,6
Водоизмещение нормальное, т	3414	2300
Запас плавучести, %	28	37
Глубина погружения, м:		
рабочая	240	350
предельная	300	400
Скорость подводного хода, узлов	28	41
Автономность, суток	50	50
Число торпедных аппаратов	4 x 533 мм	6 x 533 мм
Экипаж, чел	89	32

DIGEST

Clear technical advantages of nuclear reactors with liquid-metal heat-transfer agents aroused considerable interest among the USA and Soviet shipbuilders engaged in the development of nuclear submarines. The US shipbuilders restricted their manufacturing to only one experimental submarine. The USSR manufactured eight submarines including six series submarines of 705K project. Owing to their combat performances, these submarines were called "Gold Fish" but hanging problems of the original powerplant operation caused a removal of 705 submarines from the USSR Navy service.

However, in view of Physical Power Institute, the accumulated experience in operation of the reactors with liquid-metal heat-transfer agent makes possible to recommend similar systems for advanced nuclear submarines.

NUCLEAR REACTORS FOR "GOLD FISH"

В качестве силовых установок на судах малого и среднего водоизмещения, предназначенных для речного, смешанного ("река-море") и каботажного плавания, до последнего времени преимущественно использовались дизель-редукторные установки с четырёхтактными среднеоборотными двигателями. Стремление повысить пропульсивные качества судов указанных типов при малых диаметрах и высоких частотах вращения гребных винтов, а также необходимость маневрирования на малых ходах способствовали широкому распространению на них двухвальных установок. Однако к концу 80-х годов чрезмерная трудоёмкость их обслуживания послужила причиной наметившегося перехода к одновальным установкам с непосредственной передачей мощности малооборотных двухтактных дизелей на гребной винт.

МАЛОБОРОТНЫЕ ДИЗЕЛИ ДЛЯ СУДОВ РЕЧНОГО И СМЕШАННОГО ПЛАВАНИЯ



Юрий Коробков,
главный инженер ОАО "Брянский
машиностроительный завод"
Евгений Васюков,
главный инженер ОАО "БМЗ-Дизель"

Суда типа "река-море" составляют ядро грузового речного флота и значительную часть времени они эксплуатируются в открытом море. Постройка российских судов такого типа с дизельными энергоустановками в истекшем десятилетии осуществлялась на отечественных и зарубежных верфях по 25 проектам, 14 из которых предусматривали применение одновальной установки и, преимущественно, среднеоборотных дизелей. Последнее обстоятельство является, вероятно, определенной данью традициям.

В широкой гамме малооборотных дизелей семейства МС, выпускаемых Брянским машиностроительным заводом по лицензии MAN B&W Diesel A/S (Дания), имеются двигатели, представляющие несомненный интерес для проектировщиков судов нового поколения.

В наибольшей степени это относится к дизелю типа S26MC с уникально малым для малооборотных двигателей диаметром цилиндра (26 см). Достоинствами дизеля являются небольшие размеры, подходящая частота вращения, высокие топливная экономичность и надёжность. Он открывает перед владельцами малых судов и эксплуатационниками привлекательные перспективы использования всех коммерческих и технических преимуществ малооборотных двигателей.

S26MC представляет собой двухтактный крейцкопфный двигатель с непосредственной передачей на гребной винт фиксируемого или регулируемого шага. Дизель выпускается как в реверсивном, так и в неревверсивном варианте. Он надёжно работает в любых климатических условиях, приспособлен к эксплуатации в составе полностью автоматизированных судовых энергетических установок с дистанционным управлением и безвахтенным обслуживанием. S26MC может использовать дешёвые высоковязкие (до 700 сСт при 50 °С) сорта жидкого топлива и принадлежит к числу наиболее совершен-

ных и эффективных современных промышленных двигателей: удельный расход топлива на экономичных режимах работы составляет всего 127 г/э.л.с.ч (173 г/кВт.ч).

Номинальная цилиндровая мощность двигателя S26MC - 400 кВт/цил. при 250 об/мин (табл. 1), но в зависимости от требований конкретного проекта судна сочетание спецификационных значений мощности и частоты вращения может выбираться в широком диапазоне: мощность - от 275 до 400 кВт/цил., а частота вращения вала - от 212 до 250 об/мин. При этом важно подчеркнуть, что путем подбора соответствующих значений мощности и частоты вращения вала двигатель можно оптимизировать по расходу топлива, обеспечив снижение удельного расхода на величину до 5 г/л.с.ч по сравнению с номинальным значением. В зависимости от числа цилиндров (от 4 до 12) двигатель может иметь мощность в диапазоне от 1100 до 4300 кВт.

Двигатели типа S26MC удовлетворяют требованиям всех классификационных морских (речных) обществ и могут поставяться с сертификатом любого из них.

На 1 сентября 2000 г. лицензиатами фирмы MAN B&W Diesel A/S получены заказы на 184 двигателя типа S26MC, из которых 160 уже эксплуатируются, а остальные находятся в процессе производства или поставки. Брянский машиностроительный завод изготовил 15 таких дизелей в 6-цилиндровом исполнении (6S26MC). Десять них были поставлены в Австрию на верфь Oswag для строительства серии лесовозов типа "Капитан Ярцев" дедвейтом 2300 т. Сейчас они успешно эксплуатируются Северным морским пароходством. На построенных судостроительным заводом "Океан" (Николаев) и эксплуатирующихся за рубежом сухогрузах смешанного плавания дедвейтом 4000 т установлены четыре двигателя 6S26MC. Помимо этого, установка таких двигателей

предусматривалась при проектировании лесовоза дедвейтом 2200 т для Балтийского морского пароходства, универсальных судов для Украинского Дунайского пароходства, танкера смешанного плавания дедвейтом 4000 т, проект которого разрабатывался по заказу компании "Лукойл", и ряда других судов.

В табл. 2 приведены характеристики двигателя 6S26MC последней модификации Mk VI в сравнении с лучшими четырёхтактными дизелями зарубежных фирм. Отметим ряд факторов, свидетельствующих в пользу малооборотного дизеля: самый низкий удельный расход топлива, наибольший моторесурс, малую частоту вращения, исключаящую необходимость установки громоздкого и дорогостоящего понижающего редуктора, невысокое значение среднего эффективного давления.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИЗЕЛЕЙ ТИПА S26MC

Таблица 1

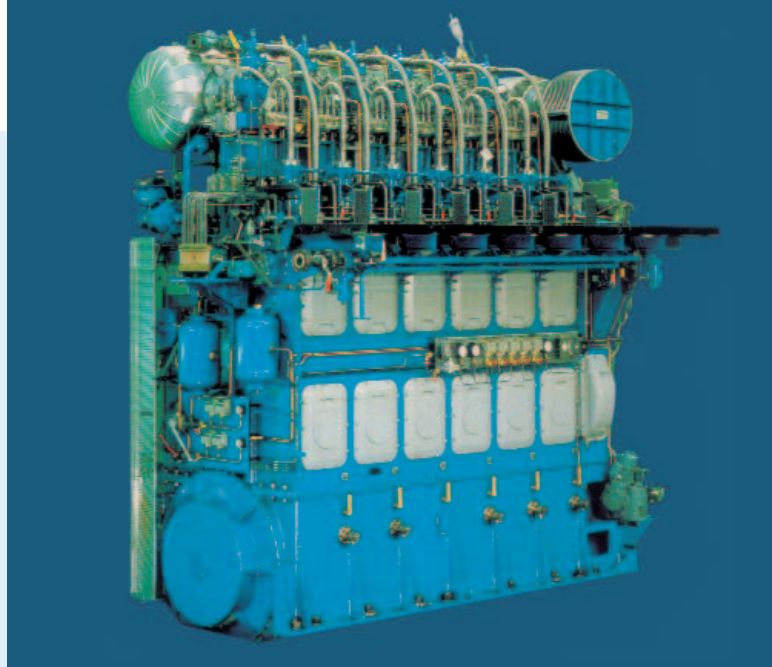
Число цилиндров	Номинальная мощность		Номинальная частота вращения	Номинальный удельный расход топлива		Сухая масса	Длина двигателя			
	кВт	л.с.		г/кВт.ч	г/л.с.ч					
4	1600	2130	250	179	132	32	2975			
5	2000	2725				37	3465			
6	2400	3270				42	3955			
7	2800	3815				43	4445			
8	3200	4360				53	4935			
9	3600	4905				53	5425			
10	4000	5450				63	6405			
11	4400	5995				74	6395			
12	4800	6540				79	7335			
Ширина двигателя по раме фундамента 1880 мм, высота 4760 мм										

Приведенные технико-экономические показатели, а также более простые конструктивные принципы двухтактных крейцкопфных двигателей обеспечивают несомненные экономические преимущества. Для обслуживания в условиях ограниченного по высоте машинного отделения таких двигателей, более крупногабаритных по сравнению с традиционными среднеоборотными дизелями, могут применяться хорошо известные в судостроении double-jib краны.

К числу важнейших характеристик главного судового двигателя относят его экологические свойства. Принятое в сентябре 1997 г. в Лондоне Приложение VI к Конвенции MARPOL 73/78 устанавливает предельно допустимые уровни эмиссии окислов азота (NO_x) с выпускными газами для двигателей семейства S26MC (14,9 г/кВт·ч). Проведенные совместно с фирмой MAN B&W Diesel A/S экологические сертификационные испытания этого дизеля на стенде ОАО "БМЗ" зафиксировали интенсивность выбросов на уровне 10,9 г/кВт·ч, что свидетельствует о наличии значительного эксплуатационного запаса по эмиссии.

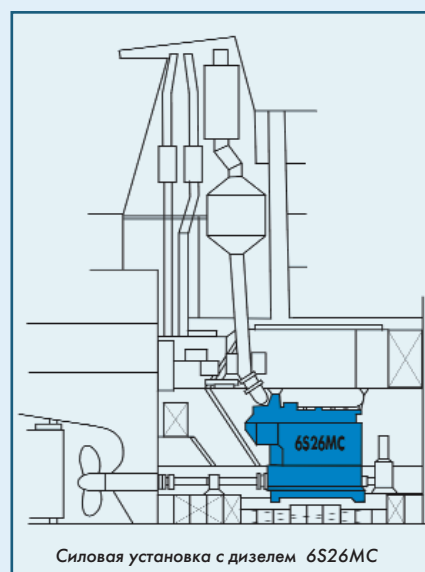
Как правило, на малотоннажных судах типа "река-море" устанавливается валогенератор. В случае работы двигателя S26MC на винт фиксированного шага валогенератор подсоединяется к двигателю через повышающий редуктор, обеспечивающий максимальную частоту вращения генератора в диапазоне от 1200 до 1500 об/мин. Привод не имеет специального устройства управления частотой, что является приемлемым для большей части потребителей на борту судна. При работе главного двигателя в нормальном эксплуатационном диапазоне мощностей (60...100 % номинальной мощности), соответствующем частоте вращения вала от 85 до 100 %, обеспечивается частота тока порядка 50...60 Гц, что удовлетворяет требованиям классификационных обществ. Судовая электростанция получается простой, а электроэнергия - дешевой, что способствует сокращению эксплуатационных расходов по судну. На нагрузках ниже 60 % номинальной мощности и в период маневров потребности в электроэнергии покрываются небольшими высокооборотными дизель-генераторами. Переход от одной системы электроснабжения к другой может осуществляться системой автоматики.

Заметим, что расходы на запасные части, а также потребное время для технического обслуживания двухтактного малооборот-



ного дизеля S26MC приблизительно вдвое меньше, чем у четырехтактных двигателей-конкурентов.

Таким образом, использование малооборотных двухтактных дизелей, отличающихся высокой топливной экономичностью, минимальными эксплуатационными расходами и высокой долговечностью, является перспективным направлением дальнейшего совершенствования силовых установок судов речного и смешанного плавания.



Силовая установка с дизелем 6S26MC

ХАРАКТЕРИСТИКИ ГЛАВНЫХ СУДОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ МОЩНОСТЬЮ 2300...2700 кВт

Таблица 2

Марка дизеля. Обозначение	Мощность	Частота вращения	Расход топлива	Расход цилиндрического масла	Среднее эффективное давление	Интервал между переборками	Ресурс до капитального ремонта	Масса дизеля	Удельная масса дизеля	Габариты (длина x ширина x высота)
	кВт	об/мин	г/кВт·ч	г/кВт·ч	бар	тыс. ч	тыс. ч	кг	кг/кВт	мм
SKL 9VDS29/24 94H24/29	2350	1000	185	0,7	24,0	12	50	16 000	6,8	5800x1500 x2825
Wartsila 6R32 64H32/35	2430	720	187	1,2	24,0	8	64	26 000	10,7	5845x1905 x3480
Krupp MaK 8M25 84H25,5/40	2400	760	184	0,9	23,5	9...12	36...45	24 000	10,0	5810x2129 x3353
Deutz MWM 8BV12M628 64H24/28	2700	1000	193	1,0	21,3	24	36	16 300	6,0	4343x1941 x2681
БМЗ-MAN B&W 6S26MC 6ДКРН26/98	2400	250	176	0,96...1,5	18,6	6...8	90	42 000	17,5	3955x1880 x4760

DIGEST

LOW-SPEED DIESEL ENGINES FOR SEA AND RIVER VESSELS

Recently, geared diesels with four-cycle mid-speed engines were commonly used as powerplants of ships with low and middle-displacement designed for river, mixed (river-sea) and coasting navigation. By late 1980s, their time and labor consuming maintenance caused switching to single-shaft powerplants with a direct power transmission of low-speed two-cycle engines to a propeller. Today, Bryansk machine-building facility is manufacturing a number of engines licensed by MNA BSW Diesel A/S, Denmark, which are very attractive from a designer's view point as the powerplants for vessels of a new generation. This is also true for 526NC diesel engine, which is distinguished by small overall dimensions, low rotational speed, high fuel efficiency and reliability. It opens up fresh opportunities for owners and operators to take technical and economic advantages of low-speed engines.

НОВОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ СИЛ

ФНПЦ "ММПП "САЛЮТ":

Юрий Елисеев,

генеральный директор

Вячеслав Беляев,

главный конструктор промышленных ГТУ

Пережив глубокий кризис 90-х годов, Федеральный научно-производственный центр "ММПП "Салют" не только восстановил объем производства и численность работников, но и создал конструкторское бюро. Его руководству была поставлена задача поиска новых направлений по применению накопленного технического и творческого потенциала завода.



Во второй половине 90-х годов на основе результатов анализа состояния завода, ситуации в промышленности России и перспектив развития было решено, что наиболее близкой продукцией, которую завод может освоить, практически не перевооружаясь, являются газотурбинные установки (ГТУ) для промышленного применения. Такими агрегатами могут оснащаться газотурбинные электростанции, газоперекачивающие установки, морской и железнодорожный транспорт.

Тем не менее, прежде чем что-то сделать в "металле" требовалась конструкторская проработка, поэтому в апреле 2000 г. было создано КБ промышленных ГТУ. Для его укомплектования пригласили ведущих специалистов, работавших в этой области на предприятиях Москвы, Санкт-Петербурга, Николаева, Перми и Тюмени. Такое решение оказалось исключительно своевременным: жажда проектирования после длительного перерыва и сознание ответственности помогли сплотить коллектив, подвигли на самоотверженный труд, результатом которого стали не кипы никому не нужной макулатуры, а изготовленные "в металле" устройства. Испытания и усовершенствование проводились немедленно. Высокие темпы работ позволили за сравнительно короткое время добиться неплохих результатов. Завершен проект силовой турбины СТ-20, применение которой совместно с газогенератором двигателя АЛ-21 образует привод электрогенератора мощностью 20 МВт. Выполнен проект газоперекачивающего агрегата мощностью 12,5 МВт. Сейчас идет подготовка производства этих изделий.

Совсем новым направлением для ММПП "Салют" стала разработка газотурбинных установок для морских судов. Высококласными специалистами КБ на инициативной основе был выполнен проект энергетической установки для железнодорожного паромов. Этот паром должен обслуживать часть нового торгового пути из Европы в Индию и Индокитай. Новизна заключается в том, чтобы грузы от отправителя до заказчика доставлялись без промежуточных перевалок в железнодорожных вагонах. Путь пролегает через Астрахань, там вагоны загружаются на паром и через Каспийское море доставляются в Иран. После пересечения страны идет повторная загрузка на паром,

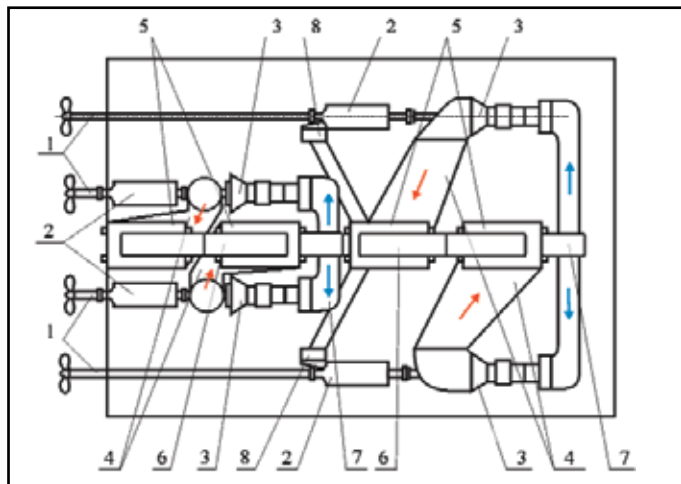
и далее через Индийский океан груз отправляется в Индию и Индокитай. Для обеспечения бесперебойной доставки грузов проектом предусматривается строительство 8-10 железнодорожных паромов.

Высокая скорость паромов (35 узлов) и большая грузоподъемность (300 вагонов) потребовали создания силовой установки с уникальными параметрами: мощностью не менее 220 МВт на 4 винта и коэффициентом полезного действия более 50%. Движение в каналах и маневрирование, в том числе причаливание, должны выполняться с реверсированием вращения винтов, причем для движения задним ходом требовалось обеспечить мощность не менее 6 МВт. Снижение мощности не допускалось даже при повышении температуры воздуха до 45 °С.

МАШИННОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

1. Вал
2. Редуктор с главным упорным подшипником
3. Газотурбинный двигатель
4. Газоход
5. Котел утилизационный
6. Контактный конденсатор
7. Подвод воздуха
8. Реверсивный двигатель

Рис. 1



Коллектив КБ справился с поставленной задачей. Был подготовлен эскизный проект машинного отделения железнодорожного парома (рис. 1). Энергоустановка каждого винта включает в себя газотурбинный двигатель, котел-утилизатор двух давлений, паровую турбину и контактный конденсатор (устанавливается в газоходе над машинным отделением). Мощность от силовой турбины через редуктор передается на винт. Одновременно выхлопные газы газотурбинного двигателя создают в котле-утилизаторе пар высокого давления, поступающий в паровую турбину, которая подкручивает компрессор газотурбинного двигателя.

В данной энергетической установке предусмотрена подача пара в газотурбинный двигатель. При этом одна часть пара высокого давления температурой 250 °С после паровой турбины используется для охлаждения турбокомпрессора (расход 5 кг/с), а другая часть (10 кг/с) повторно поступает в котел-утилизатор, где перегревается, а затем впрыскивается в камеру сгорания газотурбинного двигателя. Пар низкого давления используется для охлаждения силовой турбины. Производительность котлов позволяет без ущерба для энергетического цикла снабжать паром и горячей водой вторичных потребителей парома.

Для возврата воды, поступившей в виде пара в проточную часть газотурбинного двигателя, за котлом-утилизатором установлен контактный конденсатор. В нем выхлопные газы охлаждаются до температуры 60 °С, при этом содержащаяся в них вода конденсируется. В энергетической установке для исключения отложения солей используется дистиллированная вода, охлаждение которой осуществляется в теплообменнике забортной водой. При температуре забортной воды < 30 °С в системе происходит накопление дистиллированной воды, так как кроме впрыскиваемого в газотурбинный двигатель пара в выхлопных газах присутствует "дополнительная" вода, образующаяся в камере сгорания при сжигании органического топлива.

Для поддержания мощности энергетической установки при повышенных температурах воздуха используется дополнительный впрыск воды на входе в компрессор: так, при температуре воздуха 45 °С расход 1 кг/с воды дает прибавку мощности до 7 МВт.

Накопление дистиллированной воды в цистернах позволяет энергетической установке работать без снижения мощности даже тогда, когда температура воды превышает +30 °С и воздуха +45 °С, хотя по климатическим условиям района плавания такие температуры ожидаются нечасто.

Для маневров при причаливании используются два газотурбинных реверсивных двигателя мощностью по 6 МВт, подключенные к переборам бортовых редукторов. Высокоэффективный газовый реверс газотурбинных двигателей (рис. 2) позволяет производить реверсирование во всем диапазоне мощности с переднего на задний ход за 3...5 с. В этом случае экраны экономичного хода постоянно подняты, и реверсирование осуществляется только переключением клапаном, который может быть поставлен в любое промежуточное положение. Это позволяет плавно, без скачков изменять скорость и направление вращения винта, что делает удобным причаливание. Существует такое положение клапана, при котором мощность на валу равна нулю ("стоп винт"). При этом режим работы двигателя не меняется.

При движении по каналам и в проливах, когда требуется длительная работа на переднем ходу, экраны экономичного хода обоих двигателей опускаются. В этом случае к.п.д. переднего хода повышается на 5 %.

Редуктор энергетической установки железнодорожного парома спроектирован по многопоточной схеме, что позволило снизить его габариты до 2 м в диаметре.

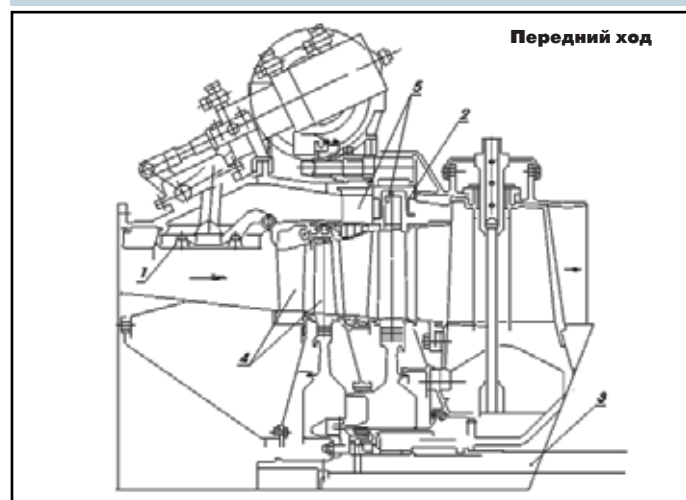
Высокие удельные показатели позволили уменьшить габариты всех узлов установки. Размещение энергетических агрегатов не вызвало трудностей. В машинном отделении осталось много места для вспомогательного оборудования. Доступ ко всем узлам во время эксплуатации свободен. При необходимости любой узел может быть демонтирован и заменен новым. Масса всего оборудования не превышает 1000 т.

По всем показателям данный проект является уникальным. Предложения других компаний по созданию энергетической установки для железнодорожного парома конкуренции не составили.

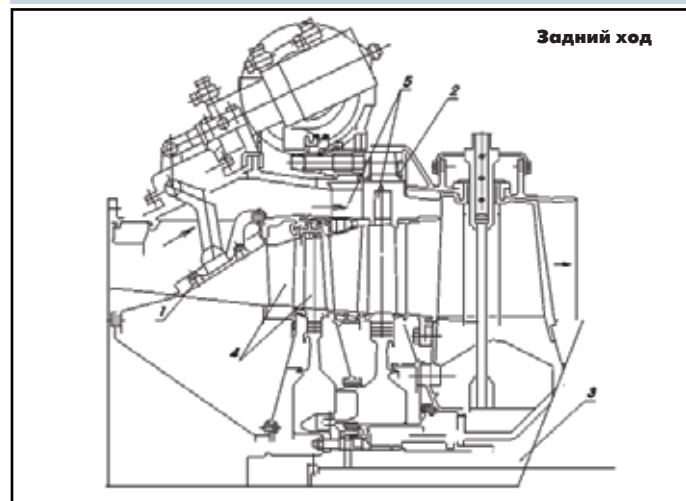
ФНПЦ "ММП" "САЛЮТ" готов взять на себя функции генерального поставщика аналогичной энергетической установки для других судов морского и речного плавания.

СИЛОВАЯ ТУРБИНА РЕВЕРСИВНОГО ТИПА МОЩНОСТЬЮ 6 МВт

Рис. 2



1. Клапаны перезапуска газа 2. Экраны экономичного хода
3. Ротор 4. Лопатки переднего хода 5. Лопатки заднего хода



DIGEST

A new line of business at "Salute" MMPP is the development of GTEs for sea vessels. A new project of a powerplant development for a railway ferry has been just completed. A high-speed of the railway ferry (35 knots) and a high load carrying capacity (300 cars) are provided by the powerplant developing 200 MW for 4 propellers at over 50 % efficiency. Moreover, a decrease in power with an air temperature increase to 45 °C was unacceptable.

The powerplant for each propeller includes a gas-turbine engine, a waste-heat boiler, a steam turbine and a contact condenser. The power turbine transmits power through a gearbox to the propeller. Exhaust gases of the GTE produce high-pressure steam in the waste-heat boiler. Steam enters the steam turbine, which drives the GTE compressor. The boiler capacity makes possible to supply steam and hot water to secondary systems without losses in the engine cycle. Also, steam is used for turbocompressor cooling, injecting into the GTE combustion chamber, and power turbine cooling. At elevated air temperatures a high power is supported by water injection into the compressor.

"Salute" MMPP is ready to bear full responsibilities as a general supplier of similar powerplants to other sea and river ships.

