

# Двигатель

Научно-технический журнал № 5 (29) 2003

Производство современных двигателей невозможно без современного оборудования

# Sodick

NANOCUT  
AQ325L LQ33W

**МИРОВАЯ  
ПРЕМЬЕРА  
В МОСКВЕ!**

(Первая премьера самого  
скоростного  
и производительного  
электроискрового станка на  
международной выставке!)

Sodick

AQ325L



Прецизионный электроискровой  
проволочно-вырезной станок с  
линейными приводами по XYUV

Остальные модели:  
XYZ = 350 x 250 x 220 мм  
Угол конуса ±30° / 50 мм  
Диаметр обработки проволоки с  
диаметром 0,01 мм  
(+10 нанометров) по XYUV

**AQ325L**

+ новые ЧПУ-генераторы - не только  
самая высокая в отрасли производительность,  
но и рекордная скорость резания на 1-м проходе:

**LQ33W - 330 мм<sup>2</sup>/мин**  
**LQ55W > 550 мм<sup>2</sup>/мин**

Встроенная автоматическая  
3D-система автокоррекции  
и системы замещения данных

Система автоматического  
выбора параметров резания  
в зависимости от материала

Система автоматического  
выбора параметров резания  
в зависимости от материала

Система автоматического  
выбора параметров резания  
в зависимости от материала

Система автоматического  
выбора параметров резания  
в зависимости от материала

Система автоматического  
выбора параметров резания  
в зависимости от материала

Система автоматического  
выбора параметров резания  
в зависимости от материала

Система автоматического  
выбора параметров резания  
в зависимости от материала

Система автоматического  
выбора параметров резания  
в зависимости от материала

Система автоматического  
выбора параметров резания  
в зависимости от материала

Система автоматического  
выбора параметров резания  
в зависимости от материала

Система автоматического  
выбора параметров резания  
в зависимости от материала

Система автоматического  
выбора параметров резания  
в зависимости от материала

Система автоматического  
выбора параметров резания  
в зависимости от материала

Система автоматического  
выбора параметров резания  
в зависимости от материала

Система автоматического  
выбора параметров резания  
в зависимости от материала

Система автоматического  
выбора параметров резания  
в зависимости от материала

Система автоматического  
выбора параметров резания  
в зависимости от материала

Система автоматического  
выбора параметров резания  
в зависимости от материала

Система автоматического  
выбора параметров резания  
в зависимости от материала

Система автоматического  
выбора параметров резания  
в зависимости от материала

Система автоматического  
выбора параметров резания  
в зависимости от материала

Система автоматического  
выбора параметров резания  
в зависимости от материала

Система автоматического  
выбора параметров резания  
в зависимости от материала

Система автоматического  
выбора параметров резания  
в зависимости от материала

Система автоматического  
выбора параметров резания  
в зависимости от материала

Система автоматического  
выбора параметров резания  
в зависимости от материала

Система автоматического  
выбора параметров резания  
в зависимости от материала

Система автоматического  
выбора параметров резания  
в зависимости от материала

Система автоматического  
выбора параметров резания  
в зависимости от материала

Система автоматического  
выбора параметров резания  
в зависимости от материала

Система автоматического  
выбора параметров резания  
в зависимости от материала

Система автоматического  
выбора параметров резания  
в зависимости от материала

Sodick

XYUV  
LiNear

Мировая премьера в Москве!  
Электроискровые технологии  
будущего

## Редакционный совет

- Абрамов Г.А.,**  
научный консультант Российского  
Речного Регистра
- Анисин Д.Д.,**  
зам. руководителя Департамента мореплавания  
Минтранспорта РФ
- Бондин Ю.Н.,**  
ген. директор ГП "НПК газотурбостроения  
"Зоря"-Машпроект", Николаев
- 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
- Дическул М.Д.,**  
пред. совета директоров ОАО "Пермский  
моторный завод" и "Авиадвигатель"
- Жарнов В.М.,**  
ген. конструктор ПО "Минский моторный завод"
- Зазулов В.И.,**  
гл. конструктор НПП "ЭГА"
- Иноземцев А.А.,**  
ген. директор - ген. конструктор  
ОАО "Авиадвигатель", Пермь
- Каблов Е.Н.,**  
ген. директор ГНЦ ВИАМ, член-корр. РАН
- Каторгин Б.И.,**  
ген. конструктор, ген. директор НПО  
"Энергомаш", член-корр. РАН
- Клименко В.Р.,**  
гл. инженер ОАО "Аэрофлот - РМА"
- Коржов М.А.,**  
руководитель проекта "Двигатель"  
ОАО "АвтоВАЗ", Тольятти
- Крымов В.В.,**  
зам. ген. директора ФГУП "ММПП "Салют"  
по науке
- Кузнецов А.Н.,**  
зам. ген. директора Российского авиационно-  
космического агентства
- Кутенев В.Ф.,**  
зам. ген. директора ГНЦ НАМИ по  
внешнеэкономическим связям
- Муравченко Ф.М.,**  
ген. конструктор МКБ "Прогресс", Запорожье
- Новиков А.С.,**  
ген. директор ММП им. В.В. Чернышева
- Русак А.Д.,**  
начальник Департамента локомотивного  
хозяйства МПС РФ
- Селезнев Е.П.,**  
ген. конструктор, ген. директор  
КБХМ им. А.М. Исаева
- Скибин В.А.,**  
ген. директор ГНЦ ЦИАМ им. П.И. Баранова
- Троицкий Н.И.,**  
директор НИИ двигателей
- Фаворский О.Н.,**  
академик, член президиума РАН
- Чепкин В.М.,**  
первый зам. ген. директора НПО "Сатурн"
- Черваков В.В.,**  
декан факультета авиадвигателей МАИ
- Чуйко В.М.,**  
президент Ассоциации "Союз авиационного  
двигателестроения"
- Шапошников Е.И.,**  
советник Президента РФ по авиации и  
космонавтике

## РЕДАКЦИЯ

### Главный редактор

Александр Бажанов

### Заместитель главного редактора

Дмитрий Боев

### Ответственный секретарь

Александр Медведь

### Финансовый директор

Дмитрий Чекин

### Редакторы:

Александр Гомберг, Андрей Касьян,  
Игорь Никитин, Валентин Шерстянников

### Литературный редактор

Лидия Рождественская

### Художественный редактор

Александр Медведь

### Техническая поддержка

Александр Бобылев

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

Александра Бажанова,  
Дмитрия Боева, Льва Берне,  
Валерия Машкова, Александра Медведя,  
Игоря Никитина, Абрама Плешаковича

### Адрес редакции журнала "Двигатель":

111116, Россия, Москва,

ул. Авиамоторная, 2

Тел.: (095) 362-3925

Факс: (095) 362-3925

engine@ztl.ru

engine@avias.com

www.engines.da.ru

www.engine.avias.com

### ОЧДАЕОАЕУ Е ЕСААОАЕУ

ООО "Редакция журнала "Двигатели"

генеральный директор Д.А. Боев

зам. ген. директора А.И. Бажанов

.....

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

Рег. № 018414 от 11.01.1999 г.

Отпечатано

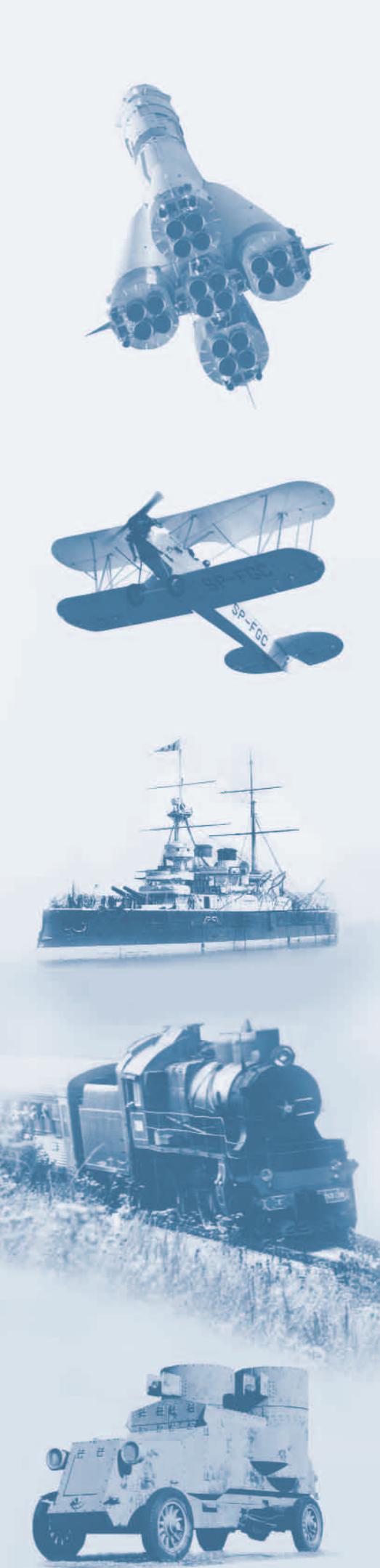
ЗАО "Фабрика Офсетной Печати"

Москва

Тираж 5000 экз.

Периодичность: 6 выпусков в год.

Цена свободная



# СОДЕРЖАНИЕ

## **2. *Авиационные двигатели на МАКС-2003: конкуренция и кооперация***

В. Кокорев, Л. Соркин

## **5. *К юбилею отдела химмотологии авиационных горючесмазочных материалов ЦИАМ***

Л. Яновский, В. Солонин, Н. Дубовкин,  
Е. Федоров, В. Горячев, В. Кондратьев

## **9. *Для создания двигателя нового поколения***

Ю. Елисеев

## **13. *Фигура низшего пилотажа***

Д. Соколовский

## **15. *Торжество созидателей***

П. Миличевич

## **20. *А.Г. Ивченко - основатель ГП "ЗМКБ "Прогресс"***

Ф. Муравченко

## **24. *Генеральный конструктор Сергей Константинович Туманский***

Л. Берне

## **28. *Электроэрозионные проволочно-вырезные станки ROBOFIL фирмы CHARMILLES для струйной обработки***

В. Полуянов, А. Смирнов

## **30. *Надежная герметичность - необходимое условие безаварийной работы ЖРД в полете***

Б. Громыко, Е. Матвеев, Ю. Митюков,  
И. Михалев, Р. Петренко, В. Сорокин

## **33. *Мы работаем для России***

А. Идин

## **34. *К истории создания двигателя первой ступени ракеты-носителя "Энергия"***

В. Рахманин

## **37. *Выдающийся конструктор и организатор***

М. Сирачев

## **40. *Виброактивность и вибросчувствительность турбонасосных агрегатов ЖРД***

В. Шерстянников

## **42. *С.А. Косберг - главный конструктор авиационных и ракетных двигателей (к 100-летию со дня рождения)***

В. Рачук, А. Голубев

## **44. *Автосалон-2003***

А. Бажанов

## **46. *Его величество - к.п.д.***

Е. Бугаец

## **48. *На моторе - с ветерком...***

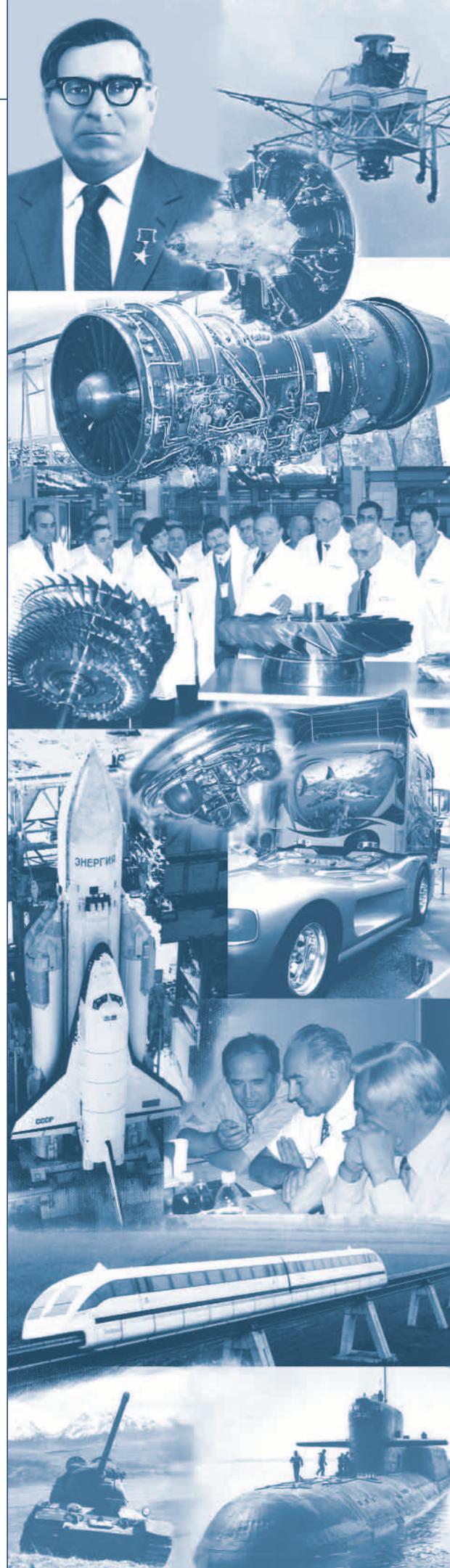
В. Смольский

## **50. *Первые испытания двигателей бронетанковой техники в высокогорных условиях***

А. Ефремов

## **52. *Советские атомные подводные лодки второго поколения***

А. Маринин



# АВИАЦИОННЫЕ ДВИГАТЕЛИ НА МАКС-2003 КОНКУРЕНЦИЯ И КООПЕРАЦИЯ



**Владимир Кокорев**, старший научный сотрудник ЦИАМ  
**Лев Соркин**, ведущий научный сотрудник ЦИАМ

В начале XXI века перед авиадвигателестроением России встал ряд сложных задач, которые необходимо решить в возможно короткий срок. Это, прежде всего, повышение технических и экономических характеристик двигателей до мирового конкурентоспособного уровня; создание двигателя пятого поколения для военной авиации; обеспечение требований экологии по уровням шума и эмиссии вредных веществ для самолетов гражданской авиации.