МОРСКИЕ И ПРОМЫШЛЕННЫЕ ГАЗОТУРБИННЫЕ УСТАНОВКИ

НПП "Машпроект":

Виктор Романов,

генеральный конструктор - генеральный директор

Людмила Лимборская,

руководитель рекламной группы

Научно-производственное предприятие "Машпроект" создавалось как специальное конструкторское бюро (СКБ ГУ), организованное в 1954 г. для проектирования и изготовления корабельных газотурбинных установок Военно-Морского Флота СССР. За прошедший период им создано четыре поколения газотурбинных двигателей, более 30 главных корабельных и ускорительных установок для 29 проектов кораблей и два малогабаритных газотурбогенератора для пяти проектов кораблей. Более чем на 60 % кораблей ВМФ бывшего СССР, от малых десантных кораблей на воздушной подушке до крейсеров включительно, применены газотурбинные установки, разработанные НПП "Машпроект". Шесть проектов кораблей с ГТУ эксплуатируются в составе ВМФ Болгарии, Румынии, Польши, Югославии, Индии и других стран.

В середине 60-х гг. судостроительные ЦКБ наряду с проектированием водоизмещающих кораблей (ВК) начали разработку кораблей с динамическими принципами поддержания

Для решения этой проблемы была сформулирована концепция создания мощного ряда унифицированных высокоэкономичных двигателей, отвечающих требованиям кораблей всех классов. Основной путь совершенствования ГТД определялся повышением начальной температуры газа и степени повышения давления воздуха, увеличением окружных скоростей рабочих лопаток компрессоров и турбин. Удельная масса двигателей стала на уровне авиационных благодаря применению высоконагруженных одноступенчатых турбин, двухопорных роторов ТКВД, противоточной камеры сгорания, использования новых материалов, покрытий и технологий. Для сокращения срока разработки двигателей была создана специальная научно-исследовательская база для поузловой доводки и стендовой проверки характеристик двигателей в условиях, моделирующих эксплуатационные.

Это позволило создать унифицированные двигатели 3-го и 4-го поколений, пригодные для кораблей всех типов и применения в народном хозяйстве.

Ракетный катер "Молния" с газотурбинной установкой мощностью 34 000 л.с.



Корабль на подводных крыльях "Сокол" с газотурбинной установкой мощностью 5000 л.с.



Десантный корабль на воздушной подушке "Зубр" с газотурбинной установкой мощностью 50 000 л.с.



(КДПП). Для них требовались легкие двигатели с большой удельной мощностью. Сложилась ситуация, когда для разных типов кораблей выдвигались разные технические требования к двигателям одинаковой мощности.

Начиная с 70-х гг. газотурбинные двигатели и ГТУ, разработанные для ВМФ, начали применяться в качестве приводных на передвижных и стационарных электростанциях, магистральных газоперекачивающих станциях и в качестве главных газотур-

ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ УНИФИЦИРОВАННЫХ ГТД

Тип двигателя	Мощность (ISO 2314), л.с.	КПД (ISO 2314), %	Расход воздуха, кг/с	Температура уходящих газов, °С	Габариты, м	Масса, т
UGT 3000	4500	30	15,5	420	2,5 x 1,3 x 1,25	2,2
UGT 6000	9100	31,5	31	420	3,2 x 1,3 x 1,6	3,5
UGT 6000+	11 300	33	33,4	442	3,2 x 1,6 x 1,8	3,5
UGT 10 000	14 500	36	37,2	458	4,0 x 1,8 x 1,7	5
UGT 15 000	24 000	35	72	414	4,8 x 2,2 x 2,2	9
UGT 15 000+	28 560	35,8	74	460	6,0 x 2,3 x 2,5	14,5
UGT 25 000	39 000	37	90	465	6,4 x 2,5 x 2,7	16

ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МОРСКИХ ГТУ

Характеристика	Классы кораблей		
	Водоизмещающие	На воздушной подушке	На подводных крыльях
Водоизмещение, т	450...10 400	35...1100	100...600
Мощность установки, л.с.	4000...110 000	4000...50 000	4000...50 000
Удельная масса, кг/л.с.	0,82...2,43	0,33...0,44	0,44...0,55
Время пуска, с	120...180	120	120
Время набора мощности от холостого хода до номинальной, с	300	40...70	60...85
Время сброса мощности от номинальной до холостого хода, с	40...70	30...60	30...60
Время полного реверса, с	70...120	Реверс - воздушным винтом	30...60
Ресурс до капремонта, ч:			
двигателей	20 000...30 000	4000...20 000	4000...20 000
редукторов	50 000...60 000	4000...20 000	4000...20 000

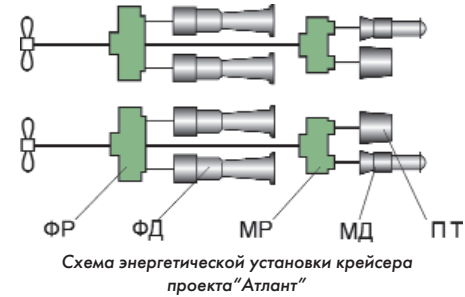
бинных установок на судах морского флота. Это позволило обеспечить опережающую наработку базовых ГТД до уровня 100 000 ч на газоперекачивающих агрегатах (ГПА) и 27 000 ч на судах без капитального ремонта. Всего для промышленности и флота совместно с ПО "Зоря" изготовлено и поставлено свыше 2500 двигателей общей мощностью более 20 млн кВт и общей наработкой около 26 млн ч.

НПП "Машпроект" создал газотурбинные установки для трех классов кораблей: водоизмещающих, на подводных крыльях и на воздушной подушке.

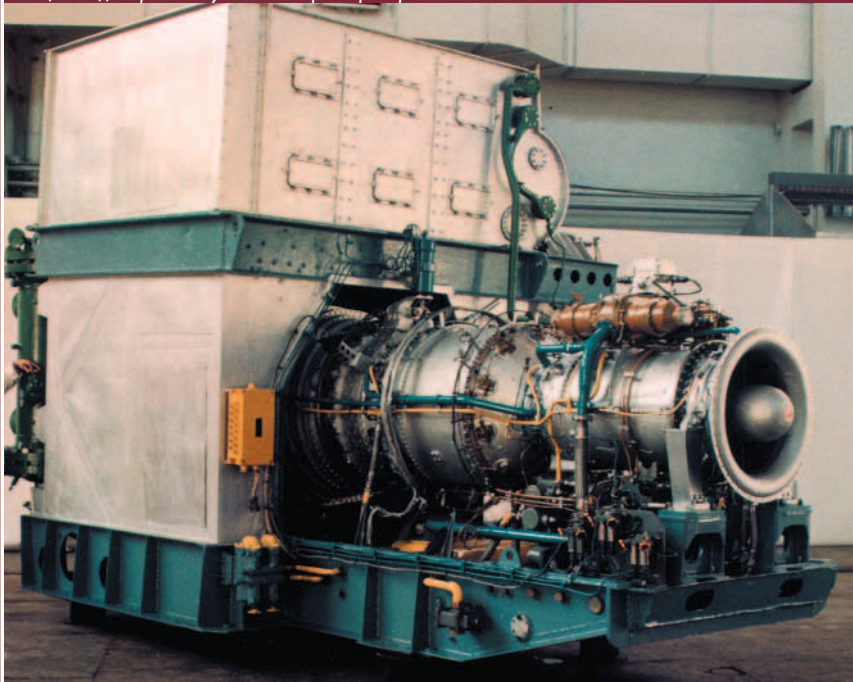
Каждое из направлений выдвигает ряд особенных условий и требует применения специфических технических решений. Эти решения были найдены, применены и показали свою эффективность в эксплуатации на флотах.

4. Повышение экономичности и мощности на 25...30 % благодаря применению парового теплоутилизирующего контура. Получаемый пар используется в паровой турбине, передающей мощность на гребной вал через суммирующий редуктор.

Примером использования установки сложного цикла может служить энергетическая установка для крейсера проекта "Атлант" водоизмещением 11 500 т, состоящая из двух агрегатов. В агрегат входят форсажная и маршевая установки. Фор-



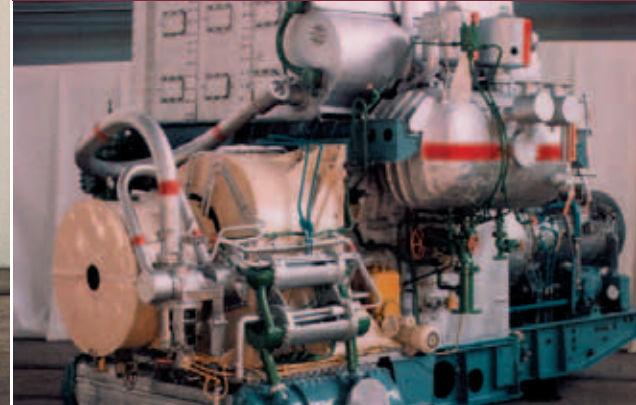
Общий вид маршевой установки крейсера проекта "Атлант"



Крейсер проекта "Атлант"



Вид на теплоутилизационный узел маршевой установки крейсера



Основные принципы построения силовых установок, разработанных НПП "Машпроект" для водоизмещающих кораблей, предусматривают:

1. Возможность совместной работы ГТУ с дизелями и паровыми турбинами.
2. Сохранение экономичности в широком диапазоне нагрузок путем включения в работу оптимального числа двигателей для получения необходимой в данный момент мощности и применения двухскоростных маршевых редукторов, оптимизирующих обороты силовой турбины двигателей, применения системы переброски мощности между маршевыми редукторами, позволяющей работать одним двигателем (дизелем или ГТД) на два гребных вала.
3. Применение системы реверсирования во всем диапазоне мощностей ГТУ с помощью реверсивных редукторов или реверсивных силовых турбин.

сажная установка состоит из двух всережимных реверсивных двигателей (ФД) типа ДТ59, работающих на суммирующий нереверсивный редуктор (ФР). Маршевая установка состоит из всережимного реверсивного маршевого двигателя (МД) типа ДС71 (модификация UGT 6000), нереверсивного редуктора (МР) и паровой турбины (ПТ), работающей от котла-утилизатора МД. Каждый двигатель может работать на гребной винт автономно или совместно с другими. Полная мощность установки 2 x 55 000 л.с., а ее маршевой части - 2 x 10 000 л.с. Крейсерская скорость корабля 18 узлов, полная - 32,5 узла.

В середине семидесятых годов началось интенсивное пополнение коммерческого морского флота новыми судами с горизонтальной грузообработкой, к энергетическим установкам которых предъявляется ряд требований:

- большая агрегатная мощность, необходимая для достижения высокой скорости судна;

- малые габариты установок;
- экономичность и возможность работы на дешевых сортах топлива.

Наиболее полно этим требованиям удовлетворяют судовые газотурбинные агрегаты с утилизацией тепла отработавших газов, конкурентоспособные с дизельными установками.

Первый контейнеровоз проекта "Атлантика" водоизмещением 36 000 т - газотурбоход "Капитан Смирнов" - был построен в 1979 г. в Николаеве на Черноморском судостроительном заводе. В качестве главной энергетической установки применены газотурбинные агрегаты М25 с паровым утилизирующим контуром. Энергетическая установка обеспечивала контейнеровозу экономическую скорость 19,5 узлов и полную скорость 25 узлов. Полная мощность установки 2 x 25 000 л.с. (ГТД - 2 x 19 200 л.с. и паровых турбин - 2 x 5800 л.с.). Удельный расход топлива составил 175 г/л.с.ч.

Одним из оригинальных решений, внедренных в процессе эксплуатации, является обеспечение "перекрестного" режима работы двух газотурбинных агрегатов, при котором в агрегате одного борта в работе находятся ГТД и теплоутилизирующий котел, а в агрегате другого борта - паровая турбина. Это позволило снизить расход топлива на милю до 210 кг при скорости судна 19...20 узлов. Установка работает на газотурбинном топливе ГОСТ 10433-75, в котором допускается наличие натрия и ванадия до 4,0 ppm, а также до 1...2 % серы. Для предотвращения высокотемпературной коррозии деталей проточной части турбин в топливо вводится специальная комплексная присадка НИМБ-2С, разработанная специалистами НПП "Машпроект" в содружестве с Бердянским нефтехимическим комбинатом.

С 1987 г. находится в эксплуатации пассажирское двухпалубное судно на подводных крыльях "Циклон" постройки феодосий-

С распадом СССР резко уменьшилось количество заказов для морского флота, и коллектив НПП "Машпроект" направил свой потенциал на разработку газотурбинных установок для промышленного применения. К этому времени имелся положительный опыт использования газотурбинных двигателей в наземных установках. Первым газоперекачивающим агрегатом был ГПА-10, разработанный в 70-х годах на базе морского ГТД второго поколения типа М8. Около 500 таких агрегатов изготовлено серийным заводом ПО "Зоря" и передано газовой промышленности. Лидерные двигатели наработали порядка 100 000 ч без капитального ремонта и продолжают эксплуатироваться.

В дальнейшем другие типы корабельных ГТД прошли конвертацию для использования в газовой промышленности. К настоящему времени освоены и предлагаются для применения в газотранспортных сетях газотурбинные приводы мощностью 3, 6, 10, 15, 16 и 25 МВт. Такие двигатели используются на газопроводах России, Украины, Казахстана, Беларуси, на компрессорных станциях Ирана и подземном хранилище газа в Чехии.

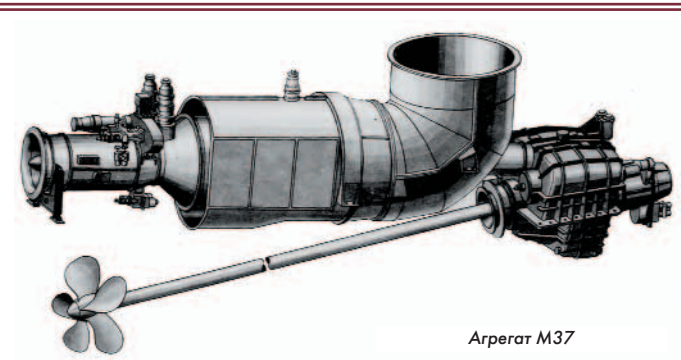
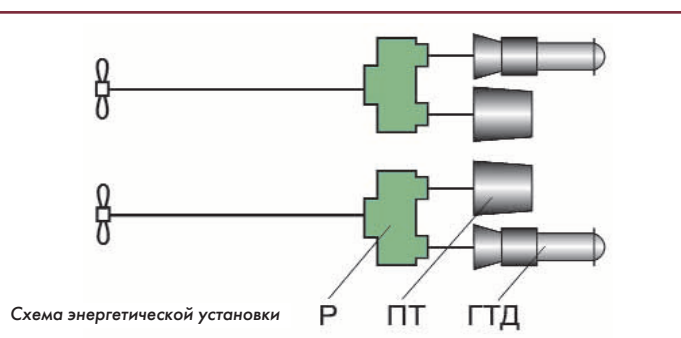
Экономичность, компактность и малый вес двигателей и установок разработки НПП "Машпроект", поставка оборудования в блоках полной заводской готовности обеспечили их широкое использование при модернизации компрессорных и электрических станций. За последние 8 лет "Машпроект" разработал 26 проектов модернизации газоперекачивающих агрегатов (и не только с газотурбинными приводами) с сохранением кондиционного технологического оборудования, фундаментов, зданий и сооружений. Эти проекты обеспечивают высокий технический уровень на действующих площадях при минимальных капитальных затратах.

Более 30 лет используются двигатели НПП "Машпроект" в энергетике. Они установлены на плавучих электростанциях "Се-

Контейнеровоз проекта "Атлантика"



Пассажирское судно "Циклон"



ского ПО "Море". В качестве главной силовой установки на "Циклоне" применен главный газотурбинный агрегат М37, разработанный и изготовленный НПП "Машпроект". Газотурбоход "Циклон" - одновальное судно водоизмещением 137 т, предназначенное для морских пассажирских перевозок с максимальным удалением от берега до 100 миль. Пассажировместимость судна 250 человек, дальность плавания 300 миль, мореходность 5 баллов, скорость судна 42 узла. Агрегат М37 состоит из углового редуктора и двигателя 3-го поколения типа UGT 6000 мощностью 8000 л.с. при расходе топлива 217 г/л.с.ч.

После опытной эксплуатации в Черноморском регионе в течение восьми лет "Циклон" работал на линии "Таллин - Хельсинки". В настоящее время судно эксплуатируется в Греции на маршруте "Пирей - о. Крит".

верное сияние", энергопоездах "Маяк" и "Факел", используются на космодроме Байконур, на стационарных электростанциях. Специально для энергетики разработаны двигатели UGT 2500 мощностью 2,85 МВт и UGT 110 000 мощностью 114,5 МВт.

Дальнейшие работы НПП "Машпроект" направлены на повышение экономичности установок путем использования тепла уходящих газов в котлах-утилизаторах и усложнения циклов работы ГТД.

На базе газотурбинных двигателей собственной разработки НПП "Машпроект" предлагает широкий выбор современного энергетического оборудования для производства электрической и тепловой энергии:

- газотурбозлектрогенераторы простого цикла мощностью от 2,5 до 25 МВт с электрическим КПД 27...35 %, которые отличаются небольшими габаритами, малым весом, большой маневренностью

и быстрым запуском, допускают использование на передвижных платформах. Такие установки предпочтительны при использовании в качестве аварийных и пиковых электростанций, а также в качестве стационарных электростанций в местах, где есть дешевое топливо, и когда потребителям нужна только электроэнергия;

- когенерационные установки для совместной выработки электрической и тепловой энергии мощностью от 2,5 до 75 МВт с тепловым к.п.д. 76...83 % - при выработке пара; 80...90 % - при выработке пара и горячей воды; свыше 90 % - при использовании дополнительной камеры сгорания в котле. Электрическая мощность соответствует мощности газотурбинных двигателей, а тепловая варьируется выбором теплоутилизующего контура. Такие установки предпочтительны в качестве электростанций для промышленных предприятий и коммунальных хозяйств, где есть постоянная потребность в электрической и тепловой энергии в виде пара или горячей воды;

- установки с энергетическим впрыском пара в проточную часть двигателя мощностью от 4,3 до 40 МВт с электрическим к.п.д. 36...43 %. Пар, вырабатываемый в котле-утилизаторе, подается в газотурбинный двигатель как дополнительное рабочее тело. От других газотурбинных установок с утилизацией тепла такие агрегаты отличаются наибольшим приростом электрической мощности (до 80 %), минимальными значениями эмиссий NO_x и CO , меньшими капитальными затратами на единицу установленной мощности. Установки с энергетическим впрыском пара предпочтительны в качестве электростанций промышленных предприятий и небольших региональных электростанций, где требуется максимальный выход электроэнергии;

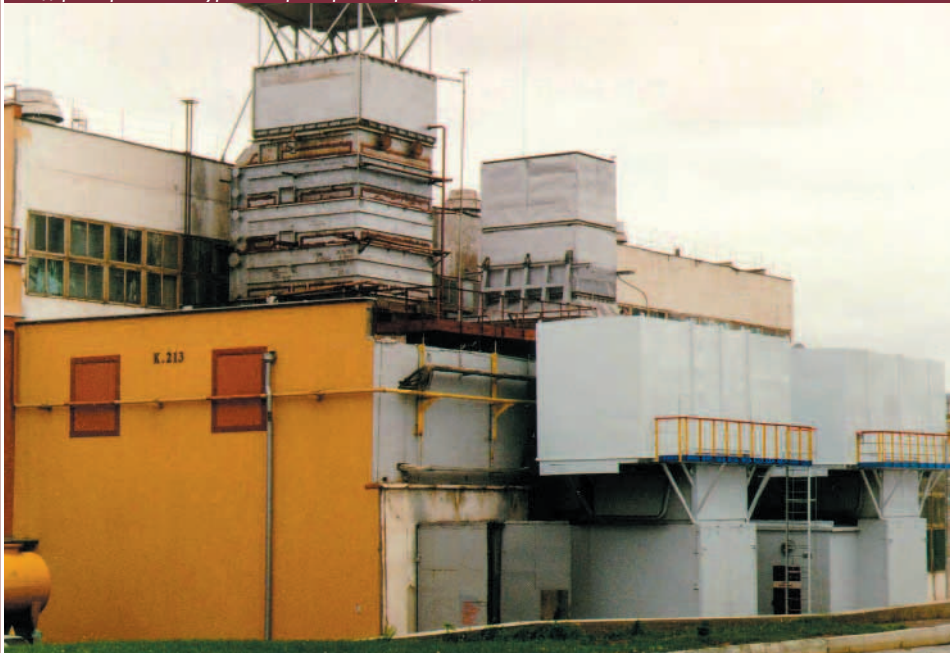
- установки с впрыском пара в проточную часть ГТД и генерацией воды в цикле типа "Водолей" мощностью 4,2...40 МВт с электрическим к.п.д. 35...42 %. Установки имеют контактный конденса-

тор для возврата котловой воды в цикл. Установки "Водолей" сохраняют номинальную мощность привода при высоких температурах наружного воздуха за счет впрыска воды на входе в двигатель. Они наиболее перспективны для применения в маловодных регионах и экологически чистых районах, где существуют жесткие ограничения на количество пара в выхлопных газах.

Используя многолетний опыт проектирования, производства и эксплуатации морских парогазовых установок НПП "Машпроект" предлагает на базе своих двигателей комбинированные установки мощностью от 13,5 до 325 МВт с электрическим к.п.д. 45,3...52 %. Пар, вырабатываемый в теплоутилизующем контуре, используется в паровой турбине. Электрическая мощность равна суммарной мощности газотурбинного двигателя и паровой турбины. В качестве базовых использованы две схемы: (1+1) - один газотурбинный двигатель с котлом-утилизатором и паровая турбина, работающие каждый на свой генератор, и (2+1) - два газотурбинных двигателя с котлами-утилизаторами и одна паровая турбина, использующая пар от двух котлов, работающие каждый на свой электрогенератор. Такие установки предпочтительны для использования в качестве региональных электростанций, а также электростанций крупных промышленных предприятий в районах с высокой ценой топлива.

НПП "Машпроект" комплектует и поставляет энергетические установки с учетом пожеланий заказчика на базе собственных газотурбинных двигателей, отечественного или зарубежного энергетического оборудования и систем управления. Экологические характеристики поставляемого оборудования соответствуют мировым стандартам. Проектирование и производство газотурбинных двигателей и установок сертифицировано по ДСТУ ISO 9001-96.

Цех перекачки аммиака на Одесском припортовом заводе.
Модернизированные турбокомпрессорные агрегаты с двигателем UGT 15 000



Блочная газотурбинная электростанция мощностью 6 МВт



Модернизированный газоперекачивающий агрегат с двигателем UGT 25 000



DIGEST

"Mashproekt" Science & Production facility was established in 1954 to design and manufacture ship gas-turbine plants for the USSR Navy. For the years passed, four generations of gas-turbine engines were developed, over 60 % of the Navy ships of the former USSR (ranging from small air-support vessels of the landing forces to cruisers) were equipped with gas-turbine engines developed "Mashproekt" S&P facility.

From 1970s, gas-turbine engines and powerplants developed by "Mashproekt" S&P facility found application in the stationary and mobile power stations, line gas-pumping stations, and as main gas-turbine powerplants in the Navy ships. In all, over 2500 engines with above 20-million KW total power and approx. 26 million operating hours were manufactured and delivered in cooperation with "Zarya" Production Association for the industry and the fleet.

After the USSR disintegration, number of orders placed by the RF Navy cut off and "Mashproekt" directed efforts to developments of industrial gas-turbine powerplants. The first gas-pumping unit was GPA-10, developed on the base of M8 marine-type gas-turbine engine of the second generation in 1970s. About 500 power units were delivered to the gas industry. The leading engines have accumulated over 1 000 000 hours without overhauls and continue their operation.

"Mashproekt" engines have been using in the power industry for more than 30 years. They are installed in "Severnoe Siyanie" floating power stations, "Mayak" and "Fakel" power trains, are used at Baykonur spacedrome, in stationary power stations. Future works of "Mashproekt" facility are aimed at improvement of efficiency of the powerplants by modification of GTE working cycles.

MARINE GAS-TURBINE POWERPLANTS

ПЕРМСКИЕ ДВИГАТЕЛИ ДЛЯ ТЭК



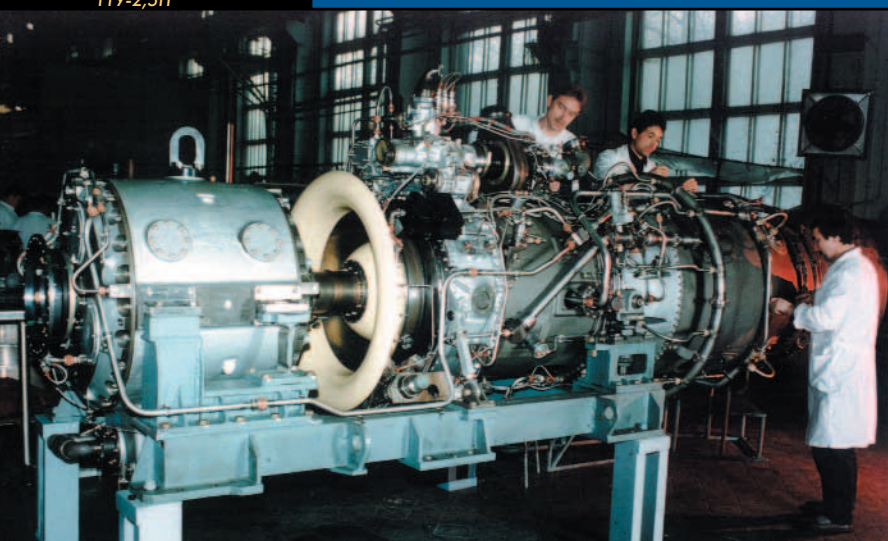
Юрий Решетников,
генеральный директор ОАО "Пермский
моторный завод, ОАО "Авиадвигатель"

Газотурбинный двигатель - один из наиболее энергетически емких приводов за всю историю техники. Его возможность практически без переделок работать как на жидком, так и на газообразном топливе при высокой экологической чистоте всех выхлопов сделала ГТД перспективным для применения в разных условиях. Чрезвычайно большая удельная мощность, получаемая от таких машин, высокая эффективность используемых процессов и уникальная возможность утилизации горячих газов (при этом суммарная эффективность использования топлива достигает 88 %) сделали газотурбинные двигатели исключительно подходящими для применения в топливно-энергетическом комплексе.