На международном авиакосмическом салоне МАКС-2003 авиадвигателестроение было представлено двенадцатью отечественными и шестью зарубежными предприятиями. Велись переговоры о расширении международного сотрудничества в производстве двигателей. Американская фирма "Пратт-Уитни" в кооперации с отечественной корпорацией "Ильюшин" договорились о выпуске самолетов Ил-96Р/Т с двигателями PW 2337. Российский филиал "Пратт-Уитни Канада" адаптирует свои двигатели для установки на вертолеты "Ансат" и Ми-38, а также на самолеты Ил-114-100. Успешно продвигаются работы по совместному российско-французскому учебно-тренировочному самолету МиГ-АТ, по которому уже выполнено больше половины программы сертификационных испытаний с двигателем "Ларзак".

лет двигателей - 40 млн ч). К услугам авиакомпаний, которые будут эксплуатировать самолеты RRJ, создается всемирная сеть поддержки ремонта.

В России на базе моделирования проточной части ТРДДФ "Сатурн" АЛ-31Ф, современных конструктивных решений систем управления и новых технологий создан двигатель "Сатурн" АЛ-55, предназначенный для учебно-тренировочных и легких самолетов.

Московским машиностроительным предприятием им. В.В. Чернышева был показан двигатель ВД-1700, который предназначен для установки на перспективных учебно-тренировочных и легких самолетах, в том числе МиГ-АТ. По характеристикам он превосходит двигатель "Ларзак", которым самолет МиГ-АТ оснащается в настоящее время. ВД-1700 представляет собой малоразмерный двухконтурный газотурбинный двигатель в форсажном и бесфорсажном вариантах исполнения с управляемым вектором тяги, созданный путем моделирования проточной части ТРДДФ "Сатурн" АЛ-31Ф. Двигатель имеет модульную конструкцию, обладает высокой технологичностью, контролепригодностью, высокими удельными параметрами, большим ресурсом (на уровне 2000 ч) и малой массой - 355 кг.



Макет разрабатываемого двигателя SM146

Новый пример совместной работы с зарубежными партнерами - создание российского регионального самолета RRJ вместимостью 60-75-95 пассажиров. Для всех моделей этого самолета НПО "Сатурн" и французская фирма "Снекма" разрабатывают базовый двигатель SM146 с низким потреблением топлива и малыми эксплуатационными расходами. Запас экологических характеристик по шуму и эмиссии газов этого двигателя предполагается на уровне стандартов 2006 г. Двигатель SM146 базируется на новом газогенераторе DEM 21, который разработан и испытан компанией "Снекма моторс". Гарантией создания такого двигателя является 20-летняя эксплуатация ТРДД CFM-56 (суммарный налет двигателей - 20 млн ч) и более чем 20-летняя эксплуатация двигателей серии Д-30КП/КУ/КУ-154 (суммарный на-



Макет двигателя АЛ-55

Новое применение нашел широко известный отечественный двигатель ПС-90. В результате установки модифицированного варианта ПС-90А-76 на самолет Ил-76 (наименование модификации - Ил-76МФ) последнему обеспечивается "вторая жизнь". У этого транспортного самолета значительно улучшаются характеристики экономичности, дальности, грузоподъемности, снижается уровень шума по сравнению с базовой комплектацией машины. В настоящее время самолет Ил-76МФ проходит летные испытания и готовится к сертификации.

Интересны продемонстрированные на салоне МАКС-2003 перспективные работы отечественных двигателестроителей по силовой установке для боевого самолета пятого поколения - одной из наиболее сложных задач создания перспективного

авиационного комплекса фронтовой авиации (ПАК ФА). Технический облик истребителя пятого поколения не сообщается, однако по обнародованным ВВС РФ данным взлетная масса его составит примерно 20 т, он будет оснащен двумя двигателями тягой порядка 14,5 тс каждый. Как считают эксперты, наиболее дорогостоящим разделом программы ПАК ФА является двигатель. Основным разработчиком самолета среди самолетных ОКБ определен АВПК "Сухой", выигравший конкурс, который был объявлен ВВС РФ.

Традиционно широкой была экспозиция ФГУП "ММПП "Салют" - одного из крупнейших российских предприятий, специализирующихся на изготовлении и сервисном обслуживании авиадвигателей АЛ-31Ф для самолетов семейства "Су", производстве узлов и деталей двигателей Д-436Т1 и Д-27, энергетических и газоперекачивающих установок, миниагротехники. Важное место в экспозиции заняли высокие технологии производства с использованием элементов, известных на Западе как CALS (Continuous Acquisition and Life-cycle Support - непрерывная поддержка поставок и жизненного цикла изделий), которые охватывают не только проектирование и производство, но и послепродажное обслуживание. На двигателях ММПП "Салют" уже используются усовершенствованные стреловидные лопатки роторов и статоров вентиляторов и компрессоров, срезаемые болты в трансмиссии вентилятора при обрыве лопатки, щеточные уплотнения, активное управление радиальными зазорами в компрессорах и турбинах, двухкольцевые камеры сгорания, упрочнение поверхности деталей изделия АЛ-31Ф методом ионного азотирования и многое другое.

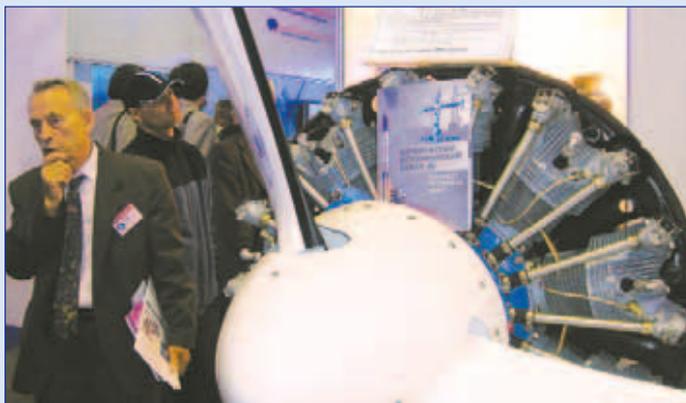
Большой интерес вызвала экспозиция украинского объединения ОАО "Мотор Сич", отмечавшая в дни Салона 100-летие со дня рождения одного из известнейших отечественных авиадвигателестроителей Александра Ивченко. Приоритетным направлением деятельности этого объединения является освоение производства в кооперации с ФГУП "ММПП "Салют" и ОАО "Уфимское моторостроительное производственное объединение" нового поколения трехвальных ТРДД с большой степенью двухконтурности - двигателей семейства Д-436Т1 тягой на взлетном режиме 7,5 тс, разработанных ЗМКБ "Прогресс". Сегодня такие двигатели устанавлива-

вального ТРДД с большой степенью двухконтурности АИ-22 тягой 3755 кгс на взлетном режиме.

В последнее время стало ясно, что поршневая тематика в авиационном двигателестроении была заброшена совершенно напрасно. Основная часть отечественной авиации переориентировалась на ГТД, однако эти двигатели не покрывают всего диапазона запросов авиастроителей. Прежде всего это касается легких, сверхлегких и спортивных самолетов. Если для спортивных машин в основном проходят наработки времен Великой Отечественной войны и более ранние, то для СЛА и малой авиации приходится использовать либо зарубежные конструкции, либо приспособленные автомобильные или мотоциклетные моторы.

Поршневая тематика была представлена на этом Салоне в основном двумя фирмами: Воронежским механическим заводом (ВМЗ) и специальным конструкторским бюро СКБ РПД из Тольятти. Воронежский двигатель М-9Ф мощностью 420 л. с. с системой непосредственного впрыска топлива (бескарбюраторный вариант) предназначен для спортивной авиации. Карбюраторная модель двигателя М-9Ф, установленная на спортивном самолете СУ-26-3М, обеспечила нашим летчикам на чемпионате мира по авиационной акробатике в США в июле этого года завоевание трех золотых, трех серебряных и четырех бронзовых медалей. В настоящее время ведутся совместные работы ВМЗ и ЦИАМ, связанные с внедрением перспективных технологий (жидкоштампованного поршня, стальных колец - компрессионных и маслоъемных, интерметаллидных клапанов), которые позволяют улучшить удельные параметры двигателя. Разрабатываются также и облегченные модификации этой "звезды" меньшей мощности.

Среди зарубежных фирм на МАКС-2003 выделялись экспозиции "Снекмы" и CFMI. Первое поколение двигателей семейства CFM56 в 60-х годах прошлого века характеризовалось высокой степенью двухконтурности и использованием гидромеханических систем управления. У двигателей второго поколения (70-е годы) из композиционных материалов изготавливались стационарные компоненты, была повышена стойкость к повреждениям при обрыве лопаток и снижен уровень шума. Третье поколение (80-е годы) основалось системами автоматического управления с полной ответственностью FADEC, средствами активного управления зазорами,



В.И. Дочкин у двигателя М-9Ф его конструкции



3D-модель двигателя TP400-D6

ются на самолете-амфибии Бе-200, который получил международное признание (Китай, Италия и другие страны). Двигатели семейства Д-436 удовлетворяют действующим и перспективным нормам по шуму и эмиссии вредных веществ.

На предприятии "Мотор Сич" ведется подготовка к серийному производству первого в мире маршевого турбовинтовентиляторного двигателя Д-27, предназначенного для широкофюзеляжного военно-транспортного самолета Ан-70, а также транспортных самолетов Ан-180 и Бе-42. Его выпуск предусматривается наладить в кооперации с ФГУП "ММПП "Салют". Для пассажирского регионального Ту-324 и его административной модификации в кооперации с ОАО "Казанское моторостроительное производственное объединение" осваивается производство двух-

усовершенствованными материалами и покрытиями в турбинах. Четвертое поколение (90-е годы) можно отличить по следующим особенностям: внедрению в конструкцию широкохордных лопаток вентилятора, порошковой металлургии, малоэмиссионных камер сгорания и методов трехмерного (3D) проектирования. Наконец, пятое поколение (первая декада текущего столетия) отличается еще большим снижением эмиссии выходных газов и высокой нагрузкой на ступень. В двигателях пятого поколения широко применяется пространственное моделирование лопаток как компрессора, так и турбины, внедрены более эффективные способы охлаждения лопаток турбины.

Американская фирма "Боинг" основное внимание уделила проекту магистрального пассажирского самолета будущего поко-

ления "Дримлайнер" ("Боинг-7Е7"). Этот самолет относится к классу магистральных машин В-757, В-767, А-300/310, А-330. Предполагается, что "Дримлайнер" будет превосходить по топливной эффективности двухмоторные самолеты на 19 % и четырехмоторные самолеты - на 30 %. В конкурсе на двигатель для "Дримлайнера" участвуют фирмы "Дженерал Электрик" (США), "Роллс-Ройс" (Великобритания) и "Пратт-Уитни" (США).

Фирма "Дженерал Электрик" создает двигатель на базе масштабированного на 60...70 % усовершенствованного газогенератора GE90 с двухзонной камерой сгорания, отработанной в программе Tech56. Суммарная степень повышения давления около 50, степень двухконтурности, вероятно, будет около 11. По сравнению с существующими двигателями самолета В-767 уровень эмиссии NO<sub>x</sub> предполагается снизить на 65 %, а удельный расход топлива - на 13...15 %.

Британская фирма "Роллс-Ройс" разрабатывает для "Дримлайнера" масштабированную модель двигателя Trent 900 с увеличенной степенью двухконтурности и использованием решений, отработанных в Европейской программе ANTLE (демонстратор с низким уровнем эмиссии, первые испытания - в начале следующего года). Перспективные решения, примененные в конструкции двигателя, включают вентилятор со стреловидными полыми лопатками, противовращение роторов, однозонную низкоэмиссионную камеру сгорания с непосредственными впрыском топлива.

Фирма "Пратт-Уитни" предлагает новый двигатель PW-EXX с каскадом низкого давления на базе двигателя PW 4000. Новый газогенератор включает 10-ступенчатый компрессор высокого давления, камеру сгорания с низким уровнем выброса NO<sub>x</sub>, а также двухступенчатую турбину высокого давления. Перспективный титановый вентилятор диаметром 2,84 м обеспечивает степень двухконтурности около 10. Вспомогательная силовая установка вырабатывает только электроэнергию.

Фирма "Пратт-Уитни" вступила в альянс с другим крупнейшим американским производителем авиадвигателей - фирмой "Дженерал Электрик" с целью создания семейства силовых установок GP 7000 для магистральных аэробусов типа "Боинг-747". Особенностью этой программы является проведение интенсивных испытаний двигателей перед вводом в эксплуатацию. Кроме того, двигатели будут проходить летные испытания на летательной лаборатории "Боинг-747".

Важное место в работе Салона заняло проведение пресс-конференций и презентаций, на которых рассматривались перспективные направления авиадвигателестроения. В частности, на презентации ЦИАМ при обсуждении результатов исследований по газовой динамике особое внимание уделялось разработке численных методов расчета нестационарных процессов. Рассмотрены ключевые проблемы теории перспективных авиационных турбин, систем автоматического управления, разработки гиперзвуковых двигателей для воздушно-космических и трансконтинентальных самолетов.

Ассоциация "Союз авиационного двигателестроения" (АССАД) на пресс-конференции представила информацию о финансово-экономическом состоянии большинства предприятий, входящих в АССАД. Объемы выпуска и продаж продукции на серийных предприятиях по сравнению с 2001 г. возросли более чем на 30 %, объемы выполненных работ в научно-исследовательских институтах - на 45 %, в опытно-конструкторских бюро - почти на 30 %. Для упрощения проведения маркетинговых исследований, а также для налаживания взаимовыгодных научно-технических и экономических связей в соответствии с поручениями Правительства РФ Ассоциация организует и проводит международные выставки "Двигатели". Восьмой международный салон "Двигатели-2004" и в его рамках научно-технический симпозиум "Двигатели и экология" состоится в Москве в период с 12 по 16 апреля 2004 г. Ожидается участие более 150 ведущих фирм и предприятий мира, занимающихся созданием, производством, продажей, эксплуатацией и ремонтом двигателей различного назначения.