Разработка промышленных газовых турбин была начата ОАО "Авиадвигатель" в 1992 г. по заказу ОАО "Газпром" турбиной нового поколения с заданной мощностью 12 МВт и

"Авиадвигатель" совместно с ОАО "Пермский моторный завод" по заказам ОАО "Газпром" разработал и освоил серийное производство пяти типов газотурбинных установок ГТУ-2,5П, ГТУ-4П, ГТУ-12П и ГТУ-16П. В 1999 году изготовлен опытный образец ГТУ-10П, к выпуску которых ПМЗ приступил в конце 2000 г.

ГТУ-2,5П



На базе авиадвигателя Д-30 созданы две энергетические установки - ГТУ-2,5П и ГТУ-4П, отличающиеся удобством в эксплуатации, высокой надежностью, модульностью конструкции и электронной системой регулирования и диагностики. Получаемый эффект достигнут с помощью специально разработанных алгоритмов для САУ, обеспечивающих выход на режим 100 % номинальной нагрузки и уход с него. Был предусмотрен автоматический выход на режим холостого хода и быстрый турбодетандерный запуск. При этом расход электроэнергии на собственные нужды не превышает 40 кВт. Эмиссия $\text{NO}_x < 25 \text{ ppm}$ достигнута без применения специальной малоэмиссионной камеры сгорания.

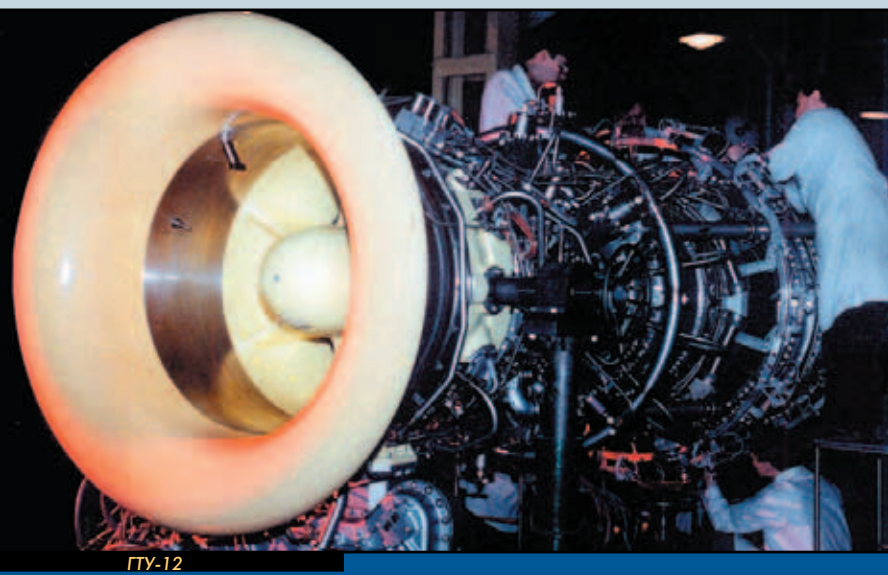
Газотурбинная установка ГТУ-2,5П, предназначенная для привода электрогенератора, эксплуатируется в составе блочно-транспортных газотурбинных электростанций. На 1 октября 2000 г. в эксплуатации на предприятиях "Тюментрансгаза" находилось 53 электростанции ПАЭС-2500М и три ЭГ-2500М. Нарботка головного образца без ремонта и переборок составила 25 750 ч., после чего он был снят для исследования (первоначально заявленный до капитального ремонта ресурс был 25 тыс. ч). На основании результатов разборки и дефектации узлов и деталей лидерной ГТУ-2,5П оформлены документы на увеличение ресурса до 35 000 ч. В сентябре этого года суммарная наработка головного образца ГТУ-2,5П превысила 33 тыс. часов.

На базе ГТУ-2,5П разработана документация на газотурбинную электростанцию улучшенной комфортности ГТЭС "Урал-2500", предназначенную для небольших изолированных потребителей переменного трехфазного тока, а также для параллельной работы с энергосистемой или другими электростанциями. Первый серийный образец ГТЭС "Урал-2500" поставлен Башкирэнерго и до конца 2000 г. будет запущен в эксплуатацию.

Развитием ГТУ-2,5П с соответствующими конструктивными мероприятиями стала ГТУ-4П. Первая такая установка в декабре 1997 г. прошла межведомственные испытания (МВИ) и пущена в эксплуатацию в составе промышленной теплоэлектростанции ТЭС-4000 "Янус", установленной в ОАО "Пермские моторы" для выработки электроэнергии (4 МВт, 6,3 кВ; 50 Гц) для собственных нужд и нужд ОАО "Авиадвигатель". В 2000 г.

к.п.д. 34,5 %. Наличие сильного конструкторского коллектива, опытной и серийной баз и, главное, сертифицированного авиационного двигателя ПС-90А позволило в короткие сроки получить заявленные характеристики ГТУ-12П.

В 1993 г. от ОАО "Газпром" был получен, а в 1995 г. успешно выполнен заказ на создание газотурбинной установки мощностью 2,5 МВт для привода электрогенератора. За восемь лет ОАО



ГТУ-12

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГТУ

Параметры	ГТУ-2,5П	ГТУ-4П	ГТУ-6П	ГТУ-12ПЭР	ГТУ-16ПЭР
Номинальная мощность на клеммах генератора, МВт	2,5	4,0	6,0	12	16
КПД на клеммах генератора, %	20,6	23,8	26,0	32,8	34,4
Тепловая мощность при снижении температуры газов до 110 °С, Гкал/ч	6,0	8,1	11,6	16,7	20,7
Удельный расход газа на выработку электроэнергии, кг/кВт·ч	0,349	0,302	0,277	0,219	0,209
Температура газа за силовой турбиной, °С	378	416	479	500	496
Расход газа, кг/с	24,4	29,0	33,9	45,4	56,7
Эмиссия NOx/CO, мг/нм ³	50/100	50/50	50/50	110/30	150/30
Межремонтный ресурс, ч	35000	25000	25000	25000	25000
Начало серийного производства, год	1995	1998	2001	2001	2001

запланировано проведение МВИ электроагрегата в комплекте с паровым котлом-утилизатором ($Q_n=10$ т/ч, $P_n=0,9$ МПа, $t_n=315$ °С, коэффициент использования теплоты сгорания топлива 72 % при температуре газа на выходе из котла 160 °С).

На базе ГТУ-4П в рамках программы "Урал-Газпром" в пермском НПО "Искра" разработана блочно-контейнерная газотурбинная электростанция ГТЭС-4, лидерный образец которой пущен в эксплуатацию ЗАО "Искра-Энергетика" в апреле 1999 г. в поселке Сысерть Свердловской области. В 1999 г. начата эксплуатация ГТЭС-4 на Пермском газоперекачивающем заводе. В настоящее время еще 11 установок находятся в стадии поставок или готовятся к выпуску.

Уникальной особенностью пермских ГТУ и ГТЭС является возможность 100 % сброса нагрузки в автоматическом режиме. Электростанция оснащена электронной системой управления и диагностики. Оптимально подходит для снабжения электроэнергией и теплом небольших поселков, а также оборудования, использующегося для разработки месторождений нефти и газа.

Кроме ГТУ-2,5П, ГТУ-4П мощностью 2,5 и 4 МВт изготовлена и испытывается ГТУ-6П мощностью 6 МВт на основе того же Д-30. В стадии разработки находятся газотурбинные установки ГТУ-12ПЭР, ГТУ-16ПЭР мощностью 12 и 16 МВт. Они создаются на основе газогенератора высокоэкономичного авиационного двигателя ПС-90А для применения в составе газотурбинных электростанций нового поколения.

Для компрессорных станций магистральных газопроводов ПМЗ выпускает установки ГТУ-12П мощностью 12 МВт и ГТУ-16П мощностью 16 МВт. По результатам первых лет их эксплуатации Газпром принял решения о применении пермских ГТУ в качестве основных при новом строительстве и реконструкции. Как показала эксплуатация, применение ГТУ-12П дает экономии топливного газа около 10 млн м³ в год по сравнению с существующим приводом.

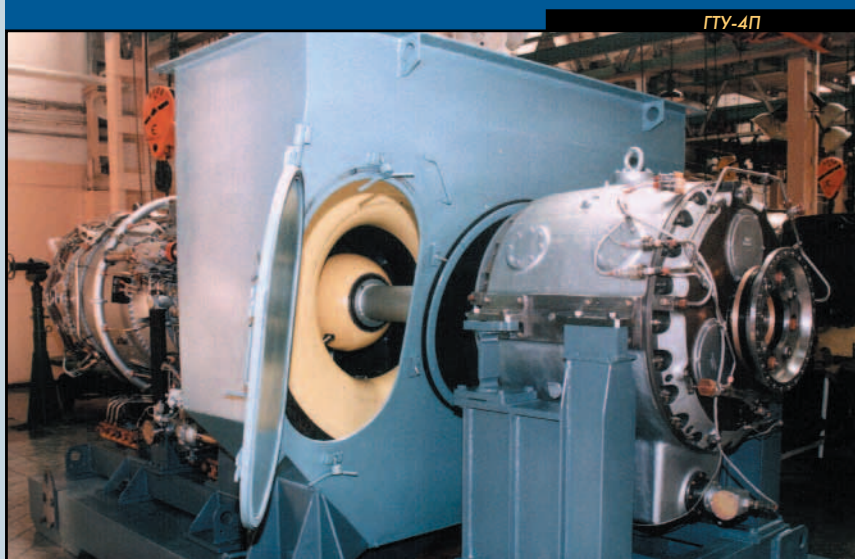
В ближайшие 6 лет ПМЗ предстоит поставить на объекты Газпрома около 600 ГТУ-12П и ГТУ-16П, в том числе 10 установок для газопровода "Голубой поток" (Россия-Турция).

Завершается разработка и изготовление головного образца ГТУ-25П мощностью 25 МВт и к.п.д. 40 %. Работа ведется по заказу и на инвестиции ОАО "Газпром".

Пермские ГТУ обладают:

- высокими показателями надежности, не уступающими показателям конкурентов на мировом рынке;
- коэффициентом готовности 0,98...0,99;

- коэффициентом надежности пусков 0,93...0,97;
- наработкой на отказ более 3600 ч;
- высокой эффективностью (при совместном производстве электроэнергии и тепла к.п.д. использования топлива достигает 88 %);
- низкими выбросами NO_x (до 35...50 ppm), на ГТУ-2,5П и ГТУ-4П фактические выбросы менее 20 ppm;
- низкими удельной стоимостью и стоимостью техобслуживания;
- большой наработкой до капремонта 25...35 тыс. ч.



ГТУ-4П



ГТУ-25П

DIGEST

PERM'S ENGINES - FOR "TEC"

First attempts in the development of industrial gas turbines were made by "Aviadvigatel" Co. in 1992. As ordered by "Gazprom", four types of gas-turbine powerplants - GTU-2.5P, GTU-4P, GTU-12P, GTU-16P- were developed and put into series production within 6 years (1992-1998) by the "Aviadvigatel" in collaboration with Perm Motor-Building Company. The Perm's GTUs provide the following characteristics: time to first failure - 3600 hr; in-commission rate - 0.98-0.99; a high efficiency (fuel efficiency in combined electric power and heat generation is equal to 88%), low NO_x-emission (35-50 ppm) (GTU-2,5P and GTU-4P provide actual emissions <20 ppm); low specific and maintenance cost; long time to overhauls - 25,000 hr -35,000 hr.

УМПО

РАСШИРЯЕТ СФЕРУ ПРИМЕНЕНИЯ СВОИХ ДВИГАТЕЛЕЙ



Валерий Лесунов,
генеральный директор
ОАО "УМПО"

ОАО "Уфимское моторостроительное производственное объединение", отметившее в 2000 г. свое 75-летие, является одним из признанных лидеров в России по изготовлению авиационных двигателей. Сегодня объединение, в кратчайшие сроки наладившее выпуск приводных двигателей для газоперекачивающих агрегатов и энергоблоков, уверенно занимает достойное место в сообществе ведущих производителей газотурбинного оборудования.

Когда к 90-м годам начался спад платежного спроса на двигатели для боевой авиации, которые объединение выпускало с момента своего создания, мы, совместно с ОАО "А.Люлька-Сатурн" (Москва), взяли за проработку вопросов применения авиационных двигателей в наземной технике, а именно - в газоперекачивающих и энергетических установках. Их производство технологически перекликается с авиационным и относится к разряду высокотехнологичных, что позволяет нашему коллективу работать в привычном для него направлении.

На базе авиационного двигателя АЛ-31Ф, применяемого на самолете Су-27, ОАО "А.Люлька-Сатурн" по техническому заданию ОАО "Газпром" разработало двигатель АЛ-31СТ. Его серийное производство освоило наше объединение. Основные достоинства уфимского газотурбинного привода - высокая топливная эффективность, надежность, простота, низкая стоимость технического обслуживания, соответствие международным нормам по эмиссии и шуму при соблюдении требований рынка по экономичности, надежности и ресурсу.

В 1996 г. АЛ-31СТ в составе ГПАЦ-16 прошел приемочные испытания в ОАО "Газпром" и рекомендован для серийного изготовления и применения как во вновь строящихся ГПА, так и для замены устаревших газотурбинных приводов. Сейчас он успешно работает на ряде станций ОАО "Газпром" в Тюменской, Пермской, Московской и Ленинградской областях.

Модификация двигателя АЛ-31СТ мощностью до 20 МВт применяется для привода электрогенератора в блочно-модульных электростанциях. Этот привод за две минуты способен выйти на рабочий режим (для чего в большой энергетике требуется около суток). Это качество особенно ценно для крупных городов при возникновении пиковых нагрузок.

Наше предприятие в рамках программы, утвержденной ОАО "Газпром", начало совместное с ОАО "Мотор Сич" производство газотурбинных двигателей семейства Д-336 мощностью 6, 8 и 10 МВт. Монтаж лидерной газотурбинной установки в настоящее время ведется на СПХГ "Канчуринская" ОАО "Баштрансгаз".

Совместно с ФГУП "НПП Мотор" (Уфа) изготовлен энерго-

блок мощностью 10 МВт на базе газотурбинного двигателя ГП-10/953-002 для ТЭЦ города Ишимбая в Башкортостане.

Объединение получило лицензии на проектирование, изготовление, проведение строительно-монтажных и пуско-наладочных работ газоперекачивающих агрегатов. Разработан комплект конструкторской документации газоперекачивающего агрегата ГПА-16РМ "Уфа", предназначенного для реконструкции компрессорных цехов, оборудованных устаревшим типом агрегатов ГТК-10-4. Рассчитываем на длительное сотрудничество с ОАО "Газпром", который планирует повсеместную реконструкцию, модернизацию и замену старых агрегатов на современные. Первый комплект оборудования, в том числе крупногабаритного, изготовлен нашим предприятием, и его монтаж ведется на КС-18А "Москово" Дюртюлинского ЛПУМГ ООО "Баштрансгаз".

Модернизация компрессорных станций с использованием высокоэкономичного двигателя АЛ-31СТ позволит ОАО "Газпром" обеспечить выполнение требований, предъявляемых к современной газоперекачивающей технике, а высокий уровень комплексного сервисного обслуживания, производимого ОАО "УМПО", является гарантией быстрой окупаемости затрат на модернизацию компрессорных станций.

Производство этих двигателей и агрегатов опирается на использование последних достижений науки, техники и технологии:

1. Изготовление шестерен всех типов с четвертой степенью точности ведется на уникальном комплексе оборудования производства фирм: "Клинкенберг", "Штудеро" и "Техника" с компьютерным контролем и коррекцией профиля зуба.

2. Литье турбинных лопаток с направленной кристаллизацией и с монокристаллической структурой. Применение монокристаллических лопаток из высокожаропрочного сложнелегированного сплава ЖС-32 с двухстадийным диффузионным покрытием состава никель-хром-алюминий-иттрий позволило повысить температуру газов перед турбиной до 1440 К и довести к.п.д. двигателя АЛ-31СТ до 37 %.

3. Сварка крупногабаритных узлов сложной конструкции в обитаемых камерах с защитной атмосферой. Аргонно-дуговая

сварка титановых и других активных сплавов в обитаемой камере обеспечивает всестороннюю защиту сварного шва. Состав примесей в аргоне строго контролируется, что позволяет получить качественные швы и повысить усталостную прочность сварных конструкций. В обитаемых камерах "Атмосфера - 24", эксплуатируемых в объединении, свариваются различные детали и узлы газотурбинных двигателей. Только число их наименований достигает ста.

4. Электронно-лучевая сварка узлов диаметром до 1700 мм и толщиной от 0,8 до 35 мм.

5. Высокотемпературная пайка в вакууме деталей из титановых жаропрочных и других сплавов.

6. Плазменное напыление различных износостойких покрытий.

7. Ионно-плазменное азотирование. Применяемое для этого оборудование фирмы "Эльтро" позволяет получить высокопрочный слой твердых нитридов на поверхности деталей сложной конфигурации без их последующей механической обработки.

Перечисленные здесь передовые и уникальные технологические процессы (а также целый ряд не упомянутых в статье) позволяют в производстве оборудования для газовой и энергетической промышленности обеспечить высокое и стабильное качество, что подтверждено сертификатом немецкой фирмы "TUV CERT" на соответствие действующей системы качества объединения международному стандарту ISO-9001.

Потенциал, накопленный уфимскими авиадвигателестроителями в области высоких технологий, организация производства на базе самых совершенных разработок и идей позволяет ОАО "УМПО" успешно конкурировать на рынке газоэнергетического оборудования и есть все основания полагать, что в третьи тысячелетие коллектив уфимских моторостроителей войдет, обладая прочной основой будущего роста и процветания.



DIGEST

UMPO EXPANDS APPLICATION OF ITS ENGINES

UMPO (Ufa Engine-Building Production Association), which celebrated its 75-year anniversary in 2000, is a well-known leader in Russia aircraft engine manufacturing. Today, it occupies a deserved place among manufacturers of gas powerplants because of putting into commercial production of drive engines for gas-pumping installations and power-generating units.

"A. Lyulka-Saturn" Co. in compliance with the technical project of "Gazprom" Co. has developed AL-31ST engine on the basis of AL-31F engine powering Su-27 aircraft. The main advantages of the Ufa GTE are high fuel efficiency, reliability, easy and low cost maintenance, excellent ecological characteristics. They meet international noise and emission standards and world market requirements to efficiency, reliability and service life.

In 1996, the AL-31ST as a component of GPATs-16 gas-pumping installation successfully completed acceptance tests at "Gazprom" Co. and was recommended for series manufacturing and application in new gas-pumping installations and as well as a replacement of out-of-date gas-turbine engines. Nowadays, it is successfully used in a number of "Gazprom" power stations in Tyumen, Perm, Moscow and Leningrad regions.

The 20-MW AL-31ST is used as a drive of the electric generator in modular power stations. It reaches operating conditions within only 2 minutes.

UMPO in collaboration with "Motor Sich" Co. within the workscope of the program approved by "Gazprom" has launched GTEs manufacturing of D-336 family with 6, 8 and 10 MW. Today, they are assembling the leader GTE.

The Association has received the licenses for designing, manufacturing, and commissioning of gas-pumping installations. The complete set of the design documentation for GPA-16RM "Ufa" gas-pumping installation for reconstruction of compressor departments by replacement of out-of-date GTK-10-4 units was released. The first set of the equipment, including large-sized sub-assembly units, has been developed by UMPO and its installation is under way at a compressor station. The modernization of compressor stations with highly efficient AL-31ST engine will allow "Gazprom" Co. to meet technical requirements to up-to-day gas-pumping equipment and the high level of complex technical services of "UMPO" Co. is a guarantee for a short payback period after modernization of the compressor stations.

The manufacturing of these engines and sub-assembly units is based on the best achievements in science, engineering and technology: manufacturing of all gears with the 4-th degree of dimensional accuracy; casting of turbine blades by oriented crystallization and with a monocrystalline structure; welding of large-sized complex components in chambers with protective atmosphere; electron-beam welding; the high-temperature brazing; plasma-spraying of various wear-resistant coatings; ion-plasma nitriding. These and others advanced and unique technological processes make possible to ensure high and stable quality in manufacturing of components for gas and power industry, that is testified by a certificate of German "TUV CERT" Co. as to UMPO's Quality System which meets ISO-9001 international standards.

Из истории паровой турбины

Деятнадцатый век не зря называли веком пара. С изобретением паровой машины произошел настоящий переворот в промышленности, энергетике, транспорте. Появилась возможность механизировать работы, ранее требовавшие слишком много человеческих рук. Железные дороги резко расширили возможности транспортировки грузов по суше. В море вышли огромные суда, способные двигаться против ветра и гарантировавшие своевременность доставки товаров. Расширение объемов промышленного производства поставило перед энергетикой задачу всемерного повышения мощности двигателей. Однако первоначально вовсе не высокая мощность вызвала к жизни паровую турбину...

Гидравлическая турбина как устройство для преобразования потенциальной энергии воды в кинетическую энергию вращающегося вала известна с глубокой древности. У паровой турбины история столь же долгая, ведь одна из первых конструкций известна под наименованием "турбины Герона" и датируется первым столетием до нашей эры. Однако сразу заметим - вплоть до XIX века турбины, приводимые в движение паром, являлись скорее техническими курьезами, игрушками, чем реальными промышленно применимыми устройствами.

И только с началом индустриальной революции в Европе, после широкого практического внедрения паровой машины Д. Уатта, изобретатели стали присматриваться к паровой турбине, так сказать, "вплотную". Создание паровой турбины требовало глубокого знания физических свойств пара и законов его истечения. Изготовление ее стало возможным только при достаточно высоком уровне технологии работы с металлами, поскольку потребная точность изготовления отдельных частей и прочность элементов были существенно более высокими, чем в случае паровой машины.

В отличие от паровой машины, совершающей работу за счет использования потенциальной энергии пара и, в частности, его упругости, паровая турбина использует кинетическую энергию струи пара, преобразуя ее во вращательную энергию вала. Важнейшей особенностью водяного пара является высокая скорость истечения его из одной среды в другую даже при относительно небольшом перепаде давлений. Так, при давлении 5 кгс/м² струя па-

ра, вытекающая из сосуда в атмосферу, имеет скорость около 450 м/с. В 50-х годах прошлого века было установлено, что для эффективного использования кинетической энергии пара окружающая скорость лопаток турбины на периферии должна быть не менее половины скорости обдуваемой струи, следовательно, при радиусе лопаток турбины в 1 м необходимо поддерживать частоту вращения около 4300 об/мин. Техника первой половины XIX века не знала подшипников, способных длительно выдерживать такие скорости. Опираясь на собственный практический опыт, Д. Уатт считал столь высокие скорости движения элементов машины недостижимыми в принципе, и в ответ на предупреждение об угрозе, которую могла создать турбина изобретенной им паровой машине, ответил так: "О какой конкуренции может идти речь, если без помощи Бога нельзя заставить рабочие части двигаться со скоростью 1000 футов в секунду?"

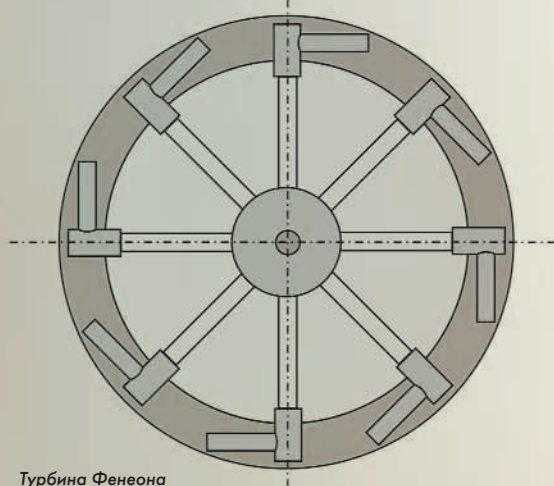
Однако время шло, техника совершенствовалась, и час практического применения паровой турбины пробил. Впервые примитивные паровые турбины были использованы на лесопилках в восточной части США в 1883-1885 гг. для привода дисковых пил. Пар подводился через ось и далее, расширяясь, направлялся по трубам в радиальном направлении. Каждая из труб заканчивалась изогнутым наконечником. Таким образом, по конструкции описываемое устройство являлось весьма близким к турбине Герона, обладало крайне низким к.п.д., но более подходило для привода высокооборотных пил, нежели паровая машина с ее возвратно-поступательным движением поршня. К тому же для нагрева пара использовалось, по тогдашним понятиям, бросовое топливо - отходы лесопильного производства.