На Салоне руководители многих отечественных авиационных предприятий высказывались о необходимости концентрации производственных и научных сил на приоритетных направлениях. Эта задача становится особенно актуальной в связи с созданием двигателей пятого поколения - как военных, так и гражданских. В настоящее время более 30 различных компаний, фирм, институтов занимаются созданием и производством двигателей, что, безусловно, приводит к распылению технических и ресурсных возможностей. Эффективное использование научного задела для создания продукции оборонного назначения предполагает существенные государственные инвестиции, что невозможно при столь большом числе адресатов вложений. Скорее всего, необходимо все же укрупнение предприятий и соответствующее сокращение тем, по которым осуществляется государственное финансирование авиадвигательной подотрасли.

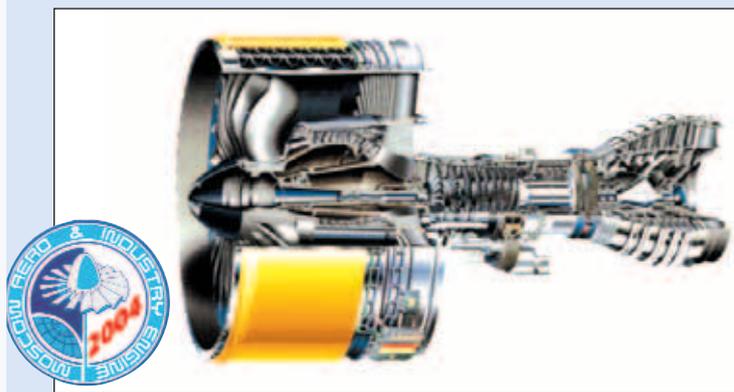


Схема двигателя GP7270



Подписание соглашения о постановке ПС-90А-76 на самолет Ил-76

Консорциум европейских фирм EP1 во главе со "Снекма Моторс" представил на Салоне программу создания турбовинтового двигателя TP400 для военно-транспортного самолета А-400М. TP400 представляет собой трехкаскадный турбовинтовой двигатель мощностью 11 000 л.с. Его первые наземные испытания намечены на 2005 г., а первый полет - на сентябрь 2006 г. График разработки двигателя составлен в соответствии со сроками поставок самолета А-400М, которые должны начаться в 2009 г. Семь стран заказали в общей сложности 180 четырехмоторных А-400М, в том числе Германия - 60 самолетов, Франция - 50, Испания - 27, Великобритания - 25, Турция - 10, Бельгия - 7 и Люксембург - 1 машину. Для этих самолетов потребуются более 750 двигателей TP400.

Как показал Московский авиасалон, мировой рынок авиадвигателей развивается стабильно и динамично. Главными направлениями этого развития являются снижение стоимости технического обслуживания, обеспечение экологических требований, улучшение экономичности и внедрение новых материалов. И совершенно ясно, что основными ресурсами, которые вкладываются фирмами в создание перспективной техники, являются научный задел и использование новых методов производства. Оба компонента являются весьма дорогостоящими и требуют непрерывного совершенствования. Те страны, которые утрачивают эту разнородность национального богатства, выбывают из дальнейшей борьбы за создание техники будущего.

# К ЮБИЛЕЮ ОТДЕЛА ХИММОТОЛОГИИ АВИАЦИОННЫХ ГОРЮЧЕ-СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ЦИАМ

ГНЦ РФ ЦИАМ: **Леонид Яновский, Валентин Солонин, Николай Дубовкин, Евгений Федоров, Василий Горячев, Виталий Кондратьев**

В 1933 г. в составе Центрального института авиационных моторов, организованного тремя годами ранее, был организован отдел, основной задачей которого стало обеспечение надежности авиационных двигателей химмотологическими средствами. Химмотология как наука изучает способы рационального применения горюче-смазочных материалов (ГСМ) и контроля их качества. Созданное в ЦИАМ 70 лет назад химмотологическое подразделение сегодня является головным в отечественной авиационной промышленности.

Первые значительные успехи в работе отдела связаны с именем его организатора и первого руководителя Дмитрия Яковлевича Коломацкого (1900-1948 гг.), специалиста широкой научной эрудиции, глубоко понимавшего сложные химмотологические задачи. В это время начали налаживаться научные и практические связи в области авиационной химмотологии с предприятиями авиапрома, гражданской авиации, минобороны, институтами АН СССР. На начальном этапе становления отдела как научного подразделения помощь оказывали крупные ученые АН СССР - академики С.С. Наметкин и Е.А. Чудаков, член-корреспондент К.П. Лавровский и другие.

К концу 30-х годов окончательно оформилась структура отдела, определились основные научные направления, была создана соответствующая экспериментальная база. Отдел был оснащен научно-исследовательской аппаратурой и укомплектован высококвалифицированными специалистами. Отделу химмотологии постоянно уделяли повышенное внимание и оказывали действенную поддержку все руководители ЦИАМ и их заместители, что в значительной мере способствовало успешному решению поставленных задач.

До середины 40-х годов практически все летательные аппараты оснащались поршневыми двигателями. Их совершенствование велось в направлении повышения надежности, мощности, высотности и экономичности. В качестве ГСМ использовались бензин, минеральные масла и пластичные смазки на минеральной основе. В отделе химмотологии были выполнены фундаментальные работы, позволившие сформулировать научно-обоснованные технические требования к качеству ГСМ для создававшихся поршневых авиадвигателей. Одним из первых значимых результатов стал выбор топлива и масла для двигателя М-32 (конструктор - В.М. Яковлев), который создавался в расчете на весьма высокие удельные параметры. В тот период были разработаны бензин Б-78 и масло МС. Быстрое освоение их промышленного производства позволило решить задачу обеспечения новых двигателей ГСМ требуемого качества. Бензин Б-78 и масло МС использовались на самолете АНТ-25 с двигателем АМ-34РД при отработке топливной и масляной систем, а также при выполнении беспосадочных перелетов по маршруту Москва - Северный полюс - Америка экипажами В.П. Чкалова и М.М. Громова.

Дальнейшее совершенствование качества и эксплуатационных характеристик топлива привело к созданию нового бензина Б-95/130, имевшего высокую антидетонационную стойкость. По качеству этот бензин в течение более 30 лет соответствовал ми-

ровому уровню, являлся основным в отечественной поршневой авиации и применялся в двигателях семейств "АМ", "ВК", "АШ", "М", в том числе и во время Великой Отечественной войны.

В 1941-1945 годах работа отдела была ориентирована в основном на оказание оперативной помощи промышленности и ВВС. В частности, отдел принимал участие в испытаниях разработанных в ЦИАМ систем и методик запуска моторов ВК-105, АШ-82ФН, АМ-38 при низкой температуре без предварительного подогрева. Повышенное внимание в то время уделялось изучению проблемы детонации в двигателе, поскольку детонационное горение препятствовало повышению мощности двигателей с помощью наддува и улучшению экономичности путем увеличения степени сжатия рабочей смеси.

В результате проведенных исследований были получены принципиально новые представления о влиянии свойств бензинов и условий работы двигателя на возникновение детонации. Для дальнейшего совершенствования моторных методов испытаний антидетонационных свойств бензинов и дизельных топлив в 1948-1952 гг. под руководством конструкторов А.А. Бесонова и Г.И. Фескина были созданы и внедрены в серийное производство специальные испытательные установки (ИТ-9-1, ИТ-9-2, ИТ-9-3, ИТ-9-5), которые выпускались промышленностью более 40 лет, использовались в институтах и на предприятиях различных отраслей промышленности и экспортировались во многие страны.

Созданием новых образцов ГСМ для поршневых двигателей руководили Д.Я. Коломацкий и его помощники по тематическим направлениям - Е.Р. Терещенко, А.А. Дерябин, А.Л. Фейгин, Л.В. Жирнов. Эти работы велись до середины 40-х годов, когда вместо "поршневой тематики" ЦИАМ был переориентирован на научное сопровождение создания газотурбинных двигателей. Перед отделом химмотологии встал важная задача, связанная с разработкой топлив и масел принципиально нового ассортимента и с совершенно иными возможностями. Потребовалось проведение ряда НИР по реактивным топливам и смазочным материалам для ГТД, разработке новых методов их исследования и испытаний. Нередко испытания велись на натурных изделиях в стендовых и эксплуатационных условиях. В 1948 г. на основе разработанных отделом химмотологии ЦИАМ технических требований было создано первое отечественное стандартное реактивное топливо Т-1. Это топливо длительное время являлось основным для дозвуковой и сверхзвуковой авиации (с ограниченной продолжительностью сверхзвукового полета), а также для ракет с ЖРД.

Высокие темпы развития реактивной авиации потребовали интенсивного наращивания объемов производства топлива. Это можно было сделать только при условии использования новых сырьевых ресурсов, вовлечения в переработку сернистых нефтей. При этом возникла объективная необходимость разработки методов очистки топлив от коррозионно-активной меркаптановой серы. Химмотологи ЦИАМ выполнили большой объем лабораторных исследований, стендовых и летных испы-



Д.Я. Коломацкий



Б.Д. Залого



Е.П. Федоров

таний опытных образцов новых топлив, созданных миннефте-химпромом. В результате были получены реактивные топлива массового применения ТС-1 и Т-2 из сернистых нефтей.

Повышение температуры в камерах сгорания авиационных ГТД привело к необходимости разработки термостабильных прямогонных реактивных топлив. В результате проведения комплексных исследований были созданы такие топлива: Т-6, нафтил и Т-8В. Завершение большой совместной с другими отраслевыми НИИ научно-исследовательской программы в 60-х - начале 70-х годов обеспечило внедрение в производство гидроочищенного реактивного топлива РТ, рекомендованного к применению при температурах до 180 °С. Топливо РТ более 30 лет применяется в отечественной авиации как унифицированное для всех типов летательных аппаратов. Работы, связанные с обеспечением высокой термостабильности топлив, остаются актуальными и в настоящее время.

Техническую политику по реактивным топливам определяли начальники отдела Б.Д. Залого (1952-1972 г.г.), Е.П. Федоров (1972-1995 г.г.), Л.С. Яновский (с 1995 г.). В разработку реактивных топлив большой вклад внесли Е.Р. Терещенко, М.С. Тарарышкин, Н.Ф. Дубовкин, Г.И. Ковалев, О.Г. Пустырев, В.В. Макаренков, В.Г. Столяров.

Первым отечественным смазочным материалом для ГТД стало минеральное масло МК-8, созданное по техническим требованиям ЦИАМ. Это масло более трех десятилетий было основным для ТРД. Одним из основных требований, предъявляемых к смазочным материалам, является их высокая термоокислительная стабильность. Совместно с рядом организаций в ЦИАМ была создана и внедрена антиокислительная присадка ионол, позволившая на базе масла МК-8 получить новое, более термостабильное, масло МК-8П. Позже была решена задача получения масла из сернистой нефти. Это масло, получившее обозначение МС-8П, было допущено к эксплуатации на всех видах авиатехники, где ранее применялось МК-8П. Внедрение масла МС-8П сняло проблему обеспечения массовой авиации жидкими смазками. В 1980 г. была закончена работа по разработке рабоче-консервационного минерального масла МС-8РК, которое также было допущено к использованию на авиатехнике.

Минеральные масла все же не могли полностью удовлетворить предъявляемые к ним требования по термостабильности и ряду других свойств. В конце 50-х годов начался новый этап создания синтетических масел, стабильных при более высоких рабочих температурах. По разработанным ЦИАМ техническим требованиям и при его непосредственном участии были получены первые отечественные синтетические масла: серии 36/1 (36)1, 36/1К, 36/1Ку 36/1Ку-А, масло Б-3В, термостабильные до 200 °С, а также масло ВНИИ НП-1-4ф (175 °С). Несколько позже было разработано на углеводородной основе масло ИПМ-10. На основе фторорганосилоксанов создано уникальное отечественное масло ВТ-301 (впервые исследованное в

ЦИАМ), термостабильное до 280 °С. В 70-х годах было разработано и внедрено масло МН-7,5у, которое превосходило по термостабильности и низкотемпературным свойствам применявшиеся ранее маслосмеси. Созданное при участии химмотологов ЦИАМ масло ЛЗ-240 допущено к применению на всех типах вертолетов. Масло ПТС-225, длительно работоспособное при температурах до 225 °С, было рекомендовано в качестве унифицированного для отработки теплонапряженных двигателей и редукторов вертолетов.

В середине 50-х годов в ЦИАМ были начаты систематические исследования в области пластических смазок и твердых смазочных покрытий (ТСП). Отделом химмотологии впервые разрабатывались технические требования к смазкам с увеличенным ресурсом работы, которые вскоре были внедрены в эксплуатацию (ВНИИ НП-207, ВНИИ НП-286М, ВНИИ НП-261, твердое смазочное покрытие ЦВСП-3С, работоспособное до температуры 500 °С). Покрытие ЦВСП-3С успешно применяется в десятках типов ГТД около 40 лет.

В 80-е годы были разработаны технические требования на высокотемпературную смазку (до 1000 °С) для резьбовых соединений. Такая смазка (резол) была создана и допущена к применению на авиационных ГТД.

В обеспечение авиационной техники высококачественными смазочными материалами в Отделе проводились комплексные исследования. Большой творческий вклад в решение проблемы смазочных материалов внесли Б.Д. Залого, А.Р. Косякин, Л.А. Майорова, В.В. Горячев, О.А. Запорожская, В.А. Кондратьев.

К началу 70-х годов неоправданно увеличился ассортимент ГСМ, используемых в отечественной авиационной технике, что привело к затруднениям при эксплуатации авиационной техники. В результате НИР, выполненной в ЦИАМ, был обоснован рациональный ассортимент ГСМ и выпущен нормативный документ, устанавливающий номенклатуру и порядок назначения к применению топлив, масел и смазок. В дополнение к этому была разработана система контроля на этапе рабочего проектирования за назначением ГСМ к применению в изделиях. Система предусматривала составление специального документа - химмотологической карты, согласованной с Минобороны. Указанная система контроля была регламентирована в ОСТ 102599-85 "Топлива, масла, смазки и спецжидкости. Требования к составлению и согласованию химмотологической карты".

В конце 70-х - начале 80-х годов отработывались общие единые правила обращения с ГСМ на предприятиях МАП и впервые был внедрен руководящий документ "Руководство о порядке контроля качества, хранения, фильтрации и применения авиационных ГСМ и спецжидкостей на предприятиях МАП". Проблемы унификации ГСМ решались при активном участии Е.П. Федорова, О.Г. Пустырева, В.В. Горячева и В.А. Кондратьева.