Впрочем, эти первые американские паровые турбины широкого распространения не получили. Их влияние на дальнейшую историю техники практически отсутствует. Чего нельзя сказать об

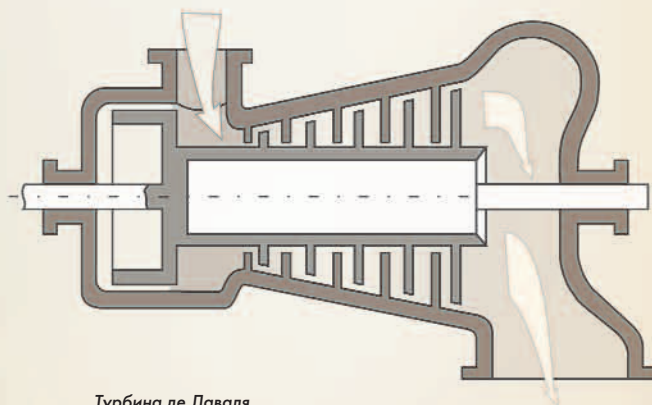
Николай Александров



Карл-Густав-Патрик де Лаваль



Турбина Фенеона



Турбина де Лавалья

изобретениях шведа французского происхождения де Лавалья, имя которого сегодня известно любому двигателю.

Карл-Густав-Патрик де Лаваль

Предки де Лавалья были гугенотами, вынужденно эмигрировавшими в Швецию в конце XVI века из-за преследований на родине. Карл-Густав-Патрик ("основным" считалось все же имя Густав) родился в 1845 г. и получил превосходное образование, окончив технологический институт и университет в Упсале. В 1872 г. де Лаваль стал работать в качестве инженера по химической технологии и металлургии, но вскоре заинтересовался проблемой создания эффективного сепаратора для молока. В 1878 г. ему удалось разработать удачный вариант конструкции сепаратора, получивший широкое распространение; вырученные средства Густав использовал для развертывания работ по паровой турбине. Толчок к занятию новым устройством дал именно сепаратор, поскольку он нуждался в механическом приводе, способном обеспечить частоту вращения не менее 6000 об/мин.

Для того, чтобы избежать применения всякого рода мультипликаторов, де Лаваль предложил разместить барабан сепаратора на одном валу с простейшей турбиной реактивного типа. В 1883 г. на эту конструкцию был взят английский патент. Затем де Лаваль перешел к разработке одноступенчатой турбины активного типа, и уже в 1889 г. он получил патент на расширяющееся сопло (и сегодня термин "сопло Лавалья" является общепотребительным), позволяющее уменьшить давление пара и повысить его скорость до сверхзвуковой. Вскоре после этого Густав сумел преодолеть и другие проблемы, возникавшие при изготовлении работоспособной активной турбины. Так, он предложил применить гибкий вал, диск равного сопротивления и выработал способ закрепления лопаток в диске.

На международной выставке в Чикаго, проходившей в 1893 г., была представлена небольшая турбина де Лавалья мощностью 5 л.с. с частотой вращения 30 000 об/мин! Огромная скорость вращения являлась важным техническим достижением, но одновременно она стала и ахиллесовой пятой такой турбины, поскольку для практического применения она предполагала включение в состав силовой установки понижающего редуктора. В ту пору редукторы изготавливали, главным обра-

зом, одноступенчатыми, поэтому нередко диаметр большой шестерни в несколько раз превосходил размеры самой турбины. Необходимость применения громоздких зубчатых понижающих передач помешала широкому внедрению турбин де Лавалья. Самая большая одноступенчатая турбина мощностью 500 л.с. имела расход пара на уровне 6...7 кг/л.с.ч.

Интересной особенностью творчества Лавалья можно считать его "голый эмпиризм": он создавал вполне работоспособные конструкции, теорию которых позднее разрабатывали другие. Так, теорией гибкого вала впоследствии глубоко занимался чешский ученый А. Стодола, он же систематизировал основные вопросы расчета на прочность турбинных дисков равного сопротивления. Именно отсутствие хорошей теории не позволило де Лавалю добиться больших успехов, к тому же он был человеком увлекающимся и легко переключался с одной темы на другую. Пренебрегая финансовой стороной дела, этот талантливый экспериментатор, не успев реализовать очередное изобретение, быстро охладевал к нему, увлекшись новой идеей. Иного рода человеком был англичанин Чарльз Парсонс, сын лорда Росса.



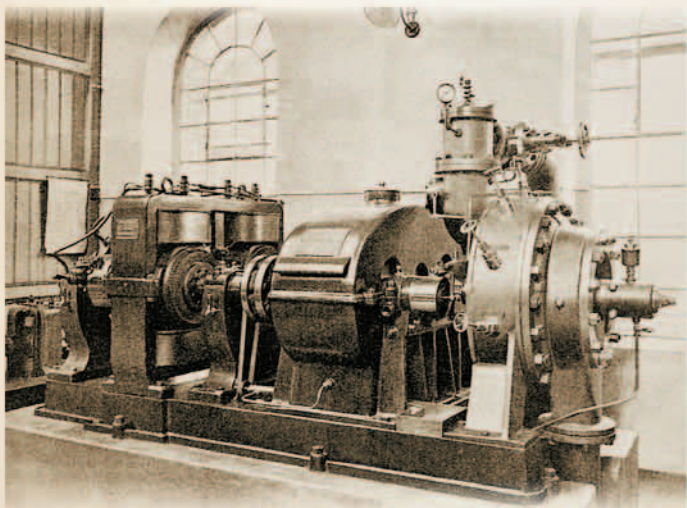
Чарльз Алджернон Парсонс

Чарльз Алджернон Парсонс

Чарльз Парсонс родился в 1854 г. и получил классическое английское образование, закончив Кембриджский университет. Родом своей деятельности он избрал машиностроение и с 1876 г. стал работать на заводе Армстронга в Ньюкасле. Талант и изобретательность конструктора в сочетании с финансовыми возможностями родителей позволили Парсонсу быстро встать в главе собственного дела. Уже в 1883 г. он совладелец фирмы "Кларк, Чапмэн, Парсонс и К^о", а в 1889 г. - владелец собственного турбостроительного и динамостроительного завода в Гитоне.

Первую паровую многоступенчатую турбину реактивного типа Парсонс построил в 1884 г. Она предназначалась вовсе не для привода относительно маломощных сепараторов, а для работы совместно с электрическим генератором. Таким образом, уже с первого шага Парсонс правильно предугадал одну из наиболее перспективных областей применения паровых турбин, и в дальнейшем ему не пришлось разыскивать потребителей для своего изобретения. С целью уравнивания осевого усилия пар подавался к середине вала турбины, а затем протекал к ее концам. Первая паровая турбина Парсонса имела мощность всего 6 л.с. и была подвергнута разнообразным испытаниям. Основные затруднения представляла разработка рациональной конструкции лопаток и способов их крепления в диске, а также обеспечение уплотнений. Уже в конструкции, датированной 1887 г., Парсонс применил лабиринтные уплотнения, что позволило перейти к турбинам с однонаправленным потоком пара. К 1889 г. число построенных турбин превысило 300 единиц, их мощность пока еще не достигла 100 л.с. при частоте вращения около 5000 об/мин. Такие турбины применялись преимущественно для привода электрических генераторов.

Взаимоотношения между компаньонами в "Кларк, Чапмэн, Парсонс и К^о" оказались далеко не безоблачными, и Парсонс вынужден был уйти, оставив бывшим коллегам и часть авторских прав, формально принадлежавших фирме. В связи с этим он надолго отказался от создания активных турбин (защищенных патентом) и перешел к разработке радиальных многоступенчатых турбин. Совершенствуя этот тип, конструктор сумел добиться впечатляющих результатов. Так, он уменьшил удельный расход пара с 44 до 12,7 кг/кВт.ч, но одновременно понял, что прежний аксиальный тип турбины был все же более перспективным. Начиная с



Одна из первых турбин де Лавалья

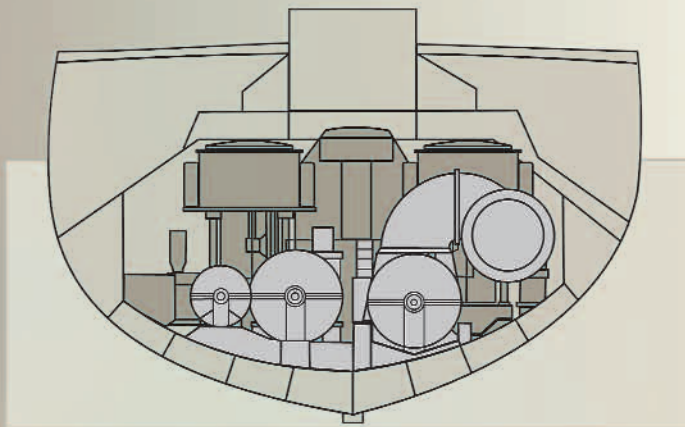
1894 г., восстановив права на патент, Парсонс вновь стал заниматься именно такими турбинами.

На своем заводе он опробовал самые различные материалы для лопаток турбин, но остановился на бронзе для насыщенного и умеренно перегретого пара, чистой меди для части высокого давления и никелевой бронзе для сильно перегретого пара. Кроме того, проводились глубокие исследования по созданию рациональной конструкции регулятора подачи пара. Для повышения точности Парсонс применил релейный принцип прерывистой подачи, позволяющий уменьшить трение. Параллельно вводились и другие усовершенствования, что в совокупности привело к уменьшению удельного расхода пара до 9,2 кг/кВт·ч у турбины мощностью 400 кВт, изготовленной в 1896 г.

Благодаря работам Чарльза Парсонса и его сотрудников Англия оказалась впереди всей планеты: если в других странах к паровым турбинам только присматривались, то в Соединенном Королевстве общая мощность построенных в том же 1896 г. турбин превысила 40 000 л.с. Но и на континенте передовые инженеры осознали важность новинки для целей энергетики. В 1899 г. по инициативе одного из них, Линдлея, занимавшего должность главного инженера Франкфурта, было решено применить на строящейся Эльберфельдской электростанции две турбины Парсонса мощностью по 1000 кВт. Немецкая гордость была задета. В первую очередь оказались недовольными промышленники, выпускавшие мощные паровые машины. Однако результаты испытаний турбин, опубликованные в 1900 г., свидетельствовали о неоспоримых преимуществах примененных установок по сравнению с традиционными "паровиками". Вскоре одна из лучших в то время электротехнических фирм "Брун-Бовери" в Бадене (неподалеку от Цюриха) приобрела лицензию на производство турбин Парсонса.

Далее предложения о покупке лицензий стали нарастать подобно снежному кому: помимо немцев интерес проявили итальян-

Сравнение габаритов паромашинной и паротурбинной установок на крейсере (начало XX века)



цы и американцы (в частности, компания "Вестингауз"). Если в 1903 г. наибольшая мощность турбины составляла 6500 кВт, то в 1909 г. появились агрегаты мощностью 10 000 кВт, в 1915 г. - 20 000 кВт, а в 1917 г. - 30 000 кВт! Турбины стали строить в Швейцарии, Франции, Австро-Венгрии. В компании "отцов-основателей" турбостроения появились имена француза О. Рато и американца Ч. Кертиса. Но Парсонс вошел в историю техники как звезда первой величины: ведь помимо чисто "турбинных" проблем он взвалил на себя (и успешно решил) еще и задачу внедрения нового вида двигателя на флоте.

Морские котлотурбинные установки

В конце XIX века сформировался новый класс военных кораблей - миноносцы (на Западе им соответствует термин "дистроер" - разрушитель), главным оружием которых стали прямые торпеды с мощным боевым зарядом, способным отравить на дно огромный броненосец. При небольшом водо-

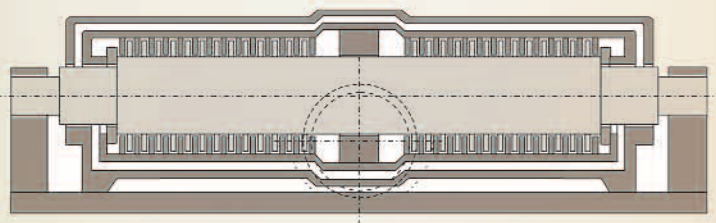
измещении единственной защитой для миноносца являлась высокая скорость, поскольку никакое бронирование не могло уберечь его от фатального конца в случае прямого попадания крупнокалиберного снаряда. Закономерным образом размеры миноносца росли, и на рубеже веков его водоизмещение достигло 350...500 т, а потребная мощность силовой установки - 5000...8000 л.с. Резко возросла масса механизмов и топлива на борту корабля, поэтому для сохранения высоких боевых качеств миноносца возникла настоятельная потребность в более мощном двигателе с лучшими удельными характеристиками. И такой двигатель появился в виде судовой турбины.

В 1894 г. Парсонс построил небольшое турбинное судно, в сущности катер водоизмещением всего 44,5 т, но мощность его силовой установки достигла 2000 л.с. 27 ноября "Турбиния" вышла на испытания и... разочаровала создателя. Ее скорость составила всего 19,7 узла, а конструктор ожидал получить не менее 30. Причина заключалась в так называемом проскальзывании гребного винта, позднее названном "кавитацией". Из-за чрезмерной частоты вращения винтов скорость воды на засасывающей стороне лопастей настолько возрастала, что давление снижалось до критического и вода вскипала при нормальной температуре, превращаясь в пар. В такой среде винт проскальзывал, терял упор, и его к.п.д. резко падал.

В течение года на "Турбинии" сменили 9 винтов, но ее скорость так и не достигла запланированного значения. Тогда Парсон радикально переделал судно, превратив его одновальную установку в трехвальную. На каждый вал работали последовательно соединенные по пару турбины высокого, среднего и низкого давления. Валы заканчивались тремя расположенными друг за другом гребными винтами. На первом же выходе обновленная "Турбиния" показала скорость 32,8 узла. К 1897 г., после ряда усовершенствований и повышения мощности котлотурбинной установки (КТУ) до 2400 л.с., она смогла разогнаться до 34,5 узлов! "Турбиния" являлась самым быстроходным судном в мире.

С целью демонстрации преимуществ судовой турбины Парсонс решился на неординарный шаг, граничивший с хулиганством. По его распоряжению перед началом морского парада, приуроченного ко дню 60-летия вступления на престол королевы Виктории, "Турбиния" несанкционированно промчалась перед строем английского флота, и ни один самый быстроходный британский миноносец не смог остановить наглеца. Резонанс оказался весьма значительным - о скандальном происшествии написали газеты, проснулось даже английское Адмиралтейство. Для начала оно заказало два "дистроера" с четырехвальной КТУ мощностью по 11 500 л.с., способной обеспечить кораблю контрактную скорость 31,5 узла. Следующим шагом стали крейсера "Аметист" и "Топаз", совершенно однотипные, за исключением силовых установок. При водоизмещении 3050 т максимальная мощность котлотурбинной установки "Аметиста" составила 13 000 л.с., обеспечив ему скорость 23,6 узла, в то время как котломашинная установка "Топаза" развивала максимальную мощность 9 600 л.с., а его скорость не превысила 21,8 узла. И, что очень важно, у "Аметиста" с увеличением скорости удельный расход топлива уменьшался, а у "Топаза" - имел минимум приблизительно при 14-узловой скорости.

По результатам испытаний англичане приняли радикальное решение: все вновь строящиеся надводные корабли основных классов оснащать КТУ.

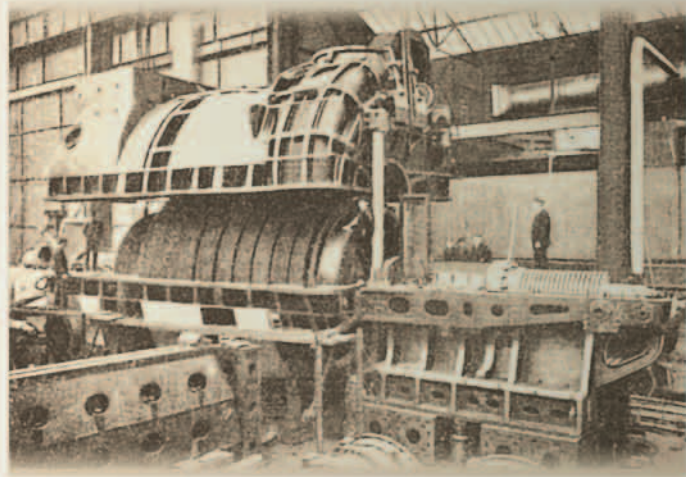


Первая турбина Парсонса

Практически одновременно началось внедрение паровых турбин в судостроение. Первые два турбинных лайнера были построены в Англии для Канады, а в 1906 г. на линию Ливерпуль - Нью-Йорк вышел турбинный трансатлантик "Кармания". По условиям контракта в течение четырех месяцев он должен был плавать с опломбированными корпусами турбин, что исключало их вскрытие не только для ремонта, но и для осмотра. КТУ лайнера выдержала столь жесткое испытание, и в 1907 г. вошли в строй еще два турбинных судна водоизмещением по 38 тыс. т: "Лузитания" и "Мавритания". Последняя в ходе трансатлантического рейса продемонстрировала среднюю скорость, превысившую 26 узлов, и впоследствии в течение 22 лет удерживала "Голубую ленту Атлантики" - почетную награду самому быстроходному лайнеру океана.

В 1913 г. на Путиловском заводе в Петербурге был построен эскадренный миноносец "Новик", трехвальная КТУ которого суммарной мощностью 42 000 л.с. позволила кораблю установить мировой рекорд скорости 37,3 узла.

Вместе с тем, впечатляющие достижения не могли компенсировать невысокую экономичность паровой турбины на малых нагрузках, что существенно снижало ее привлекательность в качестве судового двигателя. Скорость, при которой турбинные суда получали преимущество перед судами с паровыми машинами, составляла 16...18 узлов. В связи с этим Ч. Парсонс предложил идею турбомашинной установки. Для малого хода и реверса использовалась паровая машина, а при скорости выше некоторой критической ее отключали, и пар подавался на турбины. Иным способом была устроена силовая установка печально известного "Титаника" и однотипного "Олимпика". На этих судах бортовые валы приводились во вращение паровыми машинами, а средний - турбиной, в которой использовался пар, уже отработавший в цилиндрах машин.



Турбина лайнера "Кармания"

ли выбраны еще более высокими: температура 450 °С, а его давление - 225 кгс/см². В Соединенных Штатах компания "Дженерал-Электрик" предпочла не рисковать, ограничив давление 84 кгс/см², но зато она стала энергично наращивать мощность единичной установки. Так, турбина, построенная для предприятия "Форда" (2-цилиндровая, 2-осевая), имела мощность 110 МВт при частоте вращения валов 1800 об/мин. В начале тридцатых годов в США вошли в строй огромные энергетические паротурбинные установки единичной мощностью 160 и даже 208 МВт.

Европейцы ограничились существенно меньшими значениями единичной мощности промышленных паровых турбин. Одной из наиболее "крутых" считалась установка в Витковицах, распола-

РЕЗУЛЬТАТЫ СРАВНИТЕЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ

Скорость, узлы	Удельный расход топлива, кг/л.с.ч		Расход топлива на милю пути, кг/милю	
	"Аметист"	"Топаз"	"Аметист"	"Топаз"
10	1,46	1,16	135	102
14	0,95	0,9	151	147
18	0,79	1,04	208	270
20	0,68	1,05	238	345
Полный ход	0,84	1,31	450	555

Триумф паротурбинной энергетики

В период между двумя великими войнами энергетическое турбостроение развивалось преимущественно в направлении применения пара высокого давления. Одна из первых таких турбин мощностью 1675 кВт была построена заводом "Броун-Бовери" для бельгийской электростанции. Давление пара было принято равным 50 кгс/см², а его температура достигала 440...450 °С. Лабиринтное уплотнение получалось слишком сложным и ненадежным, поэтому конструкторы разместили первую ступень турбины высокого давления на весу, без подшипника.

Вскоре для электростанции в Маннгейме завод "Броун-Бовери" изготовил турбину мощностью 7000 кВт при давлении пара 160 кгс/см² и температуре 430 °С. У турбины, построенной для электростанции в Лангербрюгге, параметры пара бы-

гавшая двумя турбинами, одна из которых мощностью 30 МВт, а вторая - 18 МВт. Частота вращения этих агрегатов была выбрана равной 3000 об/мин, что обуславливалась принятой в Европе частотой переменного тока (50 Гц). Следует отметить, что в США паровые турбины имели, как правило, частоту вращения 1800 или 3600 об/мин в связи с "американской" частотой переменного тока, равной 60 Гц.

Удобство "сочленения" с электрическим генератором без применения каких-либо промежуточных передач оказалось исключительно важным достоинством паровой турбины. Кроме того, турбина легко переносила перегрузки, практически не замазывала пар (в отличие от паровой машины), легко регулировалась по частоте вращения. В сочетании с более высоким к.п.д. турбины, особенно при больших нагрузках, все эти достоинства относительно быстро привели к повсеместному "закату" эры паровой машины в энергетике и судостроении.

DIGEST

The steam engine invention was a breakthrough in engineering, power industry and transport. This created a possibility to mechanize works, which had required high labor input. Railroads impetuously expanded options of cargo overland transportation. Huge vessels, which were capable to move against the wind and ensured timely delivery of goods, were put to sea. Progress in the power industry and achievements in the electrical engineering created preconditions of the steam turbine development. Besides that, improvements of warships also demanded the development of a powerful, compact, and efficient engine. De Laval developed the first turbines but solved general problems of turbine building just for small power units. Parsons' works made possible not only to increase power but also to integrate a steam turbine with an electric motor as a single machine. That started wide implementation of turbines in the power industry and in the shipbuilding.

EXTRACTS FROM STEAM TURBINE HISTORY

ЧЕШСКИЕ ПОРШНЕВЫЕ АВИАЦИОННЫЕ ДВИГАТЕЛИ: ИСТОРИЯ ПРОДОЛЖАЕТСЯ

Владимир Засадил,

генеральный директор завода "ЛОМ-ПРАГА"

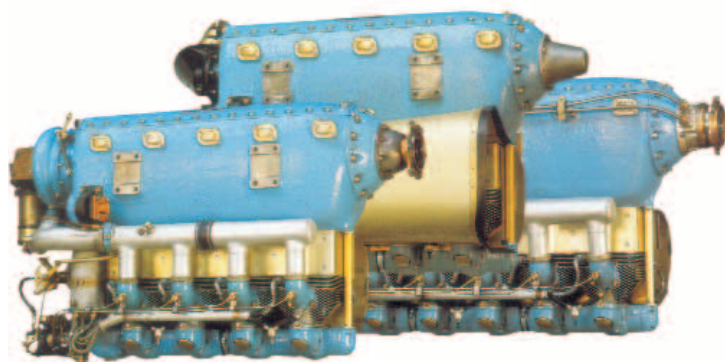
Су-38Л



Российско-чешское авиационно-техническое сотрудничество многие годы служило хорошим примером международной интеграции и кооперации. Однако наибольшее распространение в СССР, а затем и в России получили чешские самолеты с газотурбинными двигателями. Возникшая относительно недавно острая потребность в поршневых авиадвигателях застала российских самолетостроителей врасплох. Наладить производство необходимой гаммы моторов в России пока не получается. Зато Чехия сохранила производственные мощности для изготовления "поршневи́ков". Эти двигатели надежны, недороги, имеют большой ресурс, удобны в обслуживании и ремонте, и, наконец, самое главное - они способны работать на автомобильном бензине. Сотрудничество с одним из старейших авиационных предприятий Чехии позволит решить проблему поршневого авиадвигателя для новых российских самолетов, сделает возможным насыщение целого сектора авиационного рынка - авиации общего назначения.

В Чехии и бывшей Чехословакии существовали и существуют богатые традиции производства самолетов общего назначения, оснащенных двигателями внутреннего сгорания (ДВС). В России и СНГ хорошо знают такие машины, как Zlin Trainer, Aero 145 и L-200 Morava. Предназначенные для этих самолетов ДВС первого поколения Walter Major, разработанные и поступившие в производство еще в 30-е годы, выпускались заводом Walter (Прага). Их сменили моторы 2-го поколения Walter Minor, серийное производство которых началось после окончания Второй мировой войны. Выпуск двигателей 3-го поколения был развернут уже на другом предприятии - заводе AVIA (Прага), занимавшегося производством только 6-цилиндровых вариантов M 337 и M 137 и их модификаций "А", "АК", "АЗ". На заводе AVIA (сегодня это - AVIA PROPELLER) созданы и до сих пор выпускаются хорошие винты к этим двигателям - V-500А и V-503. С 1992 г. разработкой и производством авиационных ДВС занимается третий завод - LOM (Прага).

Завод LOM, изготовитель поршневых двигателей семейства Walter, имеет богатые традиции. Предприятие было создано в 1915 г. и занималось производством и ремонтом авиадвигателей, а после 1945 г. стало "чисто" ремонтным заводом, работавшим в интересах чехословацких ВВС и других заказчиков. До сих пор LOM осуществляет ремонт двигателей са-



молетов L-29, L-39, МиГ-21, МиГ-23, МиГ-29, Су-25; Су-22; вертолетов Ми-17, Ми-24 и др. Производство авиационных ДВС на заводе было возобновлено в 1992 г.

Прежде всего, LOM приступил к расширению производственной программы, организовав серийный выпуск двигателей M 132, 332, 137, 337. Межремонтный ресурс этих ДВС был доведен до 2000 летных часов при работе на маслах категории MIL-L-22851D и до 1400 часов при работе на маслах категории MS-20. Позднее на заводе LOM были разработаны и запущены в производство винты V-231, V-341, V-541 и V-546. В настоящее время прошли сертификацию двигатели M 132, 332, 137, 337 варианта "В", отличающиеся повышенной мощностью, которая достигнута путем увеличения частоты вращения коленвала до 3000 мин⁻¹. В процессе сертификации находятся двигатели варианта "С" с повышенной до 8,2 степенью сжатия. Двигатели LOM способны работать не только на авиационных бензинах и маслах восточного и западного производства, но и на автомобильном бензине. Следует подчеркнуть, что моторы LOM сертифицированы не только в Чехии, но и за рубежом. Своим большим достижением руководство фирмы считает получение российского сертификата (№ 77-Д от 18 августа 1995 г.). В настоящее время авиарегистром Российской Федерации сертифицированы двигатели M 332 и M 337 в вариантах "А" и "АК".