Использование отечественной авиационной техники за рубежом вызвало необходимость решения проблемы взаимоза-

меняемости отечественных и зарубежных ГСМ. В 70-х годах в ЦИАМ были начаты исследования зарубежных ГСМ с целью определения эквивалентов отечественным маркам. Результаты проведенных исследований впервые были обобщены в 1976 г. в форме "Перечня зарубежных ГСМ, допущенных к применению на отечественной авиатехнике", утвержденного руководством миновиапрома и межведомственной комиссией по допуску к производству и применению топлив, масел, смазок и спецжидкостей при Госстандарте. "Перечень" регулярно дополняется новыми результатами, сведениями и данными. Организационные и технические проблемы взаимозаменяемости ГСМ решались под руководством Е.П. Федорова, Л.С. Яновского при непосредственном участии Г.И. Ковалева, В.Ф. Иванова, О.Г. Пустырева, В.В. Горячева, В.А. Кондратьева, В.Ф. Иванова и О.А. Запорожской.

В конце 70-х годов в ЦИАМ в целях расширения сырьевых ресурсов получения авиационных топлив были рассмотрены перспективы использования попутных нефтяных газов. Выполненный анализ показал, что на современном уровне развития авиационной техники, технологически и экономически перспективным направлением следовало считать использование авиационных сконденсированных топлив (АСКТ), получаемых из легких парафиновых углеводородов с низкой температурой кристаллизации. Специалисты ЦИАМ совместно с ЦАГИ, ММЗ "Наука" и рядом ОКБ провели технико-экономические исследования, показавшие, что использование сконденсированных газовых топлив в отдельных нефтедобывающих районах России на разных типах ЛА может быть целесообразным.

В начале 80-х годов ЦИАМ совместно с ЦАГИ и ВНИПИ-газпереработка приступил к решению проблемы использования нефтяного газа в качестве авиатоплива. При участии ЦИАМ на Заводе им. В.Я. Климова были проведены стендовые испытания двигателя ТВ2-117А на газовом топливе, а в 1987 г. успешно проведены летные испытания серийного вертолета Ми-8ТГ на пропан-бутановой смеси. Были разработаны ТУ на первое отечественное авиационное сконденсированное газовое топливо АСКТ. Результаты этой НИР стали основанием для включения в перспективный план развития авиационной техники на период 2010-2015 гг. двухтопливных вертолетов. Вопросы использования сконденсированных газовых топлив в вертолетах и самолетах местных авиалиний в основном решались в ЦИАМ под руководством Н.Ф. Дубовкина при активном творческом участии Л.Н. Смирновой, Д.Л. Лещинского, М.Г. Васильевой, Л.Д. Абашиной.

В отделе химмотологии ЦИАМ ведутся также работы по изучению криогенных топлив, в качестве которых рассматривались жидкие  $H_2$ ,  $CH_4$  и смесевые топлива (АСКТ-К) из легких парафиновых углеводородов. Результаты анализа перспектив использования водородного и метанового криогенных топлив изложены в фундаментальном справочнике по водороду (1989 г.), а по АСКТ-К - в статьях, опубликованных в разных периодических изданиях и докладах на научно-технических конференциях.

Реальность использования криогенного топлива на летательном аппарате была подтверждена осуществленными впервые в мире полетами самолета Ту-155 с двигателями НК-88В, работающими на жидких  $H_2$  и  $CH_4$ . Специалисты ЦИАМ совместно с ГИПХ и ГИАП впервые разработали отраслевой стандарт на водород в качестве топлива для авиационно-космической техники. В отделе химмотологии ЦИАМ проблема криогенных углеводородных топлив разрабатывалась Л.С. Яновским, Н.Ф. Дубовкиным при активном участии Л.Н. Смирновой.

В 90-е годы изучалась возможность использования высокотемпературных эндотермических топлив с повышенным физическим и химическим хладоресурсом для прямого охлаждения теплонапряженных элементов ЛА (передних кромок крыльев, фюзеляжа, камер сгорания, лопаток турбины) или в качестве промежуточного теплоносителя (например, в топливо-воздушном или топливо-газовом теплообменнике). В отделе химмотологии

были проведены теоретические и экспериментальные исследования термодеструкции опытных и стандартных реактивных топлив, разработаны способы подавления коксоотложений на стенках охлаждаемых каналов в области жидко- и парофазного состояний топлив применительно к ЛА различного назначения. Были созданы методики расчета, спроектирован, изготовлен и испытан теплообменник-реактор для исследования рабочего процесса в камерах сгорания ПВРД и ГПВРД на продуктах разложения эндотермических топлив.

В результате было разработано первое отечественное эндотермическое топливо Т-15, по хладоресурсу и энергетическим характеристикам превосходящее зарубежные аналоги. Исследования по эндотермическим топливам выполнялись под научным руководством Л.С. Яновского, активное творческое участие принимали Г.Б. Сапгир, Г.И. Ковалев, А.В. Герасимова, А.В. Байков, В.Ф. Иванов, С.И. Мартыненко.

В начале 80-х годов отдел химмотологии ЦИАМ участвовал в разработке отечественных энергоемких горючих (ЭГ) для БПЛА. По техническим требованиям и при непосредственном участии ЦИАМ были разработаны и приняты на снабжение два типа жидких ЭГ. За комплекс исследований по ЭГ для БПЛА Н.Ф. Дубовкин в составе группы научных работников был удостоен Государственной премии.

В это же время ЦИАМ совместно с рядом отраслевых и академических НИИ участвовал в разработке опытных рецептур жидких борсодержащих, а также суспензионных и легкоплавких горючих для БПЛА. Были разработаны технические требования к таким горючим, созданы и исследованы опытные образцы горючих. Практическое выполнение работ возлагалось на Н.Ф. Дубовкина. В работе непосредственное участие принимали Е.П. Федоров, Д.Л. Лещинский, Ю.П. Массур, Л.Н. Смирнова, Е.Ф. Сапожкова и другие сотрудники отдела.

В 50-е годы возникла идея использования ракетно-прямоточных двигателей (РПД) на ступенях ракет, летающих в плотных слоях атмосферы, что потребовало углубленного изучения процессов первичного разложения твердых топлив (ТТ), дожигаания продуктов разложения, увеличения теплотворной способности ТТ и т.д. Кроме того, началась разработка турбостартеров на ТТ для обеспечения автономного запуска газогенераторных двигателей. В отделе химмотологии ЦИАМ исследовались опытные образцы ТТ разного компонентного состава, разрабатывались методы исследования таких топлив. Работы велись в тесном сотрудничестве с организациями АН СССР и МО. Исследования по ТТ для РПД выполнялись под руководством Ю.И. Захаровой при активном участии В.Н. Захарова, В.С. Титова, В.В. Горячева, Л.Н. Смирновой, Д.Л. Лещинского и др.

Работы в области авиационной химмотологии широко освещались в различных научно-технических изданиях. Было подготовлено около двух десятков монографий и справочников по реактивным топливам, легким моторным топливам и их компонентам, газовым, криогенным, эндотермическим топливам и энергоемким горючим, смазочным маслам, пластичным смазкам и твердым смазочным покрытиям. В отечественных и зарубежных научных и технических журналах, трудах ЦИАМ и сборниках различных конференций систематически публиковались статьи с результатами исследований товарных и опытных образцов ГСМ. Ряд статей был посвящен перспективам развития химмотологии как науки, а также опыту эксплуатации авиационной техники. По результатам работ отдела химмотологии ЦИАМ его сотрудникам выдано более 100 авторских свидетельств и патентов.

В 1995 г. отдел химмотологии ЦИАМ был объединен с отделом специальных двигателей. За 70 лет работы химмотологи ЦИАМ внесли большой вклад в развитие отечественных авиадвигателей. Накоплены огромный научный потенциал и практический опыт, которые найдут применение при решении новых сложных научно-технических задач. Химмотологи ЦИАМ с оптимизмом смотрят в будущее отечественной авиации. 

С 3 по 4 сентября 2003 г. на территории ФГУП "ММПП "Салют" проводился Международный научно-технический семинар "Прогрессивные технологии для создания газотурбинного двигателя нового поколения".

В работе семинара приняли участие представители 82 предприятий и организаций России, Украины, Молдавии (Росавиакосмоса, Минпромнауки России, предприятий авиационной промышленности, отраслевых научно-исследовательских институтов и НИИ смежных отраслей, институтов РАН и вузов). Как это уже принято на ММПП "Салют", участникам семинара были продемонстрированы новое оборудование и технологии, освоенные предприятием.

Так получилось, что в первый день работы семинара завод посетил председатель Государственной думы Г.Н. Селезнев, который ознакомился с конструкторским бюро и цехами предприятия. Воспользовавшись этим визитом, руководство завода и его работники высказали Г.Н. Селезневу обеспокоенность по поводу проводимой правительством политики в отношении госпредприятий.

На семинаре с докладами выступили:

- генеральный директор ФГУП "ММПП "Салют", д.т.н., профессор Ю.С. Елисеев ("Подходы к разработке и производству двигателей нового поколения");
- генеральный директор ФГУП "ЦИАМ", д.т.н., профессор В.А. Скибин ("Облик газотурбинного двигателя нового поколения");
- генеральный директор АССАД, д.т.н., профессор В.М. Чуйко ("Интеграционные



Рабочий президиум международного семинара: Ю.С. Елисеев, В.А. Скибин, В.М. Чуйко

процессы в производстве двигателей нового поколения");

- заместитель генерального директора ГНЦ "ВИАМ", д.т.н., профессор Б.С. Ломберг ("Перспективные материалы для двигателя нового поколения");
- руководитель НТЦ "НИИД", д.т.н., профессор В.А. Гейкин ("Новые технологии для создания двигателя нового поколения");
- главный инженер ФГУП "ММПП "Салют", к.т.н. В.А. Поклад ("Информационные САЛS-технологии в разработке и производстве перспективных ГТД").

Во всех докладах отмечена решающая роль прогрессивных технологических процессов для создания газотурбинных двигателей нового поколения. Ряд технологий уже освоен на некоторых предприятиях, но, к сожалению, полного комплекта необходимых технологий нет даже во всей авиационной отрасли. В связи с этим участники семинара приняли решение о подготовке перечня технологий, освоение которых необходимо для создания двигателя пятого поколения.

Основу технологического задела для создания ГТД нового поколения должны составлять работы, направленные на разработку:

- технологических процессов создания высокотемпературных легких турбокомпрессоров;
- вентилятора с блиск-ступенями;
- элементов статора из композиционных материалов на полимерной и металлической матрицах;
- сегментной жаровой трубы;
- щеточных уплотнений;
- блисков компрессоров из композиционного материала;
- магнитных опор;
- элементов сопла и форсажной камеры из

- композитов на керамической матрице;
- блиска ТВД из разнородных материалов;
- блиска вентилятора с широкохордными лопатками;
- экологически чистых высокотемпературных двухступенных камер сгорания большого ресурса.

Требуется также разработать:

- новые ресурсосберегающие технологии;
- новые высокоэффективные экологически чистые технологии для нанесения многофункциональных, в том числе теплозащитных покрытий для рабочих и сопловых лопаток турбин, створок и экранов реактивного сопла;
- перспективные технологии получения неразъемных соединений роторных и корпусных конструкций методами сварки, пайки и др.



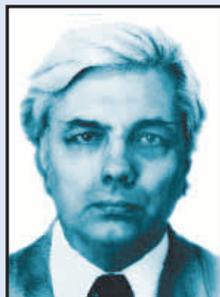
Заместитель генерального директора В.В. Крымов с участниками семинара в сборочном цехе

Этот перечень не окончательный, наверняка он будет дополнен предложениями других предприятий и организаций авиапрома. Окончательная редакция перечня будет еще в этом году утверждена в Росавиакосмосе. В этом же году будут подготовлены предложения по разделу "Критические технологии авиационных газотурбинных двигателей" Федеральной целевой программы "Национальная технологическая база" на 2004-2005 гг.

Аналогичные научно-технические семинары с участием руководителей Росавиакосмоса, Минпромнауки России, институтов, серийных и опытных предприятий намечено проводить регулярно, и очередной состоится на ОАО "УМПО" в первой половине 2004 г. **А**



Г.Н. Селезнев в производственных цехах завода



В сентябре ушел из жизни доктор технических наук, профессор, Генеральный директор ЦВНТ ЦИАМ Федор Никифорович Олифиров - известный ученый в области авиационной и космической техники.

Всю свою творческую жизнь Федор Никифорович посвятил созданию высокоэффективных систем и агрегатов управления и топливопитания авиационных и ракетных двигателей. Созданные при непосредственном его участии щелевые дозаторы нашли применение в системах регулирования

силовой установки космического самолета "Буран". В период его работы заместителем начальника ЦИАМ под его руководством силами ЦИАМ и ОКБ промышленности были успешно созданы и внедрены в эксплуатацию системы управления авиационных двигателей четвертого поколения.

Наряду с теоретическими исследованиями Ф.Н. Олифиров уделял большое внимание экспериментальной отработке создаваемых им новых образцов агрегатов. В последнее время Федор Никифорович совместно с группой энтузиастов и единомышленников в созданном и руководимом им Центре внедрения новых технологий ЦИАМ активно разрабатывал топливные системы и

насосные агрегаты высокоэффективных схем применительно к перспективным авиационным двигателям, активно взаимодействовал с заводами-изготовителями, в том числе с ММПП "Салют". Созданные под его руководством топливные насосы нашли широкое применение в системах управления отечественных двигателей.

Друзья и соратники Федора Никифоровича запомнили его принципиальным, честным человеком, увлеченным, творческим специалистом, надежным и верным товарищем и другом.

Светлая память о Федоре Никифоровиче всегда будет жить в наших сердцах.

**Коллектив товарищей**

# ДЛЯ СОЗДАНИЯ ДВИГАТЕЛЯ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Длительное время многие надеялись, что проблемы авиапромышленности в целом и его двигательной подотрасли в частности решатся сами собой, если правительство наконец осознает государственную важность сохранения авиации России, утвердит программу создания новых боевых и гражданских самолетов, обеспечит финансирование и будет строго следить за выполнением программы.

Пока же существенных сдвигов в этом направлении не произошло, и все заводы, в том числе ФГУП "ММПП "Салют", вынуждены самостоятельно искать пути выхода из непростой экономической ситуации и отвечать на сакраментальный вопрос: "Что делать?"

Для ФГУП "ММПП "Салют" вопрос "что делать?" не актуален. Помимо двигателя АЛ-31Ф, производство которого хорошо налажено, заводом освоены двигатель АЛ-31ФН для самолета китайских ВВС, а также большинство деталей и узлов для совместно создаваемых с ОАО "Мотор Сич" двигателями Д-436, Д-27 и АИ-222. В специализированном КБ создаются двигатели для энергоустановок, газоперекачивающих станций, транспортных систем. И все же главным направлением деятельности предприятия остается производство двигателей для военной авиации. Это направление является важнейшим потому, что изготовление именно ПД военного назначения настоятельно требует освоения новейших технологий, которые определяют возможности предприятия и его позиционирование в конкурентной среде.

Вероятно, при наличии денег можно разработать любой двигатель, но возможности государства по финансированию отрасли ограничены. Специалистами ФГУП "ММПП "Салют" была создана концепция модернизации выпускаемого серийно двигателя АЛ-31Ф, что позволяет существенно сократить сроки и стоимость разработки новых двигателей, а также снизить технический риск. Об этом на семинаре рассказал генеральный директор ФГУП "ММПП "Салют" Ю. С. Елисеев.

**Юрий Елисеев**, генеральный директор ФГУП "ММПП "Салют"

## Основные направления совершенствования конструкции ГТД

Улучшения основных параметров двигателя предполагается достичь путем проведения модернизации в три этапа. Перед каждым из них необходимо реализовать определенный объем экспериментально-проектных и конструкторских работ, а также освоить ряд критических технологий, обеспечивающих внедрение модернизированных агрегатов. При этом предполагается, что двигатели каждого этапа модернизации будут выпускаться серийно, сохраняют взаимозаменяемость и будут иметь улучшенные характеристики по сравнению с предыдущими вариантами.

На первом этапе модернизации предусматривается внести в конструкцию АЛ-31Ф следующие изменения:

- установить компрессор низкого давления (КНД) с увеличенным расходом воздуха;
- повысить температуру газов  $T_3$  перед турбиной на  $25^\circ\text{C}$ ;
- установить цифровой регулятор режимов работы двигателя.

Тяга двигателя при этом возрастает на 800 кгс при 12 500 кгс базового АЛ-31Ф. Двигатель первого этапа модернизации успешно прошел стендовые и летные испытания. Ведется подготовка производства для внедрения его в серию.

На втором этапе модернизации в конструкцию АЛ-31Ф вводятся:

- высокотемпературные модернизированные турбины высокого и низкого давления с лопатками пространственного профилирования. Разработан литейный вариант рабочей лопатки (РЛ) многоходовой продольно-поперечной схемы охлаждения с перфорацией входной кромки. Охлаждающий воздух

поступает в район входной кромки, где частично выдувается на профиль, а частично через горизонтальные (поперечные) каналы подается в район выходной кромки, где выбрасывается в проточную часть. Конструкция РЛ позволяет получить равномерно нагретое перо лопатки с минимальными температурными напряжениями. Температура газов  $T_3$  увеличивается еще на  $75^\circ\text{C}$ ;

- перспективная камера сгорания

(КС) с двухстеночной жаровой трубой, что способствует повышению полноты сгорания топлива, обеспечению надежного запуска КС без применения кислорода, уменьшению окружной неравномерности поля температур на выходе из КС, а также увеличению ресурса КС при существенном уменьшении расхода охлаждающего воздуха;

- электронно-цифровая САУ с полной ответственностью и гидромеханическим резервированием.

Тяга двигателя увеличивается до 14 100 кгс.

На третьем этапе модернизации в конструкцию АЛ-31Ф вводится новый трехступенчатый КНД с широкохордными лопатками пространственного профилирования и повышенной степени сжатия ( $\pi_k = 4,2$ ), что позволяет увеличить тягу до 14 600 кгс.

На любом этапе модернизации на двигатель может быть установлено всеракурсное поворотное сопло, проходящее в настоящее время длительные испытания. Как ожидается, после завершения третьего этапа модернизации АЛ-31Ф будет обладать характеристиками поколения 4+. Опробованные в процессе модернизации новые конструкторские и технологические решения могут оказаться чрезвычайно полезными при разработке двигателей нового поколения, которые должны обладать по сравнению с четвертым поколением следующими основными отличиями:

- более высокими значениями удельных параметров (удельной тягой и удельной массой);
- уменьшенным числом ступеней компрессора;
- увеличенным ресурсом и надежностью;

- увеличенным отношением величины бесфорсажной тяги к форсажной (до  $\sim 0,4$ ) для обеспечения сверхзвукового крейсерского полета;

- сокращенным временем на диагностирование и техническое обслуживание;

- уменьшенными сроками и затратами на проектирование, доводку и изготовление.

Для того, чтобы новые двигатели удовлетворяли указанным требовани-



Сборка очередного АЛ-31ФН

ям, необходимо увеличить степень повышения давления в компрессорах до  $\pi_k = 26...30$  и температуру газа на входе в турбину до 2000...2100К, создать новые материалы, выдерживающие более высокую температуру и нагрузки и в то же время имеющие более низкую удельную массу. Возможно применение супержаропрочных сплавов третьего поколения (композиты, интерметаллиды, керамика).

Важным направлением является использование новых концепций в конструкторской проработке как отдельных элементов, так и двигателя в целом, что позволит существенно снизить массу ГТД без потери прочности. Кроме того, ожидается заметное уменьшение габаритов двигателя в связи с сокращением количества крепежных элементов, использованием блиск-технологий, применением щеточных уплотнений и т.д.

При создании ГТД нового поколения исключительное по важности значение имеют объем опережающего научно-технологического задела (НТЗ) и степень освоения критических технологий.

Проектирование и выполнение всех видов расчетов невозможно без современных средств вычислительной техники и оборудования, включающих высокопроизводительные графические станции, мультипроцессорные кластерные системы, компьютерные сети, инженерные периферийные устройства, а также системы автоматизированного проектирования (Unigraphics, AutoCAD) и комплексные системы программ.

Совершенствование термогазодинамического проектирования необходимо для повышения эффективности каждого компонента двигателя (компрессора, турбины, камеры сгорания, сопла и т.д.). Только точное определение и контроль тепловых потоков внутри двигателя, совершенствование проточной части двигателя, смесителя, форсажной камеры позволят снизить потери и существенно уменьшить габариты соответствующих узлов и агрегатов.

На этапе проектирования двигателя нового поколения предусматривается увеличение нагруженности лопаток в связи с уменьшением количества ступеней компрессоров, повышение температуры в основной камере сгорания, уменьшение ее размеров, гидравлических и тепловых потерь, снижение образования вредных веществ, повышение стойкости лопаток турбины к температурным и механическим нагрузкам, увеличение эффективности турбины.

Еще раз отмечу, что в существующих экономических условиях возможность создания научно-технического задела и накопления критических технологий, необходимых для разработки ГТД нового поколения, тесно связана с проведением поэтапной модернизации серийно выпускаемого двигателя АЛ-31Ф.

#### **Подходы к развитию основных технологий производства двигателя нового поколения**

При организации производства двигателя нового поколения должен быть освоен ряд технологических процессов, без которых создание и серийное изготовление такого двигателя (с обеспечением стабильного качества) невозможны. В настоящее время часть этих технологий осваивается специалистами ФГУП "ММПП "Салют", для разработки других требуется государственное финансирование с привлечением смежных предприятий-разработчиков.

Создание двигателя нового поколения требует применения качественно новых подходов к характеристикам используемого технологического оборудования. Важнейшей особенностью техпроцесса наряду с повышенными требованиями к качеству и точности заготовок, производительности, экономичности, экологической безопасности является возможность его интегрирования в систему автоматизированного производства. Такой подход на "ММПП "Салют" реализуется на всех этапах технологического процесса изготовления двигателей, в том числе на этапе подготовки производства.

Большое значение на предприятии придается заготовительному производству, в том числе получению высокока-

чественных заготовок дисков турбины и компрессора различными методами. На основе анализа существующих методов формообразования и свойств получаемых заготовок для внедрения был выбран метод изотермической раскатки дисков на стане АЛРД-800 в режиме сверхпластичности. Исходной заготовкой является шайба с нанесенным покрытием типа ЭВТ35 с подготовленной ультрамелкозернистой структурой. Изотермическая раскатка обеспечивает получение дисков, наружный диаметр которых в 1,5...2 раза превышает диаметр заготовки. Использование эффекта сверхпластичности, а также благоприятная схема напряженно-деформированного состояния в очаге деформации способствуют увеличению технологической пластичности и повышению качества изделий. Это особенно важно при деформировании сплавов с ограниченным ресурсом пластичности и узким температурным интервалом горячей обработки. Хорошие экономические показатели указанного техпроцесса определяются возможностью управления поперечными размерами изделия в широком диапазоне их соотношений и получения профиля, максимально приближенного по форме и размерам к окончательному профилю детали с минимальными отходами.

Комплекс научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, проведенный для модернизации линии, технологической подготовки и совершенствования процесса изотермической раскатки заготовок дисков, позволяет рассматривать этот процесс как часть интегрированной автоматизированной системы производства дисков на предприятии. Для улучшения качества отливок из титановых и никелевых жаропрочных сплавов широкое применение должна найти операция горячего изостатического прессования.

При создании современных двигателей наблюдается быстрый рост уровня требований к лопаткам вентилятора и компрессора, что ведет к необходимости поиска новых технологий обработки лопаток. Для обработки лопаток трехмерного профилирования, имеющих сложную пространственную конфигурацию и низкую жесткость конструкции при высоких требованиях, которые предъявляются к геометрической точности изготовления, существуют несколько видов обработки лопаток, освоенных или внедряющихся на нашем предприятии, в том числе механический и электрохимический методы формирования профиля пера.

**Механический метод.** Фрезерование пера лопаток из титановых сплавов осуществляется на трехкоординатном станке Cincinnati Arrow, имеющем точность позиционирования 3 мкм и частоту вращения шпинделя до 12 500 об/мин, что позволяет обрабатывать перо лопаток с припуском 0,05 мм и шероховатостью  $Ra = 0,8$  мкм. Для обработки лопаток с бандажными полками будут применяться пятикоординатные фрезерные станки Liechti Turbomil 1200, на которых за один установ можно обрабатывать все трактовые поверхности пера лопаток. Последующая обработка пера лопаток будет производиться на виброабразивной установке фирмы Rosier. Опыты по виброабразивной обработке с различными наполнителями показали возможность получения поверхности пера лопаток с шероховатостью до  $Ra = 0,05$  мкм.

Что касается обработки замковых элементов лопаток, то основной технологический процесс является использование интегральной технологии абразивной обработки на основе метода глубинного шлифования. Центральной идеей интегральной технологии является соединение в едином процессе этапа формообразования сложнопровильных поверхностей с этапом формирования высококачественного поверхностного слоя детали. Внедрение интегральной технологии позволяет повысить производительность обработки более чем в 10 раз.

**Электрохимический метод.** Проведенные в последние годы исследования свидетельствуют о принципиальной возможности достижения высокой точности при электрохимической обработке и получения высокого качества поверхности практически без измененного слоя (0,5...2,0 мкм). Для реализации этих процессов требуется



Обработка лопатки компрессора на участке станков "Цинцинатти"

оборудование нового поколения, отличающееся повышенной точностью, специальные импульсные источники питания, новые технологические схемы обработки и др. Такой станок удалось создать совместно с КМПО. Конструктивная особенность станка - высокая точность подачи электродов (0,005 мм).

В настоящее время на ММПП "Салют" отрабатывается технология обработки межлопаточных каналов моноколес и крыльчаток электроэрозионными и электрохимическими методами. Электроэрозионная обработка (ЭЭО) все шире внедряется в цехах основного производства. Это обусловлено несколькими причинами:

- по своим физико-механическим свойствам современные конструкционные жаропрочные материалы приближаются к инструментальным, а стойкость режущего инструмента, применяемого для обработки деталей, недостаточна;
- появились элементы конструкции двигателя, которые невозможно изготовить другими методами;
- в конструкции ГТД находят все возрастающее применение охлаждаемые перфорированные детали;
- резко улучшились технические характеристики ЭЭО, обеспечивающие высокую точность изготовления и высокое качество поверхности обрабатываемых деталей;
- электроэрозионные станки с программным управлением не требуют присутствия оператора и отличаются высокой производительностью.

На "Салюте" закончен первый этап разработки технологии, предусматривающей изготовление пазов в дисках ГТД методом ЭЭО. В настоящее время проводится второй этап работ с целью отработки технологических режимов, обеспечивающих окончательную обработку пазов в дисках турбины и компрессора электроэрозионной резкой.

Методом струйной электроэрозионной обработки осуществляется перфорация лопаток и сопловых блоков турбин. Выполненный комплекс исследований и экспериментальных работ позволил определить технологические схемы, электрические и гидродинамические параметры высокопроизводительного процесса струйной электроэрозионной обработки глубоких отверстий диаметром 0,2...2,0 мм.

В последнее время большое внимание уделяется нанесению жаростойких и термобарьерных покрытий электронно-лучевыми и плазменно-вакуумными методами. Ионно-плазменный метод используется для нанесения конденсированных покрытий по вакуумно-плазменной технологии высоких энергий (ВПТВЭ), разработанной ВИАМ. Циркуляционный метод (разработан МГТУ им. Н.Э. Баумана) применяется для формирования диффузионных покрытий с использованием вакуумно-газовой циркуляционной технологии (ВГЦТ). Обе технологии внедрены в серийное производство и нашли применение при изготовлении лопаток турбин серийных изделий АЛ-31Ф, Д-436Т1 и др.