Ми-60МАИ

Двигатели LOM пользуются спросом среди европейских, американских и африканских потребителей. Особенно широко эти ДВС используются в России, США, Канаде и Алжире. Российские авиаконструкторы, проектируя новые самолеты и вертолеты с поршневыми двигателями ("Альфа М", Су-38Л, МАИ-219с/х, Ми-60 МАИ и др.), ориентируются преимущественно на моторы марки LOM. Кроме того, ведутся переговоры о подготовке модификаций летающих самолетов Ил-103, Бе-103, "Аккорд", "Аэролада" и других с двигателями LOM.

Завод LOM имеет богатые традиции сотрудничества с российскими партнерами и будет стремиться развивать взаимовыгодные контакты. Руководство LOM выражает искреннюю признательность сотрудникам и нашим друзьям на фирмах "Турботест", "Аэринг", ЦИАМ, АООТ "ОКБ Сухого", ТНТК им. Бериева, МАИ, "Интехавиа", "Рефлай", "Мотив" за совместную плодотворную работу по тематике авиационных ДВС. Мы приглашаем к сотрудничеству и другие заинтересованные организации.

ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ВОЗОБНОВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВА АВИАЦИОННЫХ ДВС НА ЗАВОДЕ LOM

Год	Событие
1989	Соглашение между LOM - AVIA - MOTORLET о передаче конструкторской ответственности и производства авиационных ДВС с завода AVIA на завод LOM.
1990-1991	Подготовка производства. Доводка двигателей М 137, 337, выпущенных после 1.01.1992 г., до ресурса 2000 летных часов. Новое издание технических описаний, инструкций по эксплуатации, каталогов и прейскурантов на чешском, русском и английском языках.
1992	Начало выпуска М 332А, АК и винтов V-231.
1993	Начало выпуска М 337А, АК. Повторная сертификация двигателей авиарегистром ЧР по требованиям регламентов FAR.
1994	Начало выпуска М 132А, АК и его сертификация. Получение канадского сертификата.
1995	Получение российского сертификата на М 332А, АК. Сертификация и производство винта V-532.
1997	Начало производства и сертификация новых винтов V-541 и V-546.
1998	Сертификация вариантов М 332В, 337В.
1999	Получение немецкого LBA сертификата на М 332А, АК и М 337А, АК.
2000	Создание варианта М 332С, 337С.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ДВИГАТЕЛЯ М 337В

Параметр	Режим работы двигателя				
	Взлетный (макс. 5 мин)	Макс. постоянный	Макс. крейсерский	Реверсный	Холостой ход
Мощность, кВт	173 ± 3 %	132 ± 3 %	103 ± 3 %	103 ± 3 %	-
л.с.	235 ± 3 %	180 ± 3 %	140 ± 3 %	140 ± 3 %	-
Частота вращения, мин ⁻¹	3000 ± 3 %	2700 ± 3 %	2400 ± 3 %	Макс. 2600	500...600
Заправочное давление, кПа	122 ± 2	98 ± 2	90,25 ± 2	88,3 ± 2	-
Нагнетатель	Включен	Отключен	Отключен	Включен	Отключен
Расход топлива, л/ч	-	53,6	40...42	-	-
Расход масла, л/ч	-	0,2...1,8	0,2...1,16	-	-

Примечания:

1. Указанные мощности достигнуты на наземном испытательном стенде при стандартной атмосфере МСА и динамическом давлении всасываемого воздуха 2 кПа. Двигатели не оборудовались глушителем выхлопа.
2. Расход топлива при максимальном крейсерском режиме измерялся при условиях:
 - компрессор отключен;
 - температура всасываемого воздуха 15 °С;
 - заправочное давление 0,92 ата (90,25 кПа);
 - частота вращения вала 2400 мин⁻¹.

СОВРЕМЕННЫЕ РАЗРАБОТКИ САМОЛЕТОВ С ДВИГАТЕЛЯМИ LOM

Год	Тип самолета	Двигатель	Заказчик	Страна
1990	Z-142 С	М 337АК	Moravan Otrokovice и лицензия для Алжира	ЧСФР
1993	Z-142 CAF	М 337АК.1	BBC ЧР	ЧСФР
1994	VM-23	М 332А	"Интеко"	ЧР
	СЛ-39ВМ-1	М 337А	"Интеравиа", ЭМЗ им. В.М. Мясищева	Россия
1995	Bu 131	М 332А	Krybus Aviation, Santa Paula	США
	RV-3	М 332А	Krybus Aviation, Santa Paula	США
	MD-2	М 332А	Frontier Aircraft	США
1996	Glastar	М 332А	Standard Hamilton, Moravia Inc	США
1998	C-172	М 332В	Cessna Easter, Moravia Inc (М 332В)	США, Канада
1999	KS-80	М 132А	Tiger Moth	США
	Criquer	М 132А	Carlson	США
	CB-1	М 137	Harz	США
	Storch	М 332А	Canadian Storch	США
	Stol	М 132А	John Doe Aircraft	США
	Zenair 801	М 337В	Zenith Aircraft, Moravia Inc	США
	Bushmaster	М 332В	Rick Schneider	США
	2000	Су-38Л	М 337А, В	АООТ "ОКБ Сухого"
A-31	М 332АК, В	"Интехавиа"	Россия	
Ми-60 МАИ	2 x М 332А	МАИ, МВЗ, "Роствертол"	Россия	
Дельфин - 3	М 332А	ОКБ "Дельфин"	Россия	
Z-143 МАФ	М 337С	Moravan Otrokovice, BBC ЧР	ЧР	



Ан-140 с двигателем ТВЗ-117ВМА-СБМ1

СЕМЕЙСТВО ТВЗ

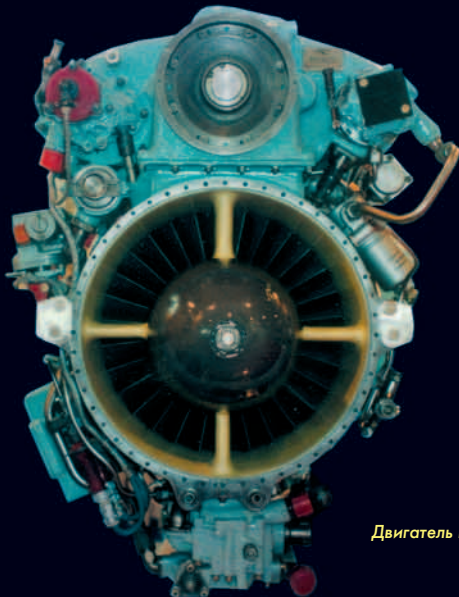
ГУП "Завод им. В.Я. Климова":

Петр Изотов,

главный конструктор

Данила Изотов,

менеджер по рекламе



Двигатель VK-2500

Сегодня почти все отечественные серийные вертолеты, включая новейшие, оснащаются двигателями семейства ТВЗ-117. В ОКБ "Завод им. В.Я. Климова" разработано около 20 модификаций этих моторов. Масштабы выпуска ТВЗ-117 внушают уважение: уже построено более 23 500 единиц, общая наработка которых превышает 12 млн летных часов. Двигатели ТВЗ-117 применяются на вертолетах, эксплуатирующихся в 60 странах Европы, Азии, Америки и Африки, а также в Арктике и Антарктике.

(Окончание. Начало в №№ 2, 3 - 2000 г.)

В 70-80-х годах ТВЗ-117 постепенно завоевал весь рынок двигателей для средних вертолетов в Советском Союзе. Но это были в большинстве своем военные вертолеты: Ми-14, Ми-24, Ми-28, Ка-27, Ка-29, Ка-50. С начала 80-х годов все большую популярность среди эксплуатирующих компаний у нас в стране и за рубежом получали гражданские вертолеты Ми-17 и Ка-32 с различными модификациями двигателя ТВЗ-117. Эти машины оказались чрезвычайно эффективны как при грузопассажирских перевозках, так и при специальных работах - трелевке леса, тушении пожаров, монтаже высотных конструкций и т.п. Безусловно, эти вертолеты по обобщенному параметру технико-экономической эффективности стали лидерами в мировой коммерческой эксплуатации машин аналогичного класса.

В конце 1990 г. встал вопрос о сертификации модификаций ТВЗ-117ВМ/ВМА (серии 02) для вертолетов Ми-17 и Ка-32. В течение двух с половиной лет был защищен весь комплекс сертификационных испытаний на ресурс 3000 ч (назначенный) и 1500 ч (межремонтный) по требованиям Авиационного регистра Межгосударственного авиационного комитета (АР МАК).

В связи с проектированием ТВЗ-117 по военным нормам прочности для сертификации в АР МАКе необходимо было провести ряд дополнительных испытаний: разгонные испытания роторов, обрыв лопаток турбин, заброс мелких и средних птиц, снега, льда, воды и града, для чего была изготовлена специальная пневматическая пуш-

- 117: НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ

ка. Кроме этого была подготовлена доказательная сертификационная документация. Одновременно двигатель проходил ресурсные испытания, результаты которых были зачтены при сертификации,

24 июня 1993 г. "Климову" был выдан Сертификат типа АР МАК № 34-Д, в котором отмечалось: "типовая конструкция двигателей ТВЗ-117ВМ, ТВЗ-117ВМ серии 02, ТВЗ-117ВМА, ТВЗ-117ВМА серии 02 соответствует специальным нормам годности НЛГ-32.33". Для фирмы это было настоящим событием: военный двигатель, проектировавшийся на ресурс 300 ч, успешно прошел гораздо более сложные "гражданские" испытания на ресурс 3000 ч!

Запасы газодинамической устойчивости компрессора, который до сих пор является лучшим в России, позволили коллективам "Климова" и "Мотор Сич" под руководством генерального конструктора А.А. Саркисова и генерального директора В.А. Богуслаева в дальнейшем модернизировать двигатель как в направлении повышения технических характеристик и совершенствования технологии производства, так и в направлении продления ресурса. В 1999 г. двигатели получили назначенный ресурс в 7500 ч и до 1-го ремонта в 2000 ч. В настоящее время завершается оформление ресурса до 1-го ремонта на 3000 ч.

Вертолеты "Миля" и "Камова", во многом благодаря надежной работе мощной силовой установки, получали все более широкое распространение, в том числе и в самых густонаселенных странах планеты - Индии и Китае. В августе 1994 г. двигатели ТВЗ-117ВМ (се-

рии 02) для вертолета Ми-17 были удостоены Сертификата типа Индии, через пять лет, в июле 1999 г., - Сертификата типа Китая. В мае 1998 г. двигатели ТВЗ-117ВМА (серии 02) для вертолета Ка-32 получили Сертификат типа Транспорта Канады, страны, являющейся, во-первых, одним из мировых лидеров авиационной промышленности и, во-вторых, членом блока НАТО. В ближайшем будущем будет получен канадский Сертификат на двигатели ТВЗ-117ВМ (серии 02) для Ми-17. Наличие этих сертификатов весьма упрощает продажу российской гражданской авиатехники не только в Индии, Китае и Канаде, но и на мировом рынке в целом.

В начале 2000 г. при поддержке инициативы "Климова" и "Мотор Сич" на самом высоком государственном уровне было образовано Закрытое акционерное общество "Двигатели Владимир Климов - Мотор Сич" (сокращенно - ЗАО "ВКМС"). Основной целью ЗАО является координация работ этих предприятий по производству, ремонту и эксплуатации двигателей ТВЗ-117 в России, странах СНГ и дальнем зарубежье. Кроме того, ВКМС объединяет усилия российских и украинских авиадвигателестроителей по созданию новых модификаций на базе сертифицированного двигателя ТВЗ-117ВМА (ВК-2500, ВК-1500, ВК-1500В) и ряду других работ.

В конце 1994 г. "Климов" вышел с предложением о форсировании двигателя ТВЗ-117ВМА на взлетном режиме до мощности 2400 л.с. и на чрезвычайном режиме - до 2700 л.с. Это позволило бы резко улучшить летно-технические характеристики как существующих вертолетов, так и вновь создаваемых (Ми-28Н, Ка-50 и др.). Восстановив традиции ОКБ, двигателю дали индекс по инициалам его первого генерального конструктора Владимира Климова - ВК-2500 (ТВЗ-117ВМА-СБЗ). Новая конструкция турбины компрессора с лопатками из материала ЖС-26 направленной кристаллизации и другими усовершенствованиями позволили увеличить температуру газа перед турбиной с 1263 до 1293 К и обеспечили запланированное повышение мощности. Кроме того, на двигателе применена новая цифровая система автоматизированного управления и контроля БАРК, обеспечивающая оптимизацию эксплуатационных характеристик двигателя и вертолета (системы БАРК разрабатываются и производятся на специально созданном на "Климове" новом производстве).

При установке двигателя ВК-2500 вертолеты смогут подниматься на 1 км выше при нагрузке, большей на 1...2 т (в зависимости от типа вертолета). При этом поддержание режимов двигателей происходит до температуры окружающего воздуха +40 °С. Эти качества придают вертолетам, как гражданским, так и военным, принципиально новые возможности при эксплуатации в высокогорных районах и районах с жарким климатом. Увеличивается скорость и улучшается маневренность вертолетов. Двигатель ВК-2500 будет устанавливаться на все ранее выпускавшиеся типы средних вертолетов "Ми" и "Ка". Его производство налаживается и на серийном заводе "Мотор Сич", и на "Климове" (в январе 1999 г. "Климов" получил лицензию на право производства ТВЗ-117, тем самым став единственным серийным заводом в России по изготовлению вертолетных двигателей).

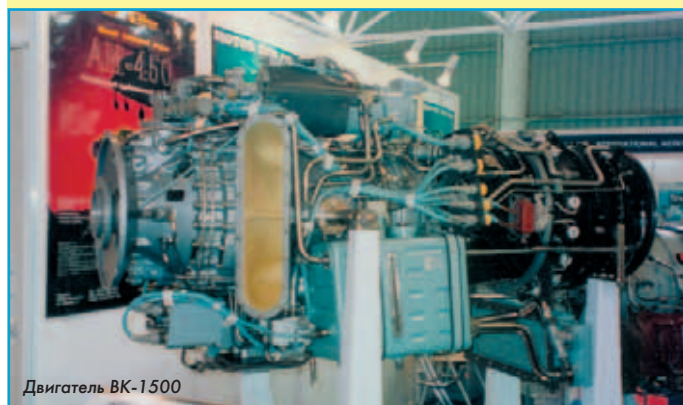
Летные испытания ВК-2500 начались в конце мая 2000 г. на Ростовском вертолетном заводе. Первый полет был совершен 28 мая, а 30 мая состоялась официальная презентация модифицированного вертолета Ми-24 с двигателями ВК-2500. Большая заслуга в осуществлении этого проекта принадлежит недавно ушедшему из жизни генеральному директору "Роствертола" М.В. Нагибину и его преемнику В.Н. Слюсарю. В конце сентября два двигателя ВК-2500 отправлены на фирму "Камов" для установки на вертолет Ка-50. Следующие опытные двигатели ВК-2500 изготавливаются для Казанского (для установки на Ми-17) и Московского (для Ми-28Н) вертолетных заводов.

В настоящее время двигатель проходит цикл испытаний, которые должны закончиться к концу 2000 г. получением Сертификата типа АР МАК.

Самым привлекательным для эксплуатирующих компаний в этом двигателе является то, что при выполнении ремонта любую модификацию ТВЗ-117 можно переделать в модификацию ВК-2500. При этом значительно повысятся летно-технические характеристики уже эксплуатирующихся вертолетов. Эти работы будут выполняться только на "Климове" и "Мотор Сич".



Презентация Ми-24 с двигателями ВК-2500 (30 мая 2000 г.)



Двигатель ВК-1500



Ми-171 с ТВЗ-117ВМА (на переднем плане), Ан-140 с ТВЗ-117ВМА-СБМ1 (на заднем плане)



Двигатель ВК-2500



Генеральный конструктор А.А. Саркисов среди своих "детей"



Одновременно с началом работ по ВК-2500, в 1995 г., после многочисленных обсуждений, было принято решение о применении серийного сертифицированного двигателя ТВ3-117ВМА в турбовин-

получил Сертификат типа АР МАК. Двигатель передан в серийное производство на завод "Мотор Сич".

В 1998-1999 гг. "Климов" спроектировал на базе узлов двигателей ТВ3-117ВМА и ВК-2500 турбовинтовой двигатель ВК-1500 мощностью 1500 л.с. для самолетов местных воздушных линий Ан-38, Ан-3, Бе-32. В двигателе были применены: 10-ступенчатый компрессор (вместо 12-ступенчатого), современная укороченная камера сгорания, двухпорный турбокомпрессор без промежуточной опоры между компрессором и турбиной, силовая турбина с выводом вала по оси двигателя как вперед (для турбовинтовых и турбовальных вариантов двигателя), так и назад (для турбовальных вариантов), новая цифровая система автоматического регулирования и контроля.

Высокая степень унификации узлов и деталей позволит в кратчайшие сроки завершить разработку, провести испытания и сертификацию двигателя (запланирована на конец 2001 г.) и внедрить его в массовое производство на заводе "Мотор Сич". А в перспективной разработке уже находится проект турбовального двигателя ВК-1500В для вертолетов типа Ка-60/Ка-62.

"Климов" продолжает разрабатывать "газовые" варианты вертолетных двигателей. Сейчас проектируется политопливная модификация ТВ3-117 с топливрегулирующей аппаратурой, аналогичной ТВ2-117ТГ (см. "Двигатель" № 1 - 2000). Двигатель будет способен работать на попутном нефтяном газе, авиационном сконденсированном топливе (АСКТ), пропане, бутане, авиационном и автомобильном бензине, керосине, дизельном топливе и их смесях с авиационным топливом. Этот двигатель предназначен для эксплуатации на вертолетах Ми-17 в труднодоступных районах Севера и Сибири, где наблюдается дефицит и низкое качество авиационного топлива. К тому же эти районы насыщены нефтяными месторождениями, где попутный газ при добыче нефти выбрасывается в атмосферу и сжигается без какой-либо пользы. Использование этого газа на вертоле-

МОДИФИКАЦИИ ДВИГАТЕЛЯ ТВ3-117ВМА

Двигатель (применение)		Сертификат типа	N _{ном} /N _{чр}	Разработчик	Производитель
Базовый двигатель ТВ3-117ВМА		АР МАК №34-Д, Канада IЕ-35, Китай №VTC090E, Индия №5-9/88-RD-2E	2200 л.с./2400 л.с.	"Климов"	"Мотор Сич", "Климов"
Самолеты	ТВ3-117ВМА-СБМ1 (Ан-140)	АР МАК № СТ183-АМД	2500 л.с./2800 л.с.	"Прогресс", "Мотор Сич", "Климов"	"Мотор Сич"
	ВК-1500 (Ан-38, Ан-3, Бе-32)	Сертификация 2001 г.	1500 л.с.	"Климов"	"Мотор Сич"
Вертолеты	ВК-2500 (Ми-17, Ми-24, Ми-28Н, Ка-32, Ка-50)	Сертификация 2001 г.	2400 л.с./2700 л.с.	"Климов"	"Климов", "Мотор Сич"
	ВК-1500В (Ка-60, Ка-62)	Сертификация 2002 г.	1500 л.с.	"Климов"	"Климов" в кооперации с "Мотор Сич"
Энергетика	ГПП-1,25/ГПП-2,5 (мобильные электростанции, газоперекачивающие станции)	Промышленная эксплуатация с 1998 г.	1,25...2,5 МВт	"Климов"	"Климов"

товом варианте для двухдвигательного самолета местных воздушных линий фирмы "Антонов" Ан-140. Первоначальная взлетная мощность двигателя ТВ3-117ВМА-СБ2 была определена в 1850 л.с., поэтому с целью максимального использования узлов и деталей базового двигателя и сокращения сроков его создания была выбрана схема с внешним валом винта и задним выносным редуктором, являющимся одновременно коробкой самолетных агрегатов. Два экземпляра этого двигателя в апреле 1997 г. начали одновременно стендовые испытания на "Климове" и "Мотор Сич". А уже в сентябре 1997 г. опытный самолет Ан-140 совершил первый испытательный полет. В дальнейшем в связи с увеличением числа пассажиров с 44 до 52 необходимо было увеличить мощность двигателя до 2500 л.с. По объективным причинам и по взаимной договоренности доводкой этого двигателя, получившего новое обозначение ТВ3-117ВМА-СБМ1, занялся коллектив ЗМКБ "Прогресс" под руководством генерального конструктора Ф.М. Муравченко. На двигателе была полностью сохранена схема предшественника. "Прогресс" успешно справился с поставленной задачей, и в апреле 2000 г. двигатель ТВ3-117ВМА-СБМ1

тах не только дало бы большую экономию материальных средств, но и способствовало бы улучшению экологии в этих районах.

Рыночные отношения заставили коллектив "Климова" искать новое, "неавиационное", применение своим газотурбинным двигателям: модифицированные двигатели ТВ3-117 теперь служат и в энергетике в качестве приводов электрических генераторов, высоконапорных гидравлических насосов, компрессоров и других приводных устройств. Установки с этими приводами находятся в промышленной эксплуатации с 1998 г.

Созданный почти 30 лет назад двигатель ТВ3-117 до сих пор не исчерпал всех своих возможностей благодаря заложенному высокому характеристикам компрессора. Коллективы "Климова", "Мотор Сич" и их детища ВКМС продолжают и будут продолжать его совершенствование и создание новых двигателей самого знаменитого российского семейства вертолетных двигателей еще, как минимум, на протяжении всего первого десятилетия наступающего века. А по прогнозам специалистов двигателя ТВ3-117 останутся в строю, по крайней мере, до середины XXI века.

DIGEST

TV3-117 FAMILY: TODAY AND TOMORROW

Nowadays, almost all Russia series helicopters, including the latest, are powered by TV3-117. V.Ya. Klimov's Design Bureau developed about 20 modifications of the engine. Production scale is impressive: about 23,500 units were manufactured and their total accumulated flight hours exceeded 12,000,000. TV3-117 engine is under operation in 60 countries in Europe, Asia and America. Market relations caused Klimov's company to search for new areas of applications (out-of the aviation industry) for GTEs: modified TV3-117 engines found use as drives of electric generators in the power industry, high-pressure hydraulic pumps, compressors and other driving devices.



требностям России в различных видах авиационной техники в XXI веке. С докладом об авиакосмических материалах нового поколения выступил заместитель директора ВИАМ Б.С. Ломберг.

Работа конференции проходила по секциям:

- теоретическая и экспериментальная газовая динамика;
- численные методы и математическое моделирование;
- фундаментальные проблемы турбулентности, горения и перспективных топлив;
- проблемы проектирования и междисциплинарной оптимизации лопаточных машин;
- проблемы прочности и новые конструкционные материалы;
- проблемы разработки силовых и энергетических установок нового поколения и систем управления ими.

Во время работы конференции было заслушано более 120 докладов и сообщений. В состоявшихся дискуссиях приняли участие не только молодые специалисты, но и известные в отрасли ученые - специалисты ЦИАМ, ВИАМ, ЦАГИ и других ведущих научных центров отрасли.

В последний день работы были подведены итоги и обсуждены важнейшие научные задачи, стоящие перед учеными в XXI веке. В докладах руководителей секций был отмечен высокий уровень представленных работ, а 14 молодых ученых, сделавших лучшие доклады, удостоились награды.

Неоспоримо, что решающим фактором экономического роста и гарантом безопасности страны является развитие науки и эффективное использование достижений технического прогресса. Также вряд ли у кого-либо вызывает сомнение, что именно молодежь является основной силой, способной перенять, сохранить и приумножить научно-технический потенциал, которым сегодня располагает отрасль. Примечательно, что ЦИАМ накануне своего 70-летнего юбилея смог первым среди других институтов и организаций в наше время провести молодежный форум. Конференция еще раз подтвердила исключительную важность непрерывного и активного воспитания научных и творческих кадров.

ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

Екатерина Джамай,
сотрудник ЦИАМ, к.э.н.

Событие, о котором рассказывается в настоящей статье, было настолько привычным в доперестроечные времена, что тогда особого внимания оно не привлекало: в любой отрасли молодежные конференции были обязательными, даже ритуальными мероприятиями. Теперь они проводятся настолько редко, что невольно навевают ностальгические воспоминания.

В 2000 году - юбилейном для Центрального института авиационного моторостроения им. П.И. Баранова - состоялась Всероссийская конференция молодых ученых "Проблемы исследований и разработок по созданию силовых и энергетических установок XXI века". Проводилась она при частичной поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. В конференции приняли участие около 140 молодых ученых из ведущих отраслевых и академических институтов, предприятий и организаций авиационной и ракетно-космической промышленности, причем присутствовали не только москвичи, но и представители из других городов России: Новосибирска, Рыбинска, Обнинска, Перми и других. На открытие конференции съехались почти 200 участников и гостей.

Со вступительным словом выступил начальник ЦИАМ В.А. Скибин. Он отметил, что за последние десять лет это первая конференция молодых ученых и специалистов, проводимая в ЦИАМ. Основное внимание Владимир Алексеевич уделил задачам и перспективам в области модификации и модернизации существующих двигателей, а также проблемам создания конкурентоспособных на мировом рынке двигателей нового поколения.

Несмотря на то, что в России сохраняются факторы, оказывающие отрицательное воздействие на разработку и производство конкурентоспособной авиационной техники, в том числе и современных двигателей нового поколения, отечественное авиастроение все же обладает значительным научно-техническим, производственным и кадровым потенциалом.