Внедрение новой технологии ВГЦТ для формирования диффузионных алюминиевых покрытий на наружной и внутренней поверхностях охлаждаемых лопаток турбины (как альтернатива порошковой технологии) способствовало широчайшему ее распространению при производстве других деталей ГТД вне зависимости от сложности геометрического профиля детали. Покрытия наносятся на внутренние поверхности тонких протяженных каналов (диаметром менее 0,5 мм), глухих отверстий, а также на поверхности изделий больших размеров (несколько квадратных метров). Технология ВГЦТ - единственный на сегодня способ формирования защитных покрытий на внутренних поверхностях различных деталей и узлов.

Особая структура и фазовый состав такого алюминиевого покрытия, во-первых, создают мощный барьер, препятствующий диффузии агрессивных компонентов внешней среды (кислорода, серы,



Трехкамерная печь с ЧПУ для ионного упрочнения поверхности

ванадия и др.) в слой покрытия. Во-вторых, этот барьер эффективно ограничивает диффузию легирующих элементов основного материала к поверхности детали, что, в конечном итоге, тормозит процесс высокотемпературного окисления.

Техническая эффективность процесса ВГЦТ дополняется и высокими экономическими показателями:

- сокращением длительности цикла в 6 раз,
- сокращением трудоёмкости в 7 раз;
- сокращением расхода исходных

материалов в 50...100 раз;

- сокращением расхода электроэнергии в 17 раз;
- практически полным прекращением вредных выбросов в окружающую среду.

Широкое применение при производстве деталей двигателя нового поколения находит ионная химико-термическая обработка зубчатых колёс и других деталей. На предприятии организованы производственные участки ионного азотирования деталей и инструмента, оснащённые установками собственной конструкции ("Ион 30", "Салют 60"), на которых производится обработка деталей серийных изделий с высоким технико-экономическим эффектом.

В стадии запуска в серийное производство находится участок химико-термической обработки, полностью укомплектованные установками фирмы IPSEN.

Процесс ионной цементации в 3...5 раз интенсифицирует диффузионное насыщение, повышает долговечность упрочняемых деталей, увеличивает вдвое износостойкость и контактную выносливость, обеспечивая при этом снижение расхода электрической энергии и технологических газов на 50...90 %.

В лабораториях и цехах завода "Салют" продолжают работы, связанные с освоением многих критических технологий. Вот только краткий их перечень:

- изготовление блисков из титановых сплавов с формообразованием комбинированных заготовок (штампованная лопатка + гранульный диск);
- внедрение углепластиковой и полый лопатки первой ступени вентилятора;
- получение заготовок из интерметаллидных материалов на основе титана-алюминия для дисков и лопаток КВД;
- получение тонкостенных оболочковых деталей типа камер сгорания из никелевых и титановых сплавов без сварных швов ротационными методами;
- изготовление лопаток турбины с транспирационным охлаждением;
- литье с направленной кристаллизацией в сопловых блоках ТВД и сегментах перспективной КС из интерметаллидов на основе Ni<sub>3</sub>Al;
- изготовление монокристалльных лопаток (ламиллоидная конструкция) из сплавов типа ЖС36 и типа ЖС-55;
- разработка и внедрение конструкции блиска ТВД из разнородных материалов;
- освоение технологии и оборудования для сварки трением деталей типа валов, барабанов из титановых и жаропрочных сплавов;
- разработка технологии производства деталей двигателя и инструмента из материалов, полученных методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза.

В заключение следует отметить, что внедрение технологий, вписывающихся в автоматизированную систему технологической подготовки производства, позволит сократить сроки изготовления материальной части и гибко реагировать на изменения, вводимые в конструкцию перспективных двигателей.

Конечно, совершить технологическую революцию на одном отдельно взятом предприятии невозможно. Необходима кооперация, причем не навязанная сверху, а добровольная, нацеленная на координацию усилий для успешного решения главной задачи - создания двигателя нового поколения.



**3-9 ноября 2003 г.** в 24-ом корпусе Московского авиационного института (Государственного технического университета) состоится 2-я Международная выставка и конференция "Авиация и Космонавтика - 2003", посвященная 100-летию авиации и 35-летию Аэрокосмического факультета МАИ.

Организаторы выставки: Московский авиационный институт (Государственный технический университет) и ООО "ПромЭкспо ИТ" при поддержке и содействии Российской Федерации Авиационно-Космического агентства.

В апреле 2001 г. Московский авиационный институт совместно с Российским авиационно-космическим агентством, Министерством иностранных дел РФ, Российской академией космонавтики им. К.Э. Циолковского, Министерством обороны РФ, Министерством промышленности, науки и технологий РФ, Министерством об-



разования РФ, Российской академией наук, Федерацией космонавтики России, Международной астронавтической федерацией и Международной академией астронавтики успешно провел Международную конференцию "Космос без оружия - arena мирного сотрудничества в XXI веке". Конференция проводилась по инициативе Президента Российской Федерации В.В. Путина. В конференции приняли участие более 1300 представителей из 105 стран мира. В конце августа 2000 г. ООО "ПромЭкспо" проводилась выставка "Аэрокосмос". Теперь МАИ и "ПромЭкспо" решили объединить свои усилия и провести одновременно два мероприятия.

В Оргкомитете Конференции - виднейшие ученые авиационно-космической отрасли, руководители кафедр и факультетов МАИ.

**По всем вопросам просим обращаться в оргкомитет конференции:**

125993, Москва, А-80, ГСП-3, Волоко-

ламское ш., д. 4, МАИ, ЦОО, Ученому секретарю международной конференции и выставки "Авиация и космонавтика-2003" проф. Константину Анатольевичу Карпу.

Факс: (095)-158-29-77 (с пометкой - руководителю ЦОО К.А. Карпу)

Электронная почта:  
aerocosmos\_2003@mail.ru;  
aerocosmos\_2003@rambler.ru;  
aerocosmos\_2003@yandex.ru

**По поводу участия в выставке обращайтесь в ее оргкомитет:**

107140, Москва, ул. В. Красносельская, д. 2/1, стр. 1, директору ООО "ПромЭкспо ИТ" Виктору Владимировичу Левитину.

Телефон и факс: (095)-771-67-38,  
(095)-775-15-84, (095)-970-18-04.

Электронная почта: pip@vks.ru

С текущей информацией как о конференции, так и о выставке можно ознакомиться в интернете по адресу:

<http://www.aviacosmos.ru>



**С 15 по 20 сентября 2003 г.** в Воронеже проходила II Международная научно-техническая конференция по насосам, турбинам и системам на их основе СИНТ'03. В ней приняли участие представители 37 организаций из 9 стран мира - России, Украины, Молдавии, Казахстана, Узбекистана, Монголии, Германии, Финляндии, Швейцарии. На трёх секциях было заслушано около 70 докладов. Тематика докладов посвящалась как собственно созданию энергетических и насосных установок промышленного назначения и их элементов, так и принципам их использования в системах различного назначения.

Существенное внимание в докладах было уделено укреплению взаимовыгодного международного сотрудничества в целях совместной разработки новых инновационных проектов, разработки, производства, доводки и эксплуатации оборудования.

В ходе конференции состоялись выездные заседания в КБ химва Автоматики и Воронежском механическом заводе - ведущих предприятиях российского ракетного двигателестроения. В пору своего расцвета ВМЗ (отмечающий 75-летие) ежегодно выпускал до 900 ЖРД. Обладая высоким научно-тех-

ческим потенциалом и совершенной производственной базой, ВМЗ при содействии РАО "Газпром" в сжатые сроки освоил проектирование и изготовление импортозамещающего оборудования для добычи, переработки, транспортировки и хранения нефти и газа. Конверсионная продукция составляет сейчас до 45 % всего объема производства этого предприятия.

Организатором конференции стал ФГУП РФ "Турбонасос". Становлению "Турбонасоса" из дочернего предприятия КБХА в самостоятельную организацию способствовало понимание путей конвертирования собственных достижений в общую промышленность. Вот что сказал по этому поводу Генеральный директор ФГУП РФ "Турбонасос" доктор техн. наук, профессор С.Г. Валюхов:

*"Оптимальный перенос методологии проектирования, доводки, производства и эксплуатации сложнейших изделий - таков единственный путь создания конкурентоспособной продукции. Высокое качество при низкой стоимости - наш девиз. Ныне мы достигли ожидаемого результата: во многих областях нефтегазовой и рудодобывающей промышленности наша продукция вытесни-*



Технический директор ВМЗ А.В. Бондарь и генеральный директор ФГУП РФ "Турбонасос" С.Г. Валюхов

ла западную. При этом особенно отмечу в качестве положительного фактора восприимчивость молодёжи к новаторской деятельности нашего предприятия, что привело к уменьшению среднего возраста работников до 35 лет. Это вселяет надежду в то, что у нас есть будущее... Ибо большие дела рождают большие ожидания".

Успешные результаты прошедшей конференции дают основание считать, что в планируемом на 2005 год СИНТ'05 примет участие гораздо большее число специалистов и заинтересованных организаций и будет зафиксировано подтверждение восстановления и укрепления научно-технического потенциала России.



**Редакция журнала "Двигатель"** сердечно поздравляет одного из своих старейших авторов, первого заместителя генерального директора по НИОКР и ОКР, генерального конструктора ОАО "НПО "Сатурн", доктора технических наук, профессора, действительного члена многих отечественных и зарубежных академий, заместителя самого последнего министра авиационной промышленности СССР по вопросам двигателестроения **Виктора Михайловича Чепкина с 70-летием.**

Вехами на долгом творческом пути Виктора Михайловича отмечены многие блистательные достижения отечественной авиации, в каждой из которых ярко проявились его знания и талант. В лю-

бой из машин обширного семейства самого многогранного отечественного двигателя Д-30 работает и частичка труда, вложенного В.М. Чепкиным. Завершением конструкторских работ и доводкой до серийного производства АЛ-31Ф, самого знаменитого двигателя современных истребителей, мы также обязаны ему как руководителю всех работ на этом предприятии. И еще многое, многое другое.

Мы от души желаем Виктору Михайловичу крепкого здоровья, счастья в общении с близкими, друзьями и коллегами, воплощения самых дерзновенных творческих планов. И, конечно, - многих интересных и нужных статей в журнале "Двигатель".



# ФИГУРА НИЗШЕГО ПИЛОТАЖА

"Олух, Санчо, не тот, кто не может сделать,  
а тот, кто не может понять, что он сделал".

Сервантес

Дмитрий Соколовский

Авиационная общественность недавно отметила юбилей основателя Санкт-Петербургского предприятия, которое проектирует и строит авиационные моторы: ФГУП "Завод имени В.Я. Климova". Преемниками Климova были талантливейшие конструкторы авиационных двигателей С.П. Изотов и В.Г. Степанов, память которых весьма уважается на предприятии. Созданные ими коллективы успешно функционируют и поныне. Немалая заслуга в этом нынешнего генерального конструктора Александра Александровича Саркисова – доктора технических наук, профессора, заслуженного деятеля науки РФ, лауреата Ленинской премии. В нашем журнале неоднократно помещались статьи об этом предприятии. И это вполне понятно: "Двигатель" создан был именно для того, чтобы отразить в нем все лучшее, что есть в отечественном двигателестроении и смежных с ним отраслях: машиностроении, материаловедении, топливной промышленности, организации производства, обслуживания и эксплуатации техники. Во всех этих смыслах питерские мотористы всегда могли служить ярким образцом правильной организации дела. До самого недавнего времени. Никогда мы не предполагали даже, что эту тему, да еще в применении к данному предприятию вообще когда-либо будем затрагивать в нашем журнале.



Когда мы видим в новостных передачах, как с помощью "дыр" в законодательстве разваливают, банкротят и захватывают вполне успешные ГОКи или алюминиевые комбинаты, то чаще всего эти беды воспринимаются сообщениями чуть не с другой планеты. Если, конечно, нас самих это не захватывает или не случается на наших глазах. А потому – очень не хотелось верить смутным сообщениям из Питера, пришедшим в самый канун МАКСа-2003. Выглядело совершенно неправдоподобно: авиадвигательный завод в центре Санкт-Петербурга оказался почему-то захвачен прибывшими из Белокаменной представителями именитой "головной" компании "РСК МиГ", а кабинет находившегося в командировке Александра Александровича Саркисова был элементарно взломан. При этом в качестве обоснования действий предьявлялся мандат главы ФГУП РСК "МиГ" Н.Ф. Никитина. В отсутствие генерального конструктора вытаскивалось из шкафов и столов, "приходилось" и вывозилось в Белокаменную все, что попадалось под руку: информация по заказам разной степени секретности, зарубежные контракты, деловая переписка, финансовые документы. Несмотря на то, что все происшедшее больше напоминало налет и не раз наблюдалось нами по телевизору в передачах из какого-нибудь "медвежьего угла", на самом деле происходила санкционированная руководством... передача дел. Бред какой-то! Московскую команду возглавляли лично Н.Ф. Никитин и его заместитель А.С. Новиков, который в результате произошедших пертурбаций был назначен генеральным конструктором – руководителем Санкт-Петербургского ФГУП "Завод имени В.Я. Климova". Как ни странно, но Новиков – сам генеральный директор авиадвигательного завода. И не просто завода, а крупнейшего московского ОАО "Завод имени Чернышева", у которого ФГУП "Завод имени В.Я. Климova" является головным разработчиком основной продукции – двигателей РД-33 для самолетов МиГ-29.

В конечном смысле, мы всегда сами виноваты во всех своих бедах. Но, как говорится, "знал бы где упасть...". Авиационное моторостроение во всей нашей промышленности – это, пожалуй, единственная отрасль, где сумели сохранить инфраструктуру управления и межпроизводственные связи. И когда в 1991 г. могучий советский миновиапром решили у государства "...отнять и поделить" (между собой), только авиадвигательный его главк ухит-

рился, "с сохранением полковых знамен" в полном составе преобразоваться в государственную Ассоциацию. С тех пор ее все знают как АССАД. Именно через нее идет увязка интересов и претензий предприятий друг к другу, смежникам и государственным организациями. Стаей прожить всегда легче, чем в одиночку. Особенно, когда вокруг навязываются законы тайги. И все чувствуют себя защищенными и могут нормально работать. Поэтому, когда в 1996 г., во время лихих реорганизаций, изобрели ВПК МАПО (ныне – РСК "МиГ") – "тянитолкая", состоящего из мощной самолетостроительной фирмы как передней головы, и моторостроительного ОКБ – завода имени Климova как задней (дочерней), никто это особенно всерьез не воспринял. Цели, конечно, были самые благие: облегчить экспортное продвижение МиГ-29 во всех модификациях. Хотя, нигде в мире такого нет, чтобы крупнейший разработчик и производитель вертолетных двигателей, к тому же единственный в России (до 95 процентов отечественных вертолетов оснащены моторами конструкции и производства завода имени Климova), входил бы в состав самолетостроительного концерна. Ведь "МиГ" покупает лишь десятую часть продукции климовцев, те самые РД-33 различных модификаций, которыми оснащен лучший в мире фронтовой истребитель МиГ-29. Остальное – сплошь турбовальные двигатели: вертолетные, турбовинтовые, танковые и приводы для ГТУ. Однако нововведения ничего особенно не меняли, в дела никто не лез (если, конечно, не считать, что с самого начала работы в корпорации МиГовцы "прихватили" выделенные правительством питерскому заводу миллионы долларов на ресурсные работы по малазийскому контракту и не возвращают их семь лет, ну да кто в России считается с такими мелочами), работать не мешал, связи не рвались. Поэтому в Питере отнеслись к перемене своего статуса достаточно безразлично: не до того было...

В то время "МиГ" наряду с "Сухим" считался одним из двух наших перспективнейших авиаконцернов. Сбыт был налажен, экспортные поставки – широчайшие, в перспективе – истребитель нового поколения. Увы, за 10 лет изменилось многое... Сейчас мощное некогда предприятие, выпускавшее МиГи, в очень тяжелом состоянии: нет заказов. Завязло дело и с поставками МиГ-АТ, экспортная программа в состоянии полной неразберихи. Существенная часть собственной территории предприятия сдана в аренду различным фирмам.



...На климовском заводе, руководимом Александром Саркисовым, решили не принимать участие в первой волне "дикого акционирования" начала 90-х. Завод остался государственным предприятием. В отсутствие госзаказа и государственной поддержки перспектив развития на тогдашнем "ЛНПО имени Климова" пришлось зарабатывать самим, используя собственные перспективные разработки. Нашлись даже и новые, немислимые ранее экспортные возможности. Так, по заказу ЮАР питерские умельцы оснастили французские истребители "Мираж" своими более мощными двигателями, а для Республики Корея разработали мобильную электростанцию. Расширилась старая, еще советская кооперация с запорожским моторным гигантом "Мотор Сич". Эта связка сегодня поддерживает в воздухе все вертолетостроение России.

Трудно поверить, но с 1998 г. в 15(!) раз возросли объемы товарной продукции (до 1,3 миллиарда рублей). Во столько же раз возросла и прибыль. Выработка на одного работника увеличилась вдесятеро, соответственно и средняя зарплата повысилась с 923 до 11 000 рублей. Численность коллектива завода выросла в 1,4 раза, при этом омолодился состав сотрудников, полсотни из 3000 работающих - доктора и кандидаты наук. За пять лет завод создал и сертифицировал семь новых и модернизированных авиационных двигателей, три энергетических комплекса для газонасосных агрегатов и электростанций. В разработке находятся шесть двигателей различного назначения со сроком сертификации 2004-2006 гг. Климовский ГТД стоит и на "летающем" танке Т-80У. Авиационная техника ОКБ эксплуатируется в 80 странах мира. По заказам Китая и Индии предприятие разработало ряд двигателей для новых самолетов. И в довершении всего ОКБ "Климова" включено соисполнителем работ в программу создания двигателя для самолета-истребителя пятого поколения (головное ОКБ "Сухой", основные конкуренты "МиГа").

Ну как можно простить дочернему предприятию все это?

При отсутствии нормальной перспективной программы на "МиГе" вспомнили, что они голова концерна, некоторые дочерние предприятия которого (вроде климовцев) нахально имеют свою собственную конъюнктуру, самостоятельность и, как это ни неприятно, доход. Которым "дочкин папа" А.А. Саркисов наотрез отказывается делиться в требуемых от него пропорциях с руководством концерна. А это, по понятиям, неверно. Ну, а коли так, то почему бы и не приватизировать этот дочерний ГУП, что на новоязе называется "реструктуризацией"? На пресс-конференции, прошедшей в предпоследний день МАКСа, глава "МиГ"овского РСК Н.Ф. Никитин объяснил ситуацию вполне современно: *"Мы укрепляем властную вертикаль в своей корпорации"*. Ну да, ну да: "Куда конь с копытом, туда и...". Хорошо хоть не вспомнил из той же новой лексики пожелание кого-то где-то мочить.

Сам план освоения активов климовцев незамысловат. Из принятого в ноябре прошлого года Госдумой Закона о ГУПах следует, что головное предприятие получает власть помыкать дочерними и даже покушаться на их имущество, которое вовсе не вместе наживали, в том числе - менять форму собственности у подчинен-

ных. В соответствии с такими возможностями должно было образоваться ОАО "Завод имени В.Я. Климова", для которого предлагались четыре кандидата в учредители. Это, прежде всего, ФГУП "РСК МиГ", претендующий на 40 процентов акций, а 25 процентами собственности своего разработчика будет владеть ОАО "ММП имени Чернышева" (что проясняет участие во всей этой катавасии генерального директора последнего А.С. Новикова, кстати, заодно являющегося и заместителем генерального директора "РСК МиГ"). Ну и, как водится, 20 процентов обломилось загадочному, но непонятно могучему банку "СВА", образованному, помнится, где-то в 1994 г. при участии ЛОМО и еще ряда фирм. Да, еще 15 процентов причитается какому-то невесте откуда вынырнувшему ЗАО при все том же "МиГе". Если вы внимательно читали, то поняли: самому-то заводу имени Климова - ничего. Саркисов отказался участвовать в деятельности такого ЗАО, продолжая считать все это в целом аферой, а свой завод - госпредприятием. А коли руководитель предприятия мешает переменам, его следует дезактивировать. Ну, хотя бы, безапелляционным приказом об увольнении. Быстро и красиво.

Это уже не первая попытка "МиГовцев" побороть питерский авиамоторный завод. В первый заход глава Росавиакосмоса Ю.Н. Коптев строго осадил Никитина. Отступив на время, но заручившись негласной поддержкой в высоких сферах и учтя отпускной период, московские "преобразователи" вновь пошли на приступ. Что мы и наблюдали (издали).

Президент МАК, командующий ВВС, представители Министерства обороны и начальник Генштаба обратились в правительство с письмами о том, что завод имени Климова надо сохранить как самостоятельное госпредприятие, сосредоточив его инновационный конструкторский потенциал на развитии отечественного вертолетостроения. Иначе будет нанесен невосполнимый урон вертолетостроению, прежде всего военному. Небывалое дело: одно госпредприятие "долбит" другое госпредприятие, при этом - оба оборонные! Премьер-министр страны посылает в Росавиакосмос директиву *"срочно принять меры по предотвращению"*, Генеральный директор Агентства посылает на ФГУП "РСК МИГ" предложение *"отменить указанный приказ"*, а на МИГе почему-то просто всех посылают...

А на заводе, естественно - полный раздраз и сумятица. Сорван целый ряд перспективных работ. Да еще документы, изъятые в Питере ретивыми администраторами, служат сырьем для безграмотно кем-то начерканных анонимок, вдруг поползших по России.

Да помним мы, помним, как нас убеждали, что во всем мире частные предприятия работают успешнее казенных. А потом оказалось, что этот "весь мир" - две-три не самые развитые страны, и касалось высказанное только тех отраслей, где наиболее высок уровень конкурентности и динамика изменения номенклатуры рынка. И все равно - выбранный нашими "преобразователями" курс не меняется, несмотря ни на что. С упорством, честное слово, достойным лучшего применения. Или все еще продолжают отработать "спецзаказ" по более плотной привязке нашей авиационной промышленности к мировым производителям авиатехники? А мы всей страной лишаемся очередного отечественного приоритета и опять остаемся с носом!

**П**

**На МАКС-2003 было подписано почти полусотней ведущих специалистов России в области двигателестроения, создания летательных аппаратов и военной техники открытое письмо членам коллегии Российского авиационно-космического агентства. В письме выражается глубокая озабоченность событиями, происходящими в Санкт-Петербурге вокруг ФГУП "Завод имени В.Я. Климова". Наиболее компетентные специалисты в затрагиваемой области заявили, что любые сбои в налаженном производстве ОКБ им. Климова ставят под удар выполнение более десятка важнейших государственных оборонных, промышленных и экспортных программ. Это способно нанести урон, выражающийся в непомерных суммах рублей, долларов, евро, и пробить гигантские бреши в обороноспособности России...**

**И все это ради блага нескольких аферистов, вознамерившихся "сприватизировать еще один заводик". Они уже завалили одно благополучное предприятие и нацелились на другое. Право, мы уже не настолько богаты, чтобы терпеть подобные цирковые эскапады и дальше...**

**От редакции:** Статья была написана в августе этого года, по горячим следам событий. За прошедшие два месяца много чего успело произойти и, похоже, затеплилась надежда, что разум и государственная предприимчивость, в конце концов, возобладают в этой бестолковой (мягко говоря) истории.

# ТОРЖЕСТВО СОЗИДАТЕЛЕЙ

**Предраг Миличевич**, ветеран предприятия, ветеран Великой Отечественной войны

В последние полтора десятилетия российские СМИ лишь изредка вспоминают о величии России, и то, как правило, имеют в виду ее просторы, леса, огромные размеры, несметные богатства, не говоря уже о щедрых глубинных недрах, которые своим черным и голубым золотом обеспечивают и соответствующий уровень жизни Евросоюза, и поток нефтедолларов, и сегодняшний, какой ни есть, уровень жизни России. Все эти богатства, конечно, являются неотделимой частью России и с финансовой точки зрения, по всей вероятности, являются решающими характеристиками величия России. Однако есть в России и другое определение её величия, которое часто можно услышать и в среде трезвомыслящей интеллигенции, и в простонародье. Сводится оно к тому, что Россия велика прежде всего своими людьми, невероятными, двужильными, талантливыми тружениками-созидателями, одаренными природой большой смекалкой и добротой, тяготеющими к коллективной, соборной работе, которая приумножает богатства и красоту русской земли.

По всей вероятности, указанная выше народная мудрость не вызывает сомнений, и поэтому в статье хотелось бы остановиться более подробно на одном, без преувеличения, изумительном коллективе - опытно-конструкторском бюро (в настоящее время НПП "ЭГА"), на его творческой деятельности в области авиационно-ракетных комплексов, а также на двух его руководителях - Федоре Амосовиче Короткове, основателе предприятия, и продолжателе его дела Викторе Ивановиче Зазулове. Тем более, что в ноябре этого года Виктор Иванович отмечает свое семидесятилетие.

Естественно, что сегодня, после пятнадцатилетнего периода, полного всевозможных зигзагов, перепадов и катастрофических спадов в российской оборонной промышленности, молодому поколению инженеров и конструкторов, вероятно, полезно будет побольше узнать о своих талантливых предшественниках, их удивительных достижениях, и об их замечательных руководителях. К слову сказать, за всю более чем шестидесятилетнюю историю предприятие возглавляли только два руководителя, что само по себе является редким явлением.

Учитывая все это, представляет интерес хотя бы краткое описание жизненного пути этих выдающихся руководителей, а также освещение этапов становления и огромных достижений руководимого ими предприятия.

Родился Федор Амосович Коротков 24 июля 1908 г. в семье рабочего в Москве. В 1921 г. он поступил на тракторное отделение Московского индустриального техникума и, получив специальность техника по двигателям внутреннего сгорания, с 1926 г. работал рабочим, а затем мастером. Высшее образование он получил в Военной академии механизации и моторизации РККА, которую закончил в 1934 г., после чего был командирован в опытно-конструкторский отдел московского завода № 33.

Необходимо отметить, что в начале тридцатых годов завод № 33 был перенацелен на серийное изготовление карбюраторов по лицензии французской фирмы "Зенит". Однако молодая

республика рабочих и крестьян, переходя к ускоренной индустриализации, стремилась к созданию независимой собственной авиационной промышленности. Твердо проводилась линия на становление отечественного воздушного флота, а значит и собственных самолетов, моторов, карбюраторов.

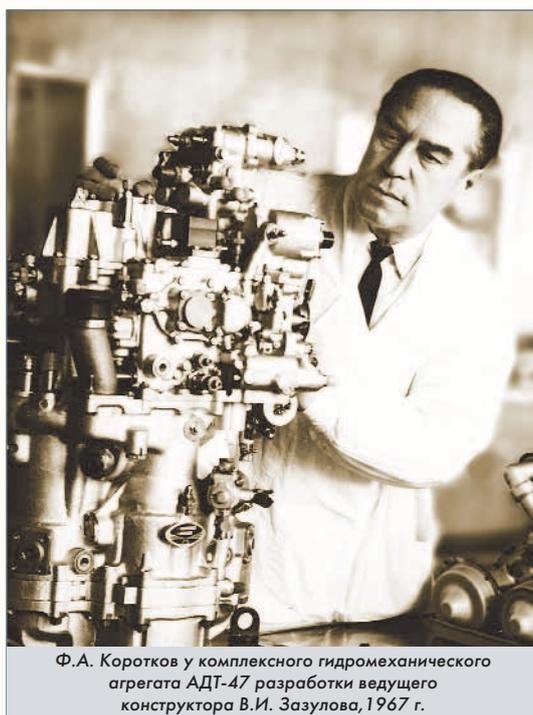
Военный инженер Ф.А. Коротков стал руководителем опытно-конструкторской группы, заместителем главного конструктора, начальником опытно-конструкторского отдела завода. Создание нового карбюратора К-34, предназначенного для одного из первых отечественных авиационных моторов М-34 главного конструктора А.А. Микулина, легло на плечи молодого конструкторского коллектива. Ф.А. Коротков активно участвовал в решении поставленной задачи, как и в ряде других работ по выпуску серийных карбюраторов, которые не только обеспечивали потребности отечественной авиации того времени, но и ликвидировали зависимость страны от их импорта. Всем известен лозунг страны Советов: "Летать дальше всех, выше всех и быстрее всех!" И в решении этой сложнейшей задачи Ф.А. Коротков принимал активное участие, разрабатывая со своими сотрудниками усовершенствованный карбюратор К-34РД, который предназначался для беспосадочных перелетов через Северный полюс самолетов В.П. Чкалова и М.А. Громова, принесших мировую славу авиации нашей страны.