На пленарном заседании с докладами выступили руководители ведущих предприятий отрасли. Приятным сюрпризом для участников конференции послужило обращение к молодежи заместителя генерального директора Российского авиационно-космического агентства С.Ю. Рынкевича. В своем выступлении он, в частности, отметил, что молодым специалистам отводится в отрасли ведущая роль, так как именно активная и творческая молодежь определяет лицо науки и промышленности будущего. Сопредседатель конференции А.Н. Крайко отметил, что, несмотря на значительные трудности, сегодня удалось сохранить высокий уровень исследований, проводимых молодыми учеными и специалистами ЦИАМ. Г.А. Павловец - первый заместитель директора ЦАГИ - раскрыл перспективы развития авиационной промышленности, уделив особое внимание по-

DIGEST

All Russia conference of young scientists "Research and development problems as regards powerplants of the XXI century" took place in 2000, the jubilee year for Central Institute of Aviation Motors (CIAM). About 140 young scientists of leading academic and branch institutes, aerospace industry enterprises and organizations participated in the conference. Young specialists came from Novosibirsk, Rybinsk, Obninsk, and Perm. About 200 participants and guests attended the conference opening. Over 120 papers were read.

ALL RUSSIA CONFERENCE OF YOUNG SCIENTISTS

СЕРДЦЕ ИСТРЕБИТЕЛЯ

Александр Николаев

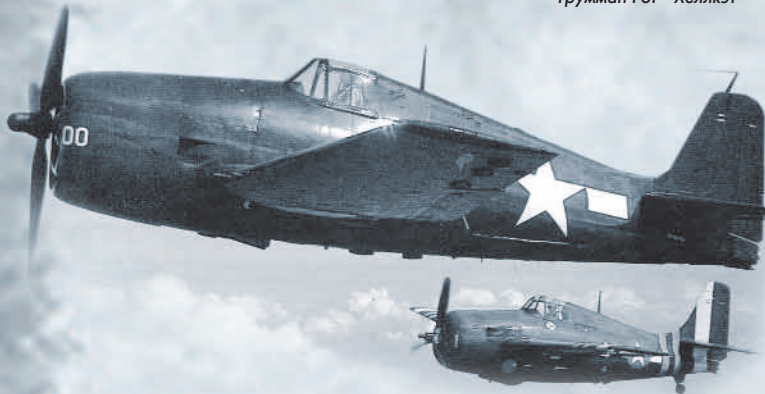
(Окончание. Начало в №№ 3-6 - 1999 и в №№ 1, 3 - 2000)

Чисто американский истребитель

В ходе воздушной войны над Тихим океаном быстро выявилась разница в подходах к понятию "истребитель", отличавшая японских конструкторов от американских. Напомним, что в начальный период боевых действий Страна Восходящего Солнца не располагала авиационными двигателями мощностью более 1100...1200 л.с., поэтому в погоне за высокой скоростью, маневренностью и достаточной для действий над огромными просторами океана дальностью японцы вынуждены были пойти на всемерное облегчение своих машин, жертвуя бронированием, вооружением, а порой даже и прочностью. Это самым жестким образом отразилось на потерях: если американцы теряли в боях только одного пилота на пять сбитых истребителей, то японцы - в среднем одного на трех.

Создавая новый палубный истребитель F6F "Хеллкэт" (в вольном переводе - "Дьявольский кот"), главный конструктор фирмы "Грумман" Вильям Швендлер опирался на философию, абсолютно противоположную "японской". Суть ее сводилась к рефрену "как можно больше": как можно больше - мощность двигателя, как можно больше вооружения, как можно больше бронирования. На раннем этапе отказавшись от "слабого" мотора "Райт" R-2600 (1600 л.с.), Швендлер сделал ставку на весивший более тонны, но зато и обладавший мощностью 2000 л.с. двигатель R-2800 "Дабл Уосп", разработанный фирмой "Пратт энд Уитни". В результате на свет появился монстр, взлетная масса которого превышала 5,5 т. Его вооружение состояло из шести 12,7-мм пулеметов, все жизненно важные части истребителя прикрывали 90 кг брони. Протектированный топливный бак под кабиной пилота емкостью более 1000 л обеспечивал дальность полета 3400 км. Огромная мощность двигателя позволяла этому чудовищу разогнаться до 630 км/ч. По площади крыла, превышавшей 33 м², "Хеллкэт" опережал все одномоторные истребители Второй мировой войны, поэтому его горизонтальная маневренность оказалась относительно неплохой, а скороподъемность у земли превысила 1000 м/мин.

На переднем плане истребитель Грумман F6F "Хеллкэт"



В январе 1943 г. эскадрилья VF-9 авианосца "Эссекс" получила на вооружение первые серийные "Хеллкэты". Однако освоение истребителей затянулось, и впервые они приняли участие в воздушных боях только в конце августа 1943 г. Американский флот входил в фазу исключительного могущества: так, в составе одного только 50-го авианосного соединения "в одной связке" выполняли боевую задачу шесть тяжелых, пять легких и восемь эскортных авианосцев, на борту которых размещались более 900 самолетов! Эта "передвижная мясорубка" в ноябре 1943 г. решила судьбу сражения у островов Гильберта, а в начале 1944 г. буквально растерзала японскую авиационную группировку в районе Маршалловых островов. Так, 16 февраля 1944 г. семьдесят "Хеллкэтов", поднявшихся с авианосцев для нанесения удара по острову Трук, по американским данным сбили 55 японских истребителей в воздухе, а еще около полусотни уничтожили на земле ценой потери всего четырех своих. Техническое превосходство в сочетании с численным перевесом янки не оставляло императорским пилотам никакой надежды. В январе 1944 г. в серию был запущен двигатель R-2800-10W, временно развивавший максимальную мощность 2200 л.с. (на режиме впрыска воды в цилиндры). Максимальная скорость варианта F6F-5, оснащенного этим двигателем, выросла до 660 км/ч. Ни один из японских истребителей не мог ускользнуть от погнавшегося за ним "Хеллкэта", а "американец" располагал возможностью свободно выйти из боя в любой момент.

"Хеллкэт" не был первым истребителем ВМС США с двигателем марки R-2800. Еще в июне 1942 г. в воздух поднялся головной серийный F4U "Корсар", разработанный под руководством главного конструктора фирмы "Чанс Воут" Рекса Бейсела. По составу вооружения, бронированию и большинству летных характеристик "Корсар" являл собой почти копию "Хеллкэта", только созданную на полгода раньше. Характерной особенностью F4U было крыло типа "обратная чайка", которое конструкторы применили с целью уменьшения посадочной скорости истребителя. Опытная машина блестяще прошла испытания (если не считать аварии из-за отказа мотора) и оказалась первым американским авианосным самолетом, превысившим скорость 400 миль/ч (643 км/ч).

Но на этапе внедрения в серию "Корсар" поджидали две неприятности. Во-первых, военно-морское ведомство решило подключить к производству истребителя фирму "Брюстер", которая, как выяснилось впоследствии, не располагала необходимыми технологиями. Почти полтысячи "ястребков", выпущенных "Брюстер", оказались непригодными для ведения боевых действий из-за крайне низкого качества изготовления. В результате проведенного парламентского расследования стали известны факты коррупции госчиновников при выдаче заказа. "Брюстер" не пережила скандала и прекратила существование, а никому не нужные истребители серьезно подорвали репутацию "Корсара". Другой крупной неприятностью завершились войсковые испытания истребителя на авианосце "Сэнгамон", начатые в сентябре 1942 г. Молодые пилоты заявили, что "Корсар" исключительно сложен при посадке на авианосец. Мощный мотор с круглым капотом закрывал обзор, так необходимый при планировании и расчете точки касания. Вдобавок и конструкторы ошиблись, разместив топливный бак между пилотом и двигателем, из-за чего кабину пришлось сильно сдвинуть назад. Ос-

ложнила карьеру палубного истребителя "Корсар" и неудержимая тяга последнего к прогрессирующим "козлам" на пробеге.

В конце концов, от греха подальше, командование ВМС США решило отдать все серийно выпущенные F4U в авиацию морской пехоты. Этот особый род военно-воздушных сил получил замет-



Чанс Воут F4U "Корсар"

ное развитие только у янки, готовившихся к масштабным амфибийным операциям. Командование авиации "маринес" было "вечно обиженным", так как новинки, поступающие на вооружение флота, поставлялись "морпехам" в последнюю очередь. А тут такой случай - истребитель с выдающимися летными характеристиками оказался, грубо говоря, не ко двору американским ВМС. Правда, и в авиации морской пехоты пришлось почти полгода "доводить до ума" непослушного "Корсара".

Другой жертвой коварства американских адмиралов оказались их английские коллеги. По ленд-лизу Великобритания получила более 2000 "Корсаров", и "морские разбойники" вскоре подтвердили свой дурной нрав. В катастрофах разбились несколько асов, включая известного командира эскадрильи. Пришлось ускоренно дорабатывать машины путем переделки фонаря кабины, подъема кресла пилота и установки турбулизаторов, исключавших сваливание истребителя на крыло при пологом планировании.

Только в 1944 г. "Корсары" излечились от "детских болезней" и вновь стали рассматриваться в качестве претендентов на роль палубных истребителей для ВМС США. В известной степени этому способствовал новый вариант вооружения, включавший четыре 20-мм пушки в крыле. Кроме того, летчики из морской пехоты сумели выявить превосходные качества истребителя при атаке наземных целей с применением бомб и реактивных снарядов.

Помимо англичан с "Корсарами" пришлось близко познакомиться новозеландцам (поставлено около 300 машин), а в послевоенный период - и французам. Их легкие авианосцы, участвовавшие в конфликте в Индокитае, несли на своих палубах истребители F4U-7. Надо сказать, что "Корсар" оказался одним из самолетов-долгожителей, и еще в 1958 г. 14-я флотилия авианосца "Арроманш" имела на вооружении эти машины.

Накануне Второй мировой войны Воздушный корпус армии США также выдал задание на разработку истребителя с мотором "Пратт энд Уитни" R-2800. На фирме "Рипаблик" проектирование возглавили два русских инженера, Александр Северский и Александр Картвели. Северский - один из немногих русских асов Первой мировой войны, на его счету тринадцать сбитых германских аэропланов в 57 воздушных боях. Сам он также был сбит, тяжело ранен и потерял ногу. Мужественный пилот после излечения возобновил полеты и, таким образом, предвосхитил всем известный подвиг А. Маресьева. Северский эмигрировал в США в 1918 г. и начал карьеру инженера и летчика-испытателя. Спустя тринадцать лет он организовал авиационную корпорацию, в которой числился президентом, генеральным конструктором и лет-

чиком-испытателем. Впрочем, вся номенклатура должностей на этом и исчерпывалась. Вторым сотрудником "могучей" корпорации стал еще один эмигрант из России, талантливый авиаконструктор А. Картвели. В 1936 г. эта парочка создала первый в Соединенных Штатах истребитель с убирающимся шасси, получивший в серийном производстве обозначение P-35.

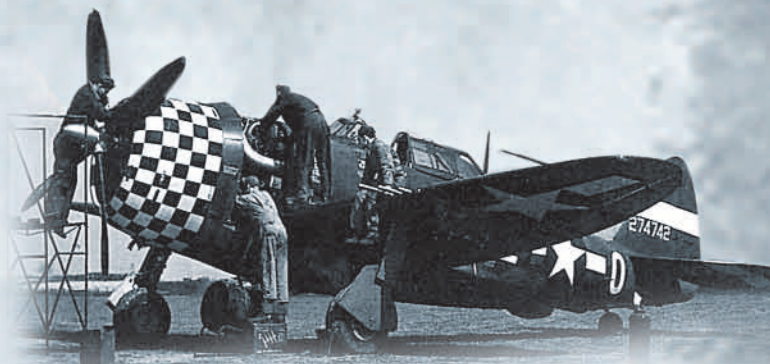
Однако конструкторией, по-настоящему прославившей Северского и Картвели, стал P-47 "Тандерболт" ("Удар молнии") - самый массовый американский истребитель в годы Второй мировой войны. Получив предварительное задание на разработку, Картвели на обороте открытки стал быстро прикидывать, что за машина может получиться, если ее оснастить "Дабл Уоспом". Закончив оценку, он откинулся на стуле и мечтательно сказал: "Это будет динозавр, но очень пропорциональный динозавр". В отличие от палубных машин, P-47 предназначался прежде всего для сопровождения тяжелых бомбардировщиков. Как известно, американские четырехмоторные бомбовозы B-17 "Флаинг Фортресс" и B-24 "Либерейтор" имели моторы, оснащенные турбокомпрессорами, что обеспечивало им большую высотность (около 9000 м). Двигатель "Тандерболта" также снабдили турбокомпрессором C-23-LY фирмы "Дженерал Электрик" и промежуточным радиатором, охлаждавшим сжатый воздух перед карбюратором.

Мощное вооружение самолета (6-8 пулеметов "Браунинг" калибра 12,7 мм) и большой запас топлива (1155 л во внутренних баках) обусловили очень большую полетную массу, составившую у P-47D-10 почти 6 т, а в перегрузочном варианте - 6,7 т. При площади крыла 27,87 м² удельная нагрузка превысила 200 кг/м², пересаживая за грань, считавшуюся в ту пору опасной. Американские пилоты утверждали, что в крутом пикировании скорость "Тандерболта" порой зашкаливала за 1000 км/ч. Благодаря мощному мотору в горизонтальном полете на высоте 8500...9000 м самолет был способен разогнаться до 660 км/ч, свободно обгоняя немецкие поршневыми истребители. За большие размеры и форму фюзеляжа, близкую к цилиндрической, к самолету прочно прилипли клички "летающий линкор" и "бочка с молоком".

Что касается оценки маневренных качеств P-47, то тут мнения расходятся. Советский летчик-испытатель М.Л. Галлай, участвовавший в облете одного из поставленных в нашу страну по ленд-лизу "Тандерболтов", своих впечатлений не скрывал: "Это - не истребитель!" (но Марку Лазаревичу, вероятно, и не приходилось "воевать с немцем" на высоте 9...10 км. Здесь отечественные истребители могли только балансировать на грани сваливания, задрожав нос и тщательно выдерживая скорость порядка 350...400 км/ч.). Вероятно, у земли P-47 действительно превращался в толстую неповоротливую крякву, любимую мишень для немца-охотника. На большой высоте роли менялись! В "черные дни" лета 1944 г. "люфтваффе" порой теряли за сутки более сотни истребителей, отражая налеты союзников на свои города. Подразделения "Тандерболтов" не знали таких потерь.

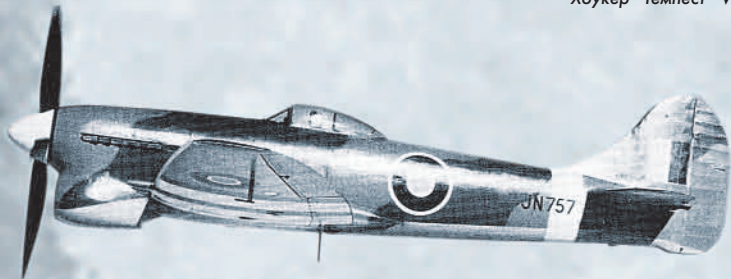
Более того, высокая живучесть цельнометаллической конструкции P-47 позволила на последнем этапе войны применить его

Рипаблик P-47D "Тандерболт"



в роли штурмовика. В то время, ожесточенно отбиваясь, немцы сосредоточили большую часть своих истребителей для обороны территории Рейха, фактически оголив Западный фронт. По свидетельству советской миссии, посетившей в сентябре 1944 г. расположение американской 19-й тактической авиагруппы во Франции, пилоты "Тандерболтов" завидовали русским летчикам и жаловались на полное отсутствие воздушного противника: ведь за 50...80 боевых вылетов они ни разу не встретили врага! Зато сколько они уничтожили мостов, паро-

Хоукер "Темпест" V



возов, сколько перебили автомашин... Руководитель советской делегации указывал в отчете: *"Пролетая над территорией Франции, мы не видели ни одного исправного автомобильного или железнодорожного моста, ни одной уцелевшей железнодорожной станции - только горы искореженного металла. Все это сделала авиация союзников"*.

Опоздавшие на войну

Сидней Кэмм, "отец" знаменитых истребителей "Харрикейн", "Тайфун", "Хантер" и "Харриер", для англичанина олицетворял то же, что для советского человека - А.И. Микоян: гордость нации, один из наиболее талантливых авиационных конструкторов компании "Хоукер", специализировавшейся на создании "ястребков". Последним детищем Кэмма, принимавшим участие в сражениях Второй мировой войны, стал "Темпест". При его разработке конструктор постарался устранить все слабые места предшественника - "Тайфуна" и в особенности не слишком удачную конструкцию крыла, чрезмерно толстого для быстроходного истребителя. Второй важной идеей стал перенос радиаторов из огромной "борода" "Тайфуна" в переднюю кромку крыла. Кроме того, специально для "Темпеста" фирма "Нэпир" приступила к разработке двигателя "Сейбр" IV чрезвычайной мощностью 2500 л.с. Рассматривались и альтернативные варианты с моторами "Центавр" IV фирмы "Бристоль" и "Гриффон" 61 фирмы "Роллс-Ройс".

Все упомянутые двигатели летом 1942 г., когда был готов планер истребителя, оказались недостаточно доведенными. В результате первым поднявшимся в воздух "Темпестом" стал вариант V с штатным мотором "Тайфуна" ("Сейбр" II максимальной мощностью 2180 л.с.), считавшийся резервным. Благодаря новому крылу и улучшенной аэродинамике в июне 1943 г. истребитель с нормальной полетной массой 5,2 т развил фантастически высокую скорость горизонтального полета - 750 км/ч на высоте 7500 м. Его практический потолок составил 11,9 км, а дальность полета - 1240 км. Высоту 4500 м опытный "Темпест" V набирал за 4,5 мин. Увы, повторить в серии радиаторы, изготовленные опытнейшими мастерами "Непир", не удалось. Поэтому на серийных "Темпестах" V конструкция силовой установки полностью воспроизвела примененную на "Тайфуне", а в передней кромке крыла вместо радиаторов смонтировали дополнительные топливные баки.

Пилоты строевых частей с энтузиазмом встретили даже этот, существенно ухудшенный вариант, и считали его "Тайфуном, лишенным недостатков, более быстрым по сравнению с FW 190 и наилучшим истребителем для применения на малых

высотах". Летом 1944 г. "Темпесты" стали широко применять для борьбы с самолетами-снарядами "Фау-1". К концу сентября, когда пик борьбы с "летающими бомбами" миновал, шесть эскадрилий "Темпестов" уничтожили 638 "Фау" из 1771, сбитых британскими ВВС. Благодаря высокой скорости полета "Темпест" являлся грозным противником немецких реактивных истребителей. Так, на счету 122-го авиакрыла (три эскадрильи) к концу войны числились 8 сбитых и 15 поврежденных Me 262. Истребительное командование до конца войны получило около 800 "Темпестов" V. В едином строю с последними вариантами "Спитфайров" и американскими "Мустангами" и "Тандерболтами" эти машины стали непроходящей головной болью для командования "люфтваффе", и лекарства от этой боли не существовало!

Доводка варианта "Темпест" II с 18-цилиндровым двигателем воздушного охлаждения "Центавр" IV затянулась на послевоенный период. До подписания Японией капитуляции "Темпесты" II успели поступить на вооружение всего одной эскадрильи. Обладая максимальной скоростью 711 км/ч на высоте 4600 м, они превосходили подавляющее большинство истребителей противника, хотя и не дотянули до уровня требований проекта "Темпеста" I. В составе британских ВВС они прослужили до конца 1953 г.

И наконец, завершающим штрихом в наращивании боевых возможностей английского Истребительного командования стало принятие на вооружение двухдвигательного реактивного истребителя "Метеор", разработанного фирмой "Глостер". В июле 1944 г. в метрополии была сформирована 616-я эскадрилья, получившая на вооружение "Метеоры". Однако бросить ее в бой против немецких Me 262 англичане не решились, поскольку первые двадцать истребителей модификации F.1 оснащались уиттловскими двигателями W.2B тягой всего по 900 кгс. В сочетании с не слишком удачной аэродинамикой самолета (короткое толстое крыло, бочкообразные мотогондолы большого сечения) эти маломощные "движки" смогли обеспечить машине массой 6265 кг максимальную скорость всего 668 км/ч. Современный "Метеору" Me 262A был куда быстрее - приблизительно на 150 км/ч. Вдобавок он нес более мощное вооружение (четыре 30-мм пушки против четырех 20-мм) и имел лучшую маневренность. Это уже после войны, 7 ноября 1945 г. "Метеор" F.4 с новым крылом и вытянутыми мотогондолами, оснащенный двумя роллс-ройсовскими "Дервентами" тягой по 1360 кгс, разогнался до 975 км/ч и побил мировой рекорд скорости.

А летом 1944 г. англичане сочли за благо направить первые серийные "Метеоры" на борьбу со все теми же "Фау-1". 4 августа пилот 616-й эскадрильи Дин атаковал самолет-снаряд с малой дистанции, но - фантастический случай - отказали все четыре пушки. Тогда англичанин подошел вплотную и подцепил "Фау" крылом за крыло. Автопилот летающей бомбы не сумел отработать столь мощное возмущение, самолет-снаряд свалился в штопор и рухнул в море. Только в январе 1945 г. "Метеоры" F.3 с "Дервентами" из 616-й эскадрильи приземлились на аэродроме континентальной Европы. Их максимальная

Глостер "Метеор" I



скорость составляла уже около 780 км/ч. Для того чтобы исключить обстрел своими войсками, самолеты "с ног до головы" были окрашены матовой белой краской. Залетать на территорию противника пилотам-реактивщикам воспрещалось во избежание захвата немцами секретной техники. Вплоть до конца войны успехи эскадрильи оставались очень скромными, но это не помешало англичанам "застолбить" ее место в истории как первого в мире регулярного авиационного подразделения, вооруженного реактивными истребителями.

Похожей сложилась в годы Второй мировой войны и судьба первого американского реактивного истребителя. Напомним: в 1941 г. американцы получили в дар от англичан конструкторскую документацию на реактивный двигатель W.2B, созданный фирмой "Пауэр Джетс". Более того, в США были поставлены два опытных "движка". Воспользовавшись этим, фирма "Белл" создала первый в США экспериментальный реактивный самолет XP-59A "Айракомет" с двумя ТРД типа I-A (лицензионным воспроизведением W.2B), а "Локхид" уже в 1943 г. разработала однодвигательный истребитель P-80A "Шутинг Стар". После не слишком удачных опытов с ТРД "Халфорд" фирмы "Де Хевилленд" главный конструктор фирмы "Локхид" Хэл Хиббард решил установить на P-80 двигатель I-40, созданный компанией "Дженерал Электрик" на базе уиттловского W.2B и отличавшийся значительно большей тягой - 1800 кгс.

В июне 1944 г. "Шутинг Стар", оснащенный I-40, впервые поднялся в воздух. Результаты оказались весьма впечатляющими - в горизонтальном полете самолет смог разогнаться почти до 900 км/ч. Однако доводка планера и двигателя задержала внедрение машины в серию. Только в декабре 1944 г. "Локхид" получила контракт на изготовление 1000 ис-



Локхид P-80A "Шутинг Стар"

стребителей P-80A, а в мае 1945 г. - дополнительный заказ на 2500 машин. Первым подразделением, получившим на вооружение "Шутинг Стары" в феврале 1945 г., стала 412-я эскадрилья. Статуса боеготовой она достигла только в августе, когда война уже фактически завершилась. Поэтому "пустить кровь" противнику локхидовскому реактивному первенцу в период Второй мировой войны не удалось. Лишь спустя пять лет, в ходе войны в Корее, P-80A были брошены в бой, но к этому времени они уже устарели и не являлись грозными соперниками для советских "МиГов".

КОЛИЧЕСТВО ВЫПУЩЕННЫХ АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В США В ГОДЫ ВТОРОЙ МИРОВОЙ ВОЙНЫ

"Райт" и ее лицензиаты		"Пратт энд Уитни" и ее лицензиаты		Независимые компании	
Компания	Число двигателей	Компания	Число двигателей	Компания	Число двигателей
"Райт"	136 494	"Пратт энд Уитни"	130 117	"Аллисон"	69 618
"Студебекер"	63 789	"Бьюик"	74 198	"Якобс"	32 119
"Додж"	18 349	"Шевроле"	60 766	"Континентал Моторс"	28 824
Всего	218 632	"Форд"	57 178	"Лайкоминг"	24 871
		"Паккард"	54 714	"Рейнджер"	14 266
		"Нэш-Калвинейтор"	17 012	Всего	169 698
		Всего	393 985		

ОБЪЕМЫ ВЫПУСКА ИСТРЕБИТЕЛЕЙ В США В ГОДЫ ВТОРОЙ МИРОВОЙ ВОЙНЫ

Тип самолета	Количество	Тип двигателя	Цена в начале производства, \$	Цена в конце производства, \$
ВВС армии				
Локхид P-38 "Лайтнинг"	9535	Аллисон V-1710	134 284	97 147
Белл P-39 "Аэрокобра"	9585	Аллисон V-1710	77 159	50 666
Кертис P-40 "Томахаук", "Киттихаук"	13 700	Аллисон V-1710	60 562	44 892
Рипаблик P-47 "Тандерболт"	15 579	Пратт энд Уитни R-2800	113 246	83 001
Норт Америкэн P-51 "Мустанг"	14 490	Паккард V-1650	58 698	50 985
Авиация ВМФ и морской пехоты				
Грумман F4F "Уайлдкэт"	7898	Райт R-1830	-	-
Чанс Воут F4U "Корсар"	11 236	Пратт энд Уитни R-2800	-	-
Грумман F6F "Хеллкэт"	12 210	Пратт энд Уитни R-2800	-	-

DIGEST

THE HEART OF A FIGHTER

When Pratt-Whitney 2800 "Double-Wasp" radial engine was launched, the USA designers developed several fighters within a short time period. The most successful were P-47 "Thunderbolt", the USAF F4U "Corsair" and F6F "Hellcat". Heavy flight weight, long range and good flight performances combined with acceptable maneuverability distinguished these aircrafts. Besides, the "Thunderbolt" powerplant included a turbo supercharger maintaining power up to 9000-m flight altitude where German fighters were loosing their advantages over heavyweight USAF fighters.