Единственный карбюраторный завод № 33, перегруженный и опытными разработками, и все увеличивающейся программой массового выпуска различных карбюраторов, в конце тридцатых годов часто не справлялся с государственными планами. Поэтому в начале июля 1940 г. было принято решение о разделе завода на два самостоятельных предприятия: опытно-конструкторское бюро во главе с главным конструктором Ф.А. Коротковым и серийный завод во главе с директором А.Г. Солдатовым.

Надвигались суровые годы Великой Отечественной войны. Насущной необходимостью стало ускоренное совершенствование авиационных двигателей, дальнейшее повышение их мощности, экономичности и др. Все это требовало новых конструктивных

решений. ОКБ, руководимое Федором Амосовичем, успешно решало возникающие проблемы. Для двигателей М-71, М-82, М-90 были созданы конструктивно очень сложные (с рядом автоматических устройств) бесплоплавковые карбюраторы, подающие топливо под давлением в распылитель. Успешно проводились работы по насосам непосредственного впрыска топлива. Перед самым началом войны система непосредственного впрыска была внедрена в серию на новых моторах АШ-82ФН, АШ-73, М-250. Опытное-конструкторское бюро Ф.А. Короткова на протяжении всей Великой Отечественной войны осуществляло техническое руководство серийными карбюраторными заводами в Перми и Москве, оказывало активную помощь в налаживании массового и бесперебойного выпуска карбюраторов для нашей авиации.

Удивительный исторический факт - весь парк отечественных самолетов, участвовавших в кровопролитных



Ф.А. Коротков у комплексного гидромеханического агрегата АДТ-47 разработки ведущего конструктора В.И. Зазулова, 1967 г.

схватках Второй мировой войны, в том числе бомбардировщики А.Н. Туполева, штурмовики А.А. Ильюшина, пикировщики В.М. Петлякова, истребители А.С. Яковлева, А.И. Микояна, С.А. Лавочкина с моторами А.Д. Швецова, А.А. Микулина, В.Я. Климова, был оснащен карбюраторами, разработанными коллективом под руководством Ф.А. Короткова.

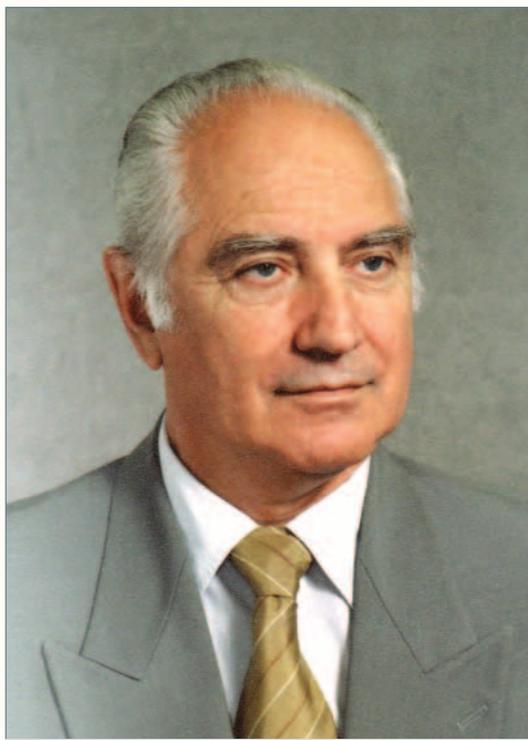
После окончания Великой Отечественной войны страна приступила к восстановлению разрушенного народного хозяйства и его дальнейшему развитию во всех областях, в том числе и в авиации. На смену поршневым моторам пришли воздушно-реактивные двигатели, появились ракетные двигатели. На коллектив ОКБ была возложена совершенно новая задача создания систем автоматического регулирования этих двигателей и разработки систем топливопитания. Предстояла еще более сложная и напряженная работа.

Во второй половине сороковых годов для новейших самолетов того времени МиГ-9, МиГ-15, МиГ-17, Ил-28, оснащенных первыми отечественными турбореактивными двигателями, были разработаны, изготовлены, испытаны и переданы в серийное производство агрегаты системы регулирования и топливопитания. Для освоения принципиально новых конструкций потребовалась перестройка всех звеньев предприятия, разработка и создание комплекса испытательных стендов, реконструкция и расширение производственных цехов и лабораторий.

В пятидесятые годы коллектив под руководством Ф.А. Короткова создавал системы автоматического управления и топливопитания для второго поколения двигателей военной и гражданской авиации, устанавливавшихся на истребителях МиГ-19, МиГ-21, МиГ-25, Су-7, Су-15, Су-25, Як-25, Як-28, бомбардировщиках Ту-16, Ту-22, Ту-95, ЗМ, М-4, пассажирских и транспортных самолетах Ту-104, Ту-114, Ил-18, Ан-10, Ан-12, Ан-24, Ан-26, Ан-32, вертолетах Ми-2 и Ми-8. Агрегаты являлись частями сложных систем регулирования основного и форсажного контуров, управления соплом, входным устройством и системой топливопитания. На двигателе Р15Б-300 самолета МиГ-25 впервые в нашей стране был применен электронный ограничитель максимальных режимов. Вся эта огромная масса агрегатов различных систем была разработана, изготовлена, испытана, проверена стендовыми и летными испытаниями в жестко оговоренные сроки и передана в серийное производство.



В самолетном ангаре

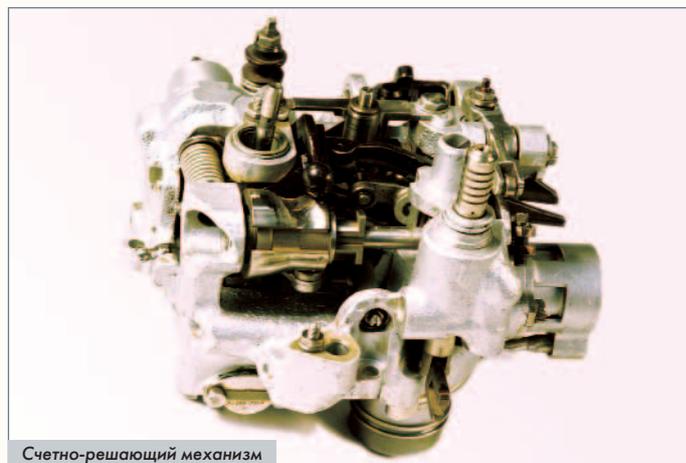


В.И. Зазулов

Для третьего поколения авиадвигателей в шестидесятые годы коллектив ОКБ уверенно взялся за дальнейшее развитие и разработку САУ двухвальных, двухконтурных и специальных одноконтурных ТРД, предназначенных для военных и гражданских самолетов. Для повышения точности поддержания параметров максимальных режимов на некоторых двигателях были применены электронные ограничители. Комбинированные системы топливопитания предусматривали использование плунжерных, центробежных и шестеренных насосов. Созданные гидромеханические системы этого периода выполняли все функции управления двигателем.

Разработанные и внедренные в эксплуатацию САУ наглядно представляют тот огромный объем научных, конструкторских, технологических, производственных, доводочных и испытательных работ, который осуществил коллектив ОКБ для обеспечения авиации того периода всем необходимым.

Для выполнения такого огромного комплекса работ были осуществлены необходимые организационные мероприятия. В соответствии с решением правительства на базе двух ОКБ (Ф.А. Короткова и П.Н. Тарасова) было создано крупное объединение по разработке систем автоматического управления. Федор Амосович Коротков стал главным конструктором и ответственным руководителем предприятия. На основании приказа Минавиапрома от 30



Счетно-решающий механизм

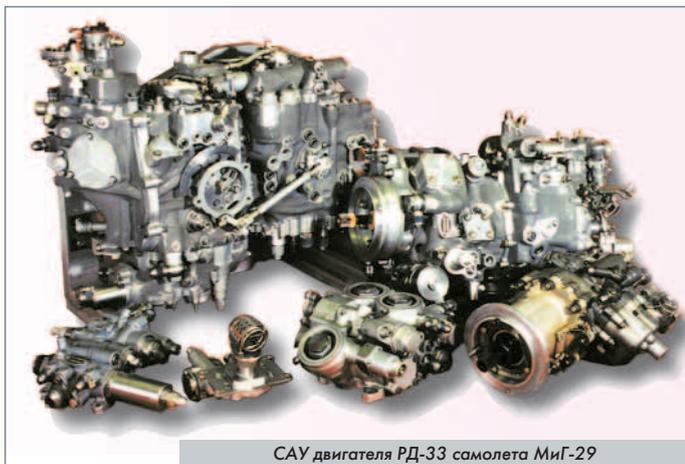
апреля 1966 г. ОКБ было переименовано в Московское агрегатное конструкторское бюро "Темп".

В начале шестидесятых годов произошло одно, на первый взгляд, незначительное событие, которое впоследствии оказало существенное влияние как на плодотворную работу предприятия, так и на его жизнеспособность в трудные времена. Речь идет о том, что в 1961 г. поступил на работу молодой тогда специалист Виктор Иванович Зазулов.

Родился Виктор Иванович 9 ноября 1933 г. на Дальнем Востоке в многодетной семье. Закончив среднюю школу, он осуществил свою юношескую мечту стать мореплавателем и поступил в Дальневосточное высшее мореходное училище. Однако в результате несчастного случая и ухудшения состояния здоровья ему пришлось расстаться с мечтой. В дальнейшем - трудовая деятельность, учеба на вечернем факультете авиадвигателей Московского авиационного института и приход в ОКБ Коротко-

ва. Молодой специалист оказался очень трудолюбивым, настойчивым, шустрым и любознательным сотрудником. Виктор Иванович быстро осваивал трудную азбуку конструирования очень сложных агрегатов управления ТРД. Пока большинство конструкторов для разрядки в обеденный перерыв и после рабочего дня увлекалось шахматными сражениями, Виктор Иванович упорно в тиши отдела восстанавливал в памяти прослушанные в МАИ лекции, изучал сложную теорию автоматического регулирования ГТД по книгам профессоров Стечкина и Черкасова, что, несомненно, оказало влияние на его дальнейшее научно-техническое развитие.

Его конструкторские и организаторские способности, широкий кругозор, огромное трудолюбие, высокая культура и начитанность были довольно быстро замечены руководством, и в конце шестидесятых годов прошлого века Виктор Иванович стал ведущим, а затем ответственным ведущим конструктором по системам управления двигателями РД-36-51А для сверхзвукового пассажирского лайнера Ту-144 и РД-36-41 для стратегического бомбардировщика Т-4. Ф.А. Коротков внимательно присматривался к молодому ведущему конструктору. Ему нравилась его высокая организованность, эрудиция, четкость выражения мысли, и в 1973 г. Виктор Иванович Зазулов был назначен заместителем главного конструктора. Можно с уверенностью сказать, что 1960-1970 годы, когда Виктор Иванович рос и становился солидным специалистом, были годами расцвета авиастроения Советской России, а следовательно и систем автоматического управления ТРД.



САУ двигателя РД-33 самолета МиГ-29

Переходя к периоду 1970-1984 годов, с неменьшей уверенностью можно утверждать, что это была вершина достижений гидромеханических систем автоматического управления с электронными блоками ограничения предельных параметров двигателя. В указанный период были созданы двигатели четвертого поколения, которые требовали дальнейшего повышения точности поддержания регулируемых параметров при одновременном расширении объема информации, что потребовало создания комплексных электронно-гидромеханических систем управления. Виктор Иванович Зазулов руководил разработками новых систем для самолетов МиГ-29, Су-27, Ту-160, регуляторов для двигателей космического корабля "Буран", их изготовлением, доводкой на стендах испытательных лабораторий предприятия, а затем испытаниями на двигателях, летающих лабораториях и самолетах.

Гидромеханические агрегаты этих систем выполняли основные функции управления двигателем. Эти сложнейшие гид-



В.И. Зазулов с ведущими специалистами НПП "ЭГА"

ромеханические САУ были улучшены в два раза по удельной массе по сравнению с предыдущими разработками, что потребовало создания принципиально новых элементов регуляторов.

Необходимо особо подчеркнуть, что и Ф.А. Коротков, и продолжатель его дела В.И. Зазулов как руководители предприятия создали и воспитали большой коллектив талантливых, незаурядных, творческих работников: конструкторов, технологов, испытателей, металлургов, эксплуатационников, рабочих и

руководителей многочисленных подразделений, работавших слаженно и ответственно как хороший часовой механизм. Более 600 работников предприятия награждены орденами и медалями. Перечисление их фамилий и заслуг заняло бы не одну страницу. В порядке исключения хочется назвать только одну фамилию из целой плеяды невероятно талантливых конструкторов предприятия. Речь идет о Евгении Николаевиче Каленове, блестящем русском самородке. Был он конструктором, как говорят в народе, от Бога. Это он с товарищами по работе под руководством и при энергичном участии Виктора Ивановича провел миниатюризацию агрегатов основного контура управления двигателями истребителей МиГ-29 и Су-27, уменьшив своими талантливыми компоновками массу агрегатов почти в два раза. Удивительный по конструктивному решению был, например, его счетно-решающий механизм регулятора основного контура, получивший на конструкторском жаргоне название "паук". В нем Евгений Николаевич в объеме, сопоставимом с человеческим кулаком, соединил в один узелок систему сложнейших рычажных механизмов, объемных и плоских кулачков, выдающих десятки команд для обеспечения множества заданных параметров, необходимых в управлении двигателем. Наши отечественные агрегаты систем управления ТРД конца семидесятых - начала девяностых годов являлись вершиной мировой инженерной мысли в области гидромеханических САУ.

Истребители МиГ-29 и Су-27 и их модификации обладают выдающимися летными качествами. Только на Су-27 летчик может выполнить новую фигуру высшего пилотажа - "кобру Пугачева", исполнение которой потрясло многих авиаспециалистов на международных выставках. Точно так же изумлял мир на международных авиасалонах истребитель МиГ-29 своими тактико-техническими данными и неповторимым "русским колоколом" - только ему