The UK also developed its own heavyweight fighter - the "Tempest" - powered by "Sabre", the 24-cylinder engine. As to maneuverability, this fighter was far beyond the German competitors. Moreover, Great Britain and the USA developed first series jet fighters. However, they could find so wide application as German operational versions.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛООБМЕНА В ТЕПЛОМ АККУМУЛЯТОРЕ

ФГУП "Исследовательский Центр им. М.В. Келдыша":
Николай Давыденко, начальник сектора
Юрий Кочетков, начальник отдела, д.т.н.
Владимир Кошлаков, младший научный сотрудник
Вадим Мионов, начальник отделения, д.т.н.

Одной из основных проблем современной космонавтики является увеличение суммарного импульса тяги ракетных двигателей, что достигается путем повышения энергетических характеристик рабочего тела в камере сгорания. В Исследовательском Центре им. М.В. Келдыша создан уникальный тепловой аккумулятор (ТА), в котором производится накопление тепловой энергии, а затем (с помощью эффективного теплообменного устройства) передача ее рабочему телу.

Разработанный в Центре Келдыша ТА (рис. 1), в котором в качестве рабочего тела можно использовать водород, гелий, азот или воздух, прошел испытания в различных тепловых режимах. Его конструкция (патент РФ № 2150054 от 27 мая 2000 г.) обеспечивает высокоэффективную передачу тепловой энергии для создания значительного суммарного импульса тяги.

Созданию ТА предшествовала разработка специализированного пакета прикладных программ, позволяющих моделировать физические процессы, определять тепловое состояние и рассчитывать параметры теплообмена при течении газов (рис. 2). Пакет включает головную программу, базу данных для хранения и обработки информации, а также ряд подпрограмм расчета нестационарных тепловых и газодинамических параметров течений. Результаты численного моделирования продемонстрировали хорошую сходимость с полученными на практике экспериментальными данными.

Основными исходными данными, необходимыми для решения задачи расчета теплообмена являются: геометрические параметры теплоаккумулирующего блока, термодинамические характеристики рабочего тела, а также теплофизические характеристики (ТФХ) используемых в ТА материалов. Для расчета теплового состояния элементов ТА и рабочего тела необходимо установить вид законов теплообмена, а также определить эмпирическим путем соответствующие коэффициенты.

По своей конструкции ТА представляет собой массивный графитовый блок с каналами для рабочего тела, заполненными зернами графита. Графит покрыт теплоизолирующими слоями углеродной ткани ТМП-5 и войлочного материала (муллита). Между муллитом и стальной крышкой, охлаждаемой водой, предусмотрен небольшой зазор. Тепловой аккумулятор предварительно нагревается, а затем постепенно отдает тепло рабочему телу, поступающему через коллектор в двигательную установку.

По своей конструкции ТА представляет собой массивный графитовый блок с каналами для рабочего тела, заполненными зернами графита. Графит покрыт теплоизолирующими слоями углеродной ткани ТМП-5 и войлочного материала (муллита). Между муллитом и стальной крышкой, охлаждаемой водой, предусмотрен небольшой зазор. Тепловой аккумулятор предварительно нагревается, а затем постепенно отдает тепло рабочему телу, поступающему через коллектор в двигательную установку.

Моделирование течения рабочего тела в канале базируется на использовании дифференциальных уравнений сохранения массы и энергии для газа и окружающего материала. При выводе уравнений были сделаны следующие допущения:

- движение газа по каналу происходит вдоль продольной оси графитового блока;
- теплопроводность газа по сравнению с теплопроводностью материала графитового блока пренебрежимо мала;
- перепад давления газа по каналу намного меньше абсолютного давления подачи.

Система основных уравнений имеет следующий вид:

$$\varepsilon \cdot \partial p / \partial t + \partial(\rho \cdot u) / \partial x = 0,$$

$$\rho \cdot c_p \cdot \partial T / \partial t + \partial(\rho \cdot c_p \cdot u \cdot T) / \partial x = \alpha_V (T_s - T),$$

$$\rho_s \cdot c_s \cdot \partial T_s / \partial t = \nabla(\lambda \cdot \nabla T_s) - \alpha_V (T_s - T),$$

$$P = \rho \cdot R \cdot T,$$

где ρ , ρ_s - плотность газа и материала ТА;
 T , T_s - температура газа и материала ТА;
 α_V - объемный коэффициент теплопередачи;
 ε - удельная пористость;
 λ - теплопроводность материала.

Для замыкания системы необходимо учитывать начальные и граничные условия; в частности, при $t=0$ $T_s = T_s^0(x, r)$; при $x=0$ $T=T_1$, $(\nabla T_s \cdot n)=0$, $U=U_1$.

За начальный профиль температуры принимается предварительно рассчитанное распределение ее по толщине стенки в режиме нагрева ТА. Поскольку стенки графитового блока считаются теплоизолированными, то принимается условие, что на граничных поверхностях потоки тепла равны нулю. Температура и скорость газа на входе в канал, а также начальная скорость газа вдоль канала принимаются постоянными.

Представленная система уравнений описывает двухтемпературную модель теплообмена в процессе фильтрации газа через слой засыпки. Поток газа можно рассматривать как обтекающим зерна, так и проникающим в поры между ними. Поэтому выбор характеристического размера течения в зернистом слое, в зависимости от особенностей рассматриваемой задачи, допускается производить различными способами с учетом допустимой сложности расчетов.

При решении системы необходимо найти коэффициент теплообмена α на основе использования формулы

$$Nu = f(Pr, Re),$$

где зависимость числа Нуссельта от чисел Рейнольдса и Прандтля выявляется через характеристические параметры, коэффициент теплообмена α , коэффициент теплопроводности λ и размер зерен засыпки d_{32} , а также с помощью экспериментально полученной массовой плотности распределения $g(d)$.

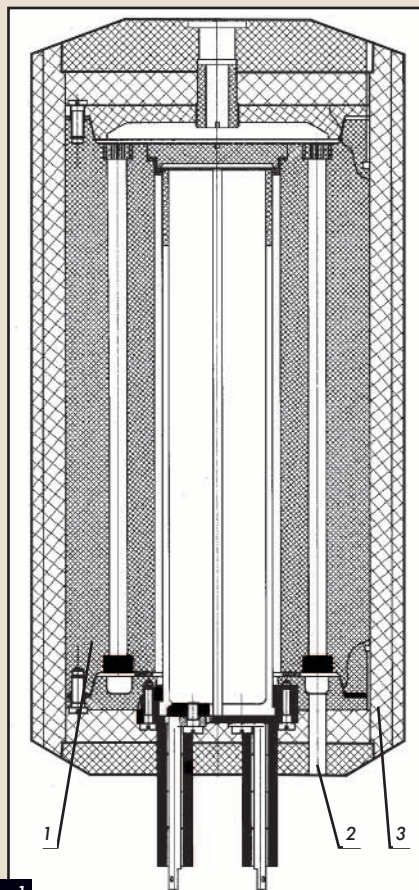


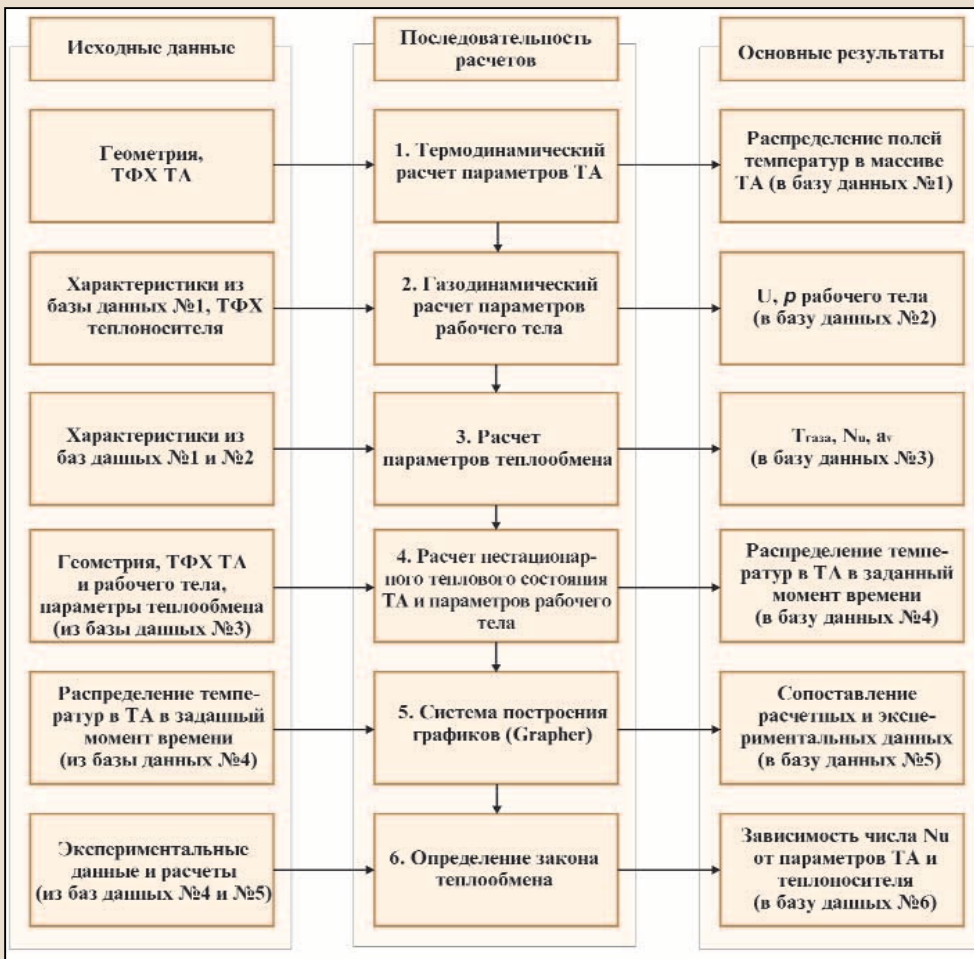
Рис. 1

1 - графит; 2 - рабочее тело; 3 - муллит

ми зернами графита. Графит покрыт теплоизолирующими слоями углеродной ткани ТМП-5 и войлочного материала (муллита). Между муллитом и стальной крышкой, охлаждаемой водой, предусмотрен небольшой зазор. Тепловой аккумулятор предварительно нагревается, а затем постепенно отдает тепло рабочему телу, поступающему через коллектор в двигательную установку.

СТРУКТУРА ПАКЕТА ПРОГРАММ

Рис. 2



Теплопроводность и плотность засыпки принимаются такими же, как и у графита, но с учетом пористости ϵ : $\lambda_{зас} = \lambda_{граф} \cdot (1 - \epsilon)$, $\rho_{зас} = \rho_{граф} \cdot (1 - \epsilon)$.

Характеристический размер d_{32} равен:

$$d_{32} = d_{30} / d_{20}$$

где d_{30} и d_{20} - среднеобъемный и среднеповерхностный размеры зерен засыпки.

Таким образом, о размере d_{32} можно говорить как о параметре, определяющем удельную поверхность $S_{уд}$ зерен, т.е. поверхность зерен в единице объема:

$$S_{уд} = S/V \sim d_{20}/d_{30} \sim 1/d_{32}$$

Поверхность $S_{уд}$ получают из уравнения Шервуда:

$$S_{уд} = 6 \cdot (1 - \epsilon) / d_{32}$$

Удельный тепловой поток с единицы поверхности определяется с помощью конвективного коэффициента теплообмена α_k .

Полный тепловой поток равен:

$$Q = \alpha_k \cdot S \cdot (T_s - T_r)$$

где S - площадь контактной поверхности или поверхности теплообмена;

T_s и T_r - температуры зерен засыпки и газа, соответственно.

Для зернистой засыпки контактная поверхность теплообмена, вообще говоря, не определена, и вместо конвективного коэффициента теплоотдачи α_k размерностью Вт/м²К часто употребляют объемный коэффициент теплоотдачи α_v размерностью Вт/м³К, который выражается формулой:

$$\alpha_v = \alpha_k \cdot S/V = \alpha_k \cdot S_{уд} = \alpha_k \cdot 6 \cdot (1 - \epsilon) / d_{32}$$

Коэффициент теплообмена между газом и зернами засыпки определяется с использованием степенной зависимости числа Нуссельта от чисел Рейнольдса и Прандтля: $Nu = 0,016 Pr^{0,33} Re^{0,738}$, полученной путем обобщения опытных данных для различных газов (водород, азот, гелий, воздух) и при различных уровнях дисперсности. Числа Рейнольдса и Прандтля, в свою очередь, зависят от физических свойств и характеристических параметров газов и засыпки.

Система уравнений решалась численно методом расщепления по физическим процессам. Уравнение неразрывности интегрировалось методом Рунге-Кутты. Уравнение энергии для газа (без кондуктивного члена) решалось с использованием явной схемы с коррекцией конвективных потоков. Уравнение теплопроводности (без конвективного члена) решалось методом прогонки с попеременным интегрированием по осевому и радиальному направлениям.

Метод расщепления, являясь, строго говоря, искусственным приемом разделения совместно протекающих процессов, требует выполнения предварительных оценок временного шага интегрирования путем сопоставления характерного времени переноса тепла (число Фурье) и течения газа в канале (число Куранта). Исследования показали, что в избранных условиях временной шаг в задаче теплопроводности намного больше шага, применяемого при решении задач газовой динамики.

Анализ расчетных кривых показал, что аккумулированная в массиве графитового блока энергия постепенно уменьшается, а

температура газа на выходе падает. Сравнение результатов расчетов с экспериментальными данными демонстрирует высокую точность численного моделирования (рис. 3). На начальном участке (примерно 60 с) графитовый блок не успевает охладиться, и поток тепла остается практически постоянным. В дальнейшем температура газа на выходе падает, поскольку ТА уже не в состоянии подогреть газ до высокой температуры. Поведение поля температуры, очевидно, связано с незначительной массой теплоаккумулирующего блока экспериментального ТА. На рис. 4 приведено расчетное температурное поле в графитовом блоке для различных моментов времени.

Проведенные исследования различных способов заполнения каналов теплообменника показали, что наилучшей является засыпка в виде зерен, обеспечивающая наибольший теплосъем. Сопоставление результатов расчетов с экспериментом дало возможность уточнить вид закона теплообмена, что позволяет предсказывать характер протекающих в тепловом аккумуляторе процессов для различных режимов работы.

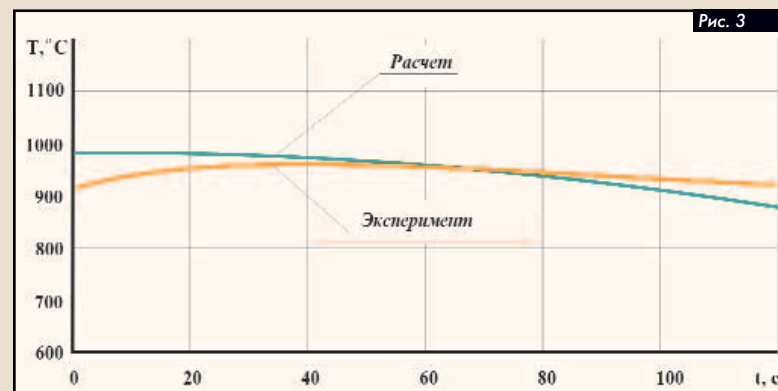
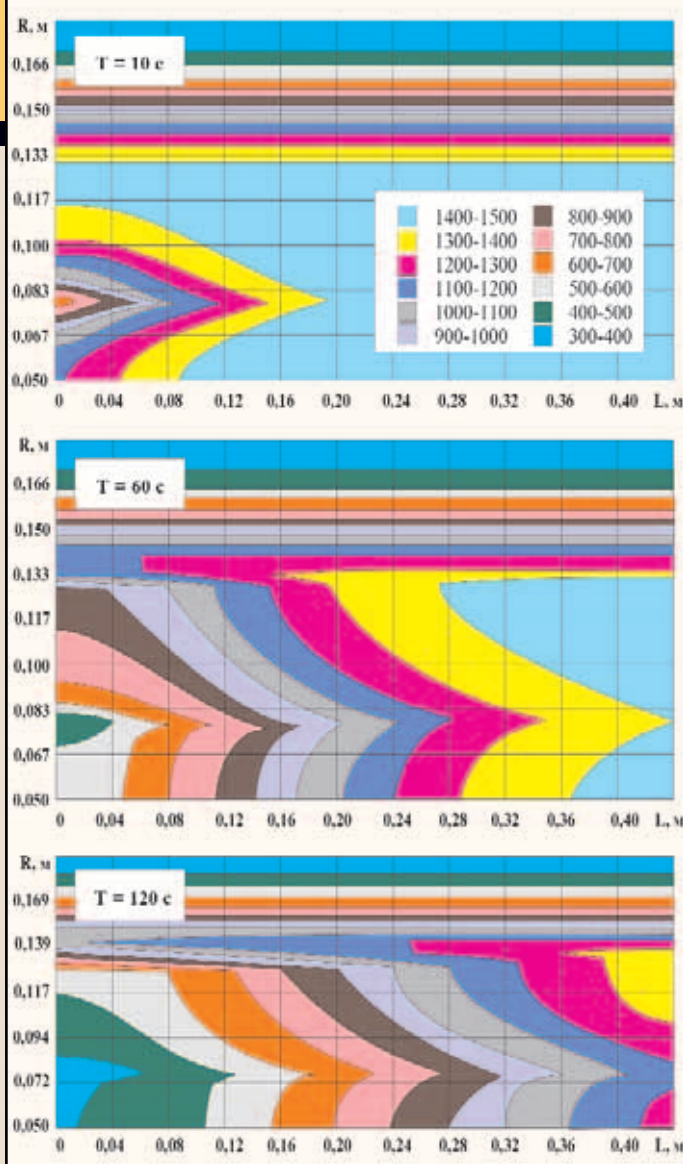


Рис. 3



Созданные в Исследовательском Центре им. М.В. Келдыша математические модели ТА позволяют прогнозировать основные показатели аккумулятора, с достаточной точностью проводить расчеты его теплового состояния, а также исследовать изменение тепловых и газодинамических характеристик течений в каналах. Пакет программ может быть применен при оптимизации разрабатываемых вариантов конструкций ТА и для исследования новых режимов работы.

DIGEST SIMULATION OF HEAT EXCHANGE PROCESSES IN THE HEAT ACCUMULATOR

In Keldysh Research Center, a unique heat accumulator, in which an efficient heat exchanger transfers stored heat energy to the work medium (propulsive mass), was designed to increase the engine total thrust pulse. Development of a powerful software package of applications to simulate physical processes, determine heat conditions, and calculate propulsive mass characteristics and gas flow heat exchange parameters preceded the development of the accumulator. Simulation of propulsive mass flow in the channel is based upon differential equations of mass and energy conservation for the gas and surrounding material. The system of equations was solved numerically (Runge-Kutta method) by splitting by physical processes. The analysis of the obtained results showed a good agreement with experimental data. Mathematical models developed in the Keldysh Center make possible to predict the basic accumulator performances and carry out computations of heat conditions as well as flow heat and gasdynamic parameters in channels with an acceptable accuracy. The programs can be used in research works of newly developed design variants and new operating modes.

ИНФОРМАЦИЯ

Как уже сообщалось, 24 мая в рамках контракта, заключенного европейским оператором спутниковой связи EUTELSAT и российско-американской фирмой International Launch Services (ILS), образованной ГКНПЦ им. М.В. Хруничева, РКК "ЭНЕРГИЯ" и американской компанией LOCKHEED MARTIN, состоялся первый запуск нового американского носителя ATLAS III A, оснащенного российским двигателем РД-180. Носитель ATLAS III A способен выводить на геостационарную орбиту полезную нагрузку массой 4,5 т.

Двигатель РД-180, использующий в качестве компонентов топлива жидкий кислород и керосин, разработан в НПО "ЭНЕРГОМАШ". В дальнейшем планируется использование этого двигателя в составе нового носителя - ATLAS V.

Космические аппараты спутниковой системы связи SKY-BRIDGE будут оснащены плазменными двигателями PPS-1350 французской компании SNECMA и СПД-100 российского ОКБ "ФАКЕЛ". Для проверки технических и эксплуатационных характеристик оба двигателя будут установлены на борту французского экспериментального спутника STENTOR, запуск которого состоится в 2001 году.

Руководство NASA приняло решение о продлении срока эксплуатации кораблей многоразового использования от 10 до 20 лет. При этом будет проводиться их ремонт и модернизация. В перечень работ предусматривается:

- повышение надежности ЖРД;
- усовершенствование турбонасосных агрегатов и системы контроля работы двигателей;

- обеспечение подачи компонентов топлива из одних и тех же баков на передние и задние двигатели корабля.

Планируется замена твердотопливных ускорителей на ступени с ЖРД. При этом появится возможность остановки работы двигателей в течение первых двух минут после отрыва носителя от земли. Кроме того, на ускорителях будут установлены реактивные двигатели и крылья, что обеспечит их возвращение на космодром после старта и многократное использование.

На испытательном стенде Гвианского космического центра специалистами компании EUROPROPULSION, являющейся филиалом объединений FIATAVIO (Италия) и SNECMA (Франция), 16 мая произведено первое включение модифицированного твердотопливного двигателя европейского носителя ARIANE 5.

Целью испытаний является проверка надежности и технических характеристик твердотопливных двигателей после изменения их конструкции с целью увеличения на 2,4 т массы ракетного топлива, помещаемого в твердотопливный ускоритель. Благодаря этому носитель ARIANE 5 сможет выводить на геостационарную орбиту на 200 кг больше полезной нагрузки.

Работа двигателя в течение 140 с полностью соответствовала расчетным характеристикам. В дальнейшем двигатель будет разобран, а все его элементы подвергнуты детальному изучению.

DERSI



®

GAS TURBO TECHNOLOGY

ГАЗОТУРБИННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЙ ИНФОРМАЦИОННО- АНАЛИТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

**Только достоверная информация
от профессионалов**

- Перспективы и возможности
- Достижения и открытия
- Передовой опыт
- Экономика и экология
- Оценка отечественных и мировых разработок

А также
ежегодный каталог
русского и зарубежного
газотурбинного
оборудования

**Журнал
«Газотурбинные
технологии»:**

- Аналитические исследования
- Обзоры рынка
- Информационные услуги

Мы рады сотрудничать с Вами!

Адрес редакции: Россия, 152903, г. Рыбинск Ярославской обл., пр. Ленина, д. 148, офис 312. Тел. (0855) 210-041, 211-363; факс (0855) 210-777. E-mail: gtt@yaroslavl.ru

Виктор Марковский

"ЧЕМОДАН", ИЛИ ДВА ПОРШНЯ В ОДНОМ ЦИЛИНДРЕ

(Окончание. Начало в № 2 - 2000 г.)

В соответствии с Постановлением Совета Министров СССР и ЦК КПСС от февраля 1961 г. о создании на Харьковском заводе им. Малышева нового основного танка Т-64 были развернуты масштабные работы по подготовке производства силовой установки для него - мощного турбодизеля 5ТДФ. В серию предстояло запустить мотор, не только не прошедший испытания, но и фактически еще не существовавший - первые опытные образцы двигателя были собраны только к концу 1961 г. Впереди был весь объем работ по его доводке, впечатлял и перечень требований, которым должна была удовлетворять силовая установка перспективного танка, не имеющая аналогов в мировом машиностроении: удельная литровая мощность порядка 50 л.с./л, сохранение работоспособности и мощности в экстремальных боевых условиях, высокой запыленности, температурах от -40 до +50 °С, на высотах до 3000 м над уровнем моря, непрерывно меняющихся нагрузках и оборотах. В числе новых требований была многотопливность - способность работать не только на "штатном" для дизеля газойле, но и бензине, керосине, реактивном топливе и их смесях (заказчик высказывал пожелания, чтобы мотор мог питаться даже смазочным маслом и мазутом - всем, что может подвернуться в боевых условиях). При всем обилии проблем работы велись без права на ошибку - пока опытным производством собирались первые образцы 5ТДФ и на стендах начиналась их отработка, полным ходом шло строительство новых цехов, по опытным чертежам разрабатывалась технология, а Госплан уже распределял заказы на станки, оснастку и спецоборудование.

К работе были подключены десятки смежных отраслевых институтов, включая ВИАМ, ВНИИ стали, ЦИАМ, НИАТ, ЦНИТИ, НИИ двигателей, ВНИИ транспортного машиностроения, ЦНИИ металлов, ВНИИ подшипниковой промышленности; институты Академии наук - Институт электросварки имени Патона, Институт проблем машиностроения и другие. Прямо на заводе были созданы филиалы ВНИТИ и ЦНИТИ с прикомандированными работниками. Помощь в освоении сложных техпроцессов оказывали авиамоторные



Т-64А



заводы, обладавшие традиционно высокой культурой производства - Рыбинский, Пермский, Запорожский и Куйбышевский.

Кооперации изрядно мешало нарушение привычных связей - освоение сложного изделия пришлось на период затеянной сверху реконструкции экономики с заменой прежних структур территориальными Советами народного хозяйства, объединявшими местные промышленные и сельскохозяйственные предприятия. В ходе этой "перестройки" сам завод сменил принадлежность и, выйдя из управления оборонного Минтрансмаша, был "приписан" к Харьковскому Совнархозу (по этому поводу среди мотористов ходила шутка: "Были в МАПе, были в МОПе, а теперь мы стали в..."). Отчасти, однако, положение смягчило то, что председателем областного Совнархоза стал бывший директор завода Н.А. Соболев, не оставлявший предприятие без внимания. Для координации совместных работ с научно-исследовательскими организациями Московским высшим советом народного хозяйства была учреждена специальная комиссия по двигателю 5ТДФ под началом заместителя руководителя ЦИАМ В.В. Яковлевского.

Помимо сугубо машиностроительных и металлургических задач формирование мотора принесло немало проблем по части топлив и смазок, для чего пришлось оборудовать специальную лабораторию химмотологии, единственную в отрасли. При поддержке Бакинского института химии присадок она занималась вопросами качества топлив и масел, изучала их влияние на экономичность, износ пар трения и закоксованность, исследовала процессы газораспределения, выпуска газов и снижения их загорячения твердыми частицами.

Наибольшего объема работ потребовала поршневая группа, особенно при обеспечении надежности и ресурса с выходом на неизведанные прежде значения механических и тепловых нагрузок. Аналогичные проблемы возникли и в отношении компрессора и турбины, силовой связи с коленчатым валом, доводки топливной аппаратуры.

Проблемы доводки поршневой группы диктовались тяжелейшими условиями ее работы: высокими рабочими температурами в камере сгорания, перепадом температур от 900 °С на огневой поверхности поршня до 150 °С у маслосъемных колец, максимальными значениями давления газов до 115...125 атм и их градиентами по циклу, значительными инерционными нагрузками при больших скоростях подвижных деталей. Более 40 % аварий и поломок моторов 5ТДФ на стенде приходилось именно на нарушение нормальной работы поршней и элементов поршневой группы.

Работой по их отладке руководил начальник отдела механизмов движения Н.К. Рязанцев. По факту каждого отказа и поломки проводилось изучение причин выхода из строя деталей поршневой группы и орабатывались конструкторские и технологические мероприятия по их устранению. Был проведен также анализ идущих через поршень потоков тепла, изучены характер распределения температур в поперечных и продольных сечениях и силовые деформации корпуса от газовых и механических сил, величины зазоров между зеркалом цилиндра и поверхностью поршня. На этой основе была уточнена форма и размеры поршня, который приобрел бочкообразный контур по высо-



Т-64ВВ



Т-80УД

те и овальный в поперечном сечении. Форма поршня контролировалась объемными копиями вместо обычных шаблонов.

В окончательном виде была отработана составная конструкция поршня 5ТДФ с алюминиевым корпусом из сплава АК4-1 и жаропрочной накладкой из стали ЭИ283, покрытой со стороны камеры сгорания термодиффузионным хромом. Для термоизоляции корпуса от накладки в центре служила вставка из стали ЭИ283, а по периферии - проставка из стали ЭИ107. Между ними устанавливалось неразрезное жаровое кольцо. В качестве материала опробовались длительной эксплуатацией разные сорта жаропрочных сталей (65Г, 65С2ВА, Х12М), наилучшие результаты продемонстрировали кольца из легированной стали 4Х5МФС-Ш. Для улучшения приработки колец на их наружную сторону стали наносить мягкое покрытие, для которого пробовали использовать медь, свинец и серебро, но, в конце концов, были приняты диоксид кремния и медь - дисульфид молибдена.

Много хлопот доставило обеспечение надежности компрессора и турбины, особенно рабочего колеса компрессора, его привода и механизма связи коленвала с компрессором и турбиной. На стендах и в эксплуатации часто разрушались детали валопровода, срезались рессоры, причем обычно они "летели" при переключении скоростей и резких остановках двигателя, не выдерживая инерционных нагрузок. Часто случались усталостные разрывы рабочих колес компрессора, подшипников ротора и шестерен привода. Эти поломки нередко приводили к буквальному взрыву мотора, а их причины не всегда удавалось однозначно объяснить.

К работе привлекались сотрудники нескольких НИИ, предложившие ряд мер по устранению "болезней". В конструкцию ввели механизм для срезания пиков в моменты всплеска ударных нагрузок до приемлемых по прочности величин (дисковую фрикционную муфту постоянной затяжки). В наиболее "узких местах" наводились остаточные напряжения сжатия, разгружавшие детали при опасных нагрузках: в их числе были части рабочих колес компрессора, подверженные максимальным напряжениям, прогретавшиеся по специальной технологии с последующим ускоренным охлаждением, цементированные и шлифованные поверхности шестерен, проходившие гидродробеструйную обработку с окончательным гидрошлифованием.

Совершенствование компрессоров привело к появлению новых разновидностей: реактивных одноступенчатых с изогнутыми против вращения радиальными лопатками, а также активных одноступенчатых с изогнутыми по направлению вращения лопатками, с закрытыми и полузакрытыми рабочими колесами, выбираемых в зависимости от габаритов, степени повышения давления и расхода воздуха, частоты вращения и отбираемой мощности. Для реактивных компрессоров были получены значения к.п.д. порядка 0,80...0,85 (при расходе воздуха 0,9...0,2 кг/с и степени повышения давления 4,0...1,3), а для активных - порядка 0,81...0,83, что давало преимущество на 5...10% по сравнению с общепринятыми высоконапорными системами турбопоршневых транспортных двигателей, соразмерно 2...4-процентному увеличению полезной мощности силовых установок.

Отдельным этапом работы стала доводка топливной аппаратуры для 5ТДФ. Мотор был оснащен индивидуальными секционными топливными насосами с плоским прямым и обратным нагнетательным клапаном, позволившим устранить подвпрыск топлива после сгорания основной дозы. Привод плунжера топливного насоса жесткий, закон его движения задавался геометрией распределяющего кулачка, а давление впрыска изменяется пропорционально частоте вращения коленвала (так, при уменьшении частоты вращения от максимальной 2800 до 2050 об/мин максимальное давление снижается в 1,53 раза, сокращая дальность струи и дисперсность распыления).

На первых образцах 5ТДФ устанавливались унаследованные от мотора 5ТД простые по конструкции форсунки открытого типа. Однако они не обеспечивали энергичного впрыска в конечной фазе, страдали подтеканием после закрытия нагнетательного клапана и плохо работали на малых оборотах. В то же время удельный расход топлива 5ТДФ на этих режимах, соответствующих максимальному крутящему моменту, достигал 200 г/л.с.ч.

Конструкторами отдела топливной аппаратуры была разработана новая клапанная форсунка полузакрытого типа. Шариковый клапан с 4 мм сферой открывался при перепаде давления 90 кгс/см², обеспечивая четкий дозированный впрыск и надежное перекрытие доступа топлива. Возле распыляющего отверстия был смонтирован плоский обратный клапан, предохраняющий форсунку от прорыва газов. После отработки новой форсунки на стендах и двигателях ее приняли в серийное производство. Примечательными особенностями форсунок 5ТДФ являлись их минимальные размеры по сравнению с форсунками других транспортных двигателей. Так, закупленные для испытаний форсунки фирмы "Лейланд" имели установочный диаметр вдвое, длину - вчетверо большую. В конструкции привода стартер-генератора инженеры реализовали удачное и красивое решение - гидромеханическую передачу с автоматическим изменением передаточного отношения при переходе от стартерного режима к генераторному. Нечто подобное использовалось разве что в авиации, да и то позднее, тогда же отработанного конструктивного аналога узла тако-



"Объект 476"

БАТ-2 с дизелем 5ТДФ



Опытный Т-72 с дизелем 6ТД



го назначения в СССР не существовало. Задачу усложняли высокие значения динамических нагрузок, возникающих в приводе дизеля при пуске. Эксплуатационную надежность стартер-генератора 5ТДФ обеспечили электросистема двухступенчатого пуска, впервые примененная в танковых силовых установках, и использование специальной муфты - ограничителя ударной нагрузки.

Опытно-конструкторские работы приходилось вести параллельно с развертыванием серийного производства. В 1963 г. были проведены стендовые доводочные испытания 5ТДФ, за ними последовали ходовые на танках, а уже в следующем году дизель успешно прошел заводские 300-часовые испытания, достигнув предусмотренных правительственным заданием параметров. В том же году, с упразднением совнархозов, завод, сохранивший "трансмашевское" название, перешел в ведомство Министерства оборонной промышленности.



О.В. Соич

Ход работ контролировался не только руководством промышленности. КБ дважды посещал командующий сухопутными войсками маршал В.И. Чуйков, маршалы-танкисты П.П. Полубояров, П.Ф. Батицкий и Ю.П. Бажанов, министры обороны А.А. Гречко и Д.Ф. Устинов. Танк Т-64 с двигателем 5ТДФ сумел привлечь внимание даже первых лиц государства, включая Н.С. Хрущева и сменившего его Л.И. Брежнева. Хрущеву машина малышевцев "показалась" во время знакомства с новой техникой на Кубинском полигоне в октябре 1962 г. Вряд ли Генеральный секретарь вникал во все особенности

новинки, но его привлек внушительно выглядывший танк, резво прошедший по полигону с необычно рокочущим дизелем. Пояснения на показе давал главный конструктор мотора Л.Л. Голинец.

Налаживание выпуска 5ТДФ стало серьезным испытанием для заводского металлургического производства, обеспечивавшего поставку литых и кованных заготовок, термообработку, изготовление оснастки, моделей и штампов. Внедрение новых технологий потребовалось для изготовления 90 % всех деталей из цветных сплавов. Только при отливке блока цилиндров 5ТДФ использовались более 100 песчаных стержней, а для направленной кристаллизации металла применялись более 400 металлических холодильников.

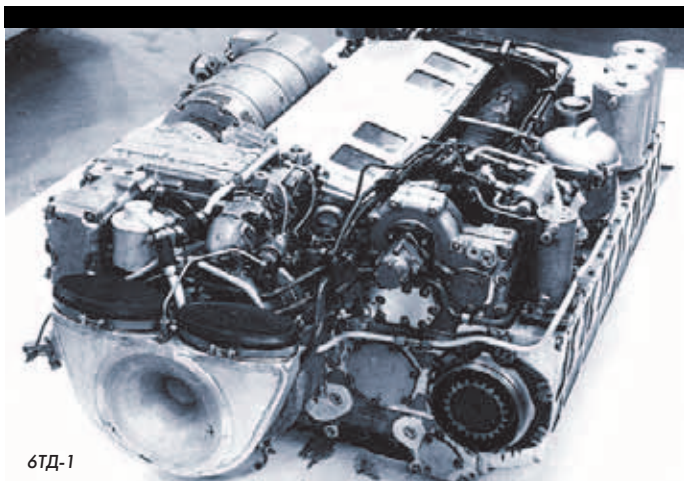
Особая роль в выполнении правительственного задания досталась руководству завода и его генеральному директору О.В. Соичу, незаурядному организатору и инженеру, металлургу по специальности. Назначение его на должность в декабре 1965 г. совпало с реорганизацией самого завода. Приказом МОП на базе танкового конструкторского отдела 60 и опытного цеха 190 с 1 января 1966 г. было сформировано Харьковское КБ машиностроения (ХКБМ), специализированное на производстве танков, тягачей и

другой военной техники, а дизельный отдел 63 и цех 370 образовали Харьковское КБ двигателестроения (ХКБД), занимавшееся силовыми установками для них. Проводившееся расширение производства преимущественно было ориентировано также на танковую и моторную продукцию, гражданская номенклатура Завода транспортного машиностроения занимала меньшую долю. При назначении Соича, фигуры самобытной и властной, министр не скрывал основной задачи - ликвидировать допущенный срыв постановления ЦК КПСС и СМ СССР о постановке на производство Т-64, допущенный, в первую очередь, по вине мотористов.

Первым начальником ХКБД стал известный конструктор-моторист Б.Н. Струнге, прежде занимавшийся тяжелыми тепловозными дизелями. В 1966 г. успешно завершились межведомственные испытания 5ТДФ, а в следующем году межведомственная комиссия МОП, МО и ГБТУ утвердила серийную конструкторскую документацию, материалы по испытаниям и приемке дизелей. Гарантийный срок работы 5ТДФ в серийном исполнении (моторы 3-й серии) был установлен в 200 ч. Машине была дана "зеленая улица", и постановлением Совмина от 30 декабря 1967 г. танк Т-64 с двигателем 5ТДФ приняли на вооружение. К этому времени производство уже шло полным ходом, и завод успел сдать несколько сотен укомплектованных танков. Их выпуск предписывалось развернуть также на ленинградском Кировском и Уральском вагоностроительном заводе, однако Харьковское моторостроительное производство не могло обеспечить такие масштабы. К концу же моторы 5ТДФ все еще продолжали страдать "детскими болезнями", принося множество рекламаций из строевых частей (все же новый двигатель изрядно отличался от привычных, был сложнее и требовательнее в уходе). Помимо этого, силовая установка типа 5ТДФ обходилась заказчику в солидную сумму - около 20 000 руб. (против 9600 руб. за мотор В-46).

Постановлениями Совмина СССР № 645-205 от 15.08.66 г. и № 802-266 от 15.08.67 г. предписывалось даже начать отработку резервного варианта танка с V-образным дизелем В-45 (вариантом все того же В-2). Б.Н. Струнге в это время находился в Кремлевской больнице в связи с прогрессирующим заболеванием глаз. Там он и подписал акт о завершении МВИ, а в сентябре 1967 г. подал министру заявление с просьбой освободить его от руководства ХКБД по состоянию здоровья. Его сменил бывший главный инженер завода Ф.М. Маляров, а главным конструктором ХКБД вновь стал Л.Л. Голинец.

Усовершенствованные дизели 5ТДФ 4-й и 5-й серии успешно прошли очередные МВИ, отработав 350 ч. С 1969 г. был установлен повышенный гарантийный срок работы двигателей в 300 ч. Следующим этапом стал выпуск моторов 6-й серии, прошедших в 1971 г. ускоренную войсковую эксплуатацию с еще лучшими результатами. Их гарантийный срок работы был назначен в 400 ч, а с 1976 г. - 500 ч. С 1971 г. наладили капитальный ремонт 5ТДФ на Харьковском танкоремонтном заводе. Гарантийный срок моторов, прошедших "капиталку", также удалось повысить со 150 ч в 1971 г. до 250 ч в 1981 г.



6TD-1

В 1968 г. коллективу создателей танка и мотористов ХЗТМ была вручена Ленинская премия за разработку танка Т-64 и дизеля 5ТДФ. В их числе были А.А. Морозов и Л.Л. Голинец. К этому времени ХКБД получил новую опытно-производственную базу, на которой, помимо работ по совершенствованию находившихся "на потоке" моторов, начались предварительные ОКР по более мощной силовой установке. В 1971 г. совместные МВИ прошел дизель 5ТДФ, форсированный до мощности 750 л.с. Регулярно проводились контрольные испытания на стендах и ходовые маршброски на полигонах в условиях Севера и пустынях Туркестана (полигон Мары), средней полосы России (полигон Гороховец) и высокогорья Кавказа (Вазиани).

В 1975 г. начались ОКР по дальнейшему повышению мощности силовой установки. Форсирование пятиблочного 5ТДФ становилось рискованным - мотор и без того подвергался нагрузкам, близким к предельным. Для достижения намеченного 1000-сильного уровня решено было добавить еще один - шестой цилиндр. Предложение нашло поддержку коллеги МОП и было оформлено приказом министра "О создании двигателя 6ТД-1 мощностью 1000 л.с.". Помимо перехода к шестичилиндровой схеме, дополнительную прибавку мощности обеспечивало дальнейшее форсирование рабочего процесса: увеличение наддува, расхода воздуха и подачи топлива. В самом наименовании 6ТД-1 крылся "намек" на конструкторский задел для последующего форсирования мотора с выходом на мощность 1200 л.с. - вдвое большую, чем у "прародителя" 5ТД. Работы возглавил Н.К. Рязанцев, с 1973 г. назначенный генеральным конструктором и начальником ХКБД.

Важной особенностью работ был упор на сопоставление с ГТД. Газовая турбина, входившая в "моду", считалась тогда перспективной для применения на танках (как, впрочем, и на теплоходах, кораблях и даже автомобилях), угрожая вытеснить более экономичный и надежный дизель. ХЗТМ в директивном порядке предписывалось развернуть производство газотурбинных танковых двигателей, причем, по иронии судьбы, это решение совпало с 70-летним юбилеем дизелестроения на заводе.

Дизель 6ТД-1, не уступая ГТД по мощности, существенно превосходил его по топливной эффективности (на 40...60%), был менее чувствителен к температуре и запыленности воздуха и стоил десятикратно дешевле - ГТД-1000Т обходился тогда в 104 000 рублей (больше, чем сам танк с дизелем). В ходе ОКР по 6ТД-1 предусматривалось повысить мощность, снимаемую с каждого цилиндра, до 250 л.с., а литровую мощность - до 95 л.с./л.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИЗЕЛЕЙ 6ТД

Характеристика	6ТД-1	6ТД-2
Мощность, л.с.	1000	1200
Частота вращения, об/мин	2800	2600
Рабочий объем, л	16,26	16,26
Литровая мощность, л.с./л	61,5	75,8
Габаритная мощность, л.с./м ³	1124	1350
Удельная масса, кг	1,18	0,98
Удельный расход топлива, г/л.с.·ч	158	155

Рассчитывать на успех позволял огромный опыт разработки и доводки 5ТДФ, объем войсковых испытаний в разнообразных экстремальных условиях. Многие детали и узлы напрямую заимствовались у 5ТДФ.

В 1976 г. новый мотор прошел чистовые конструкторские испытания, а затем и заводские стендовые испытания. В 1976-79 гг. танк "объект 476", созданный на основе Т-64А с переоборудованным МТО под 6ТД-1, прошел межведомственные испытания, подтвердив значительное улучшение маневренных качеств и подвижности. В числе преимуществ была и высокая унификация силовой установки с серийным мотором 5ТДФ, что позволяло быстро развернуть выпуск нового мотора.

По решению МО и МОП завод выпустил документацию по установке двигателя 6ТД и усиленной трансмиссии как на находящиеся в производстве, так и проходящие ремонт танки Т-64А, Т-64К, Т-64Б и Т-64Б1 (после доработки им присваивался индекс "М" - модернизированный).

Новый двигатель при незначительном увеличении габаритов (его поперечный размер возрос с 1513 мм у 5ТДФ до 1602 мм, ширина и высота остались без изменения) имел увеличенный с 13,6 до 16,26 л рабочий объем.

Следующим этапом стало рассмотрение и утверждение в 1985 г. предложения ХКБМ и ХКБД о замене газотурбинной силовой установки танка Т-80 дизелем 6ТД-1 (танк "объект 478Б"). Постановлением ЦК КПСС и Совмина № 837-249 от 2.9.85 г. он был запущен в серийное производство под наименованием "Т-80У с двигателем 6ТД" (Т-80УД - улучшенный дизельный). Согласно приказу МОП № 3510 от 19.9.85 г. новый танк с дизелем предписывалось выпускать на заводе параллельно с Т-64БМ с той же силовой установкой. С февраля 1986 г. мотор 6ТД-1 пошел в серию. От начала выпуска чертежей до завершения межведомственных испытаний 6ТД-1 прошло всего четыре года.

На серийных изделиях закрытое рабочее колесо компрессора заменили полужакрытым, увеличив его диаметр и рабочие обороты, внедрили усиленную дисковую фрикционную муфту. Топливные насосы повышенной производительности с плунжерами диаметром 13 мм оснастили усиленными приводами, улучшили качество распыления топлива за счет его турбулизации перед соплами форсунок. Поршни получили новые износостойкие и приработочные покрытия, были внедрены новые выпускные коллекторы типа "труба в трубе" и повышена частота вращения турбины. В 1987 г. танки Т-80УД с дизелем 6ТД полностью сменили в производстве Т-64.

DIGEST

The series production of 700-h.p. diesel engine dubbed as 5TDF and intended to T-64 military tank was launched in 1965. Initially, the engine had a short service life (about 200 hr) but, as a result of modifications of its design structure and improvements of manufacturing technology, its service hours increased to 300 hr by 1969 and to 500 hr - by 1976. Two years later, a decision was made to develop the 6TD, a more powerful diesel engine. As distinct from the predecessor, it had 6 cylinders. Its 6TD-1 version developed 1000 h.p. and 6TD-2 version - 1200 h.p. In mid-1980s, the 6TD won a victory over GTE competitors (probably, not forever). Just this engine powered the best Soviet tank, the T-80UD, making a furor at international armament shows.

"SUITCASE" OR TWO PISTONS IN A SINGLE CYLINDER



25 июня 2000 г. мы потеряли еще одного хорошего человека и талантливого Моториста. На 63 году жизни скончался Владимир Петрович Железнов.

После окончания двигательного факультета Московского авиационного института Владимир Петрович всю свою жизнь посвятил авиационному двигателестроению. Он работал на инженерных и руководящих должностях в ОКБ "Гранит" и Центральном институте авиационного моторостроения. Его знали на всех заводах и в ОКБ авиационного двигателя- и агрегатостроения. Высокая эрудиция, профессионализм помогли Владимиру Петровичу

вносить весомый вклад в развитие стандартизации и унификации в авиадвигателестроении и в целом в авиастроении. Им лично разработан ряд отраслевых стандартов по различным тематическим направлениям двигателестроения, он был одним из авторов основополагающего документа в авиадвигателестроении "Общие технические условия (ОТУ)", участником разработок системных документов по авиастроению.

Владимир Петрович был ведущим ежегодных семинаров по стандартизации, которые проводились с участием представителей Госстандарта в Центральном институте авиационного моторостроения для специалистов предприятий двигателестроения и агрегатостроения.

Начиная с 1990 г., В.П. Железнов - один из организаторов специализированных международных выставок "Авиадвигателестроение", "Moscow Aerospace", "Средства спасения". Всякий, кто каким-либо образом был связан с участием в международных выставках "Двигатели-92, -94, -98", проводимых АССАД, а также разделов двигателестроения на московских авиакосмических салонах в г. Жуковском, несомненно, знал Владимира Петровича: созданием этих выставок он и занимался, а "Двигатели-2000" была его последней работой.

Уход из жизни В.П. Железнова - большая утрата для АССАДа. Эрудированный, контактный, с большим опытом работы, он всегда

был на острие ответственных правительственных мероприятий. Участвовал он и в организации системы анализа надежности авиационных двигателей, эксплуатирующихся в России и других странах.

Владимир Петрович никогда не пытался что-либо выгадать, когда надо помочь товарищу, а он был в состоянии это сделать. В самых "жестких" случаях просто брал ответственность за работу на себя. Будучи серьезным специалистом, Железнов рассчитывал на свои силы и никогда не боялся отвечать за то, что делает.

Он был очень доброжелателен, любил шутить, причем всегда совершенно беззлобно. Почти у всех, кто с ним работал, остались на добрую память его весьма профессиональные стихи, написанные к различным датам и юбилеям, да и просто так - по настроению. Человек талантливый, ответственный, самоотверженный, добрый, преданный делу и друзьям, внимательный муж, отец и дед.

Россия - страна богатая на толковых и хороших людей, однако каждый уникален. Тем прискорбнее, когда уходят такие люди, особенно те, кто долгое время жил и работал с нами рядом.

**Редакция журнала "Двигатель",
друзья и товарищи по работе**



Издательский дом

изготавливает разнообразную полиграфическую продукцию: книги, брошюры, рекламные проспекты, буклеты, календари всех видов, еженедельники, ежедневники с фирменной символикой заказчика, сувенирную продукцию.

К Вашим услугам обширная оригинальная авиационно-космическая фототека наших фотографов, в том числе в электронном виде.

Мы приглашаем организации, заинтересованные в отражении своей истории, предоставить информационный материал для размещения в календарях на 2002 год, а также разместим по желанию рекламные страницы.



40 лет человек в космосе

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Двигатель

[HTTP://\ENGINE.S.DA.RU](http://engines.da.ru)

engine@ilm.net

(095)362-3925



ЖУРНАЛ О ДВИГАТЕЛЯХ

ЖУРНАЛ О ТЕХ,
КТО СОЗДАЕТ ДВИГАТЕЛИ

ЖУРНАЛ ДЛЯ ТЕХ,
КТО ЭКСПЛУАТИРУЕТ ДВИГАТЕЛИ

ЖУРНАЛ ВСЕМ,
НА КОГО РАБОТАЮТ ДВИГАТЕЛИ

В ГОД ВЫХОДИТ 6 НОМЕРОВ.
ПОДПИСКА В РЕДАКЦИИ. БЕЗ ОГРАНИЧЕНИЙ.

111250, Российская Федерация,
Москва, Авиамоторная, д.2



ПЕРМСКИЙ МОТОРНЫЙ ЗАВОД



АВИАДВИГАТЕЛЬ

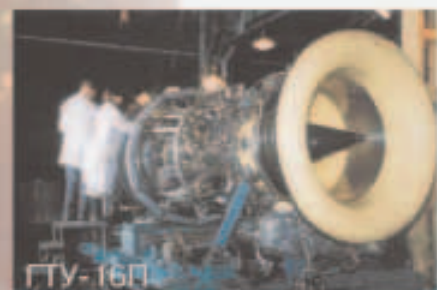


**ПЕРМСКИЕ ГАЗОТУРБИННЫЕ УСТАНОВКИ
МОЩНОСТЬЮ ОТ 2,5 ДО 25 МВт ДЛЯ
ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ И ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ
АГРЕГАТОВ, СОЗДАНИЕ НА ОСНОВЕ
АВИАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

- соответствуют всем европейским и международным требованиям, предъявляемым к эмиссии и шуму
- подтвердили высокие технические и эксплуатационные характеристики на объектах Газпрома
- по результатам тендеров будут использованы на новом газопроводе "Голубой поток", в электростанциях Сургутнефтегаза, Норильского никеля, Башкирэнерго и других



ПС-90А



ГТУ-16П



ГТУ-12П



ГТУ-2,5П

**АВИАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ -
ЭФФЕКТИВНОСТЬ И НАДЕЖНОСТЬ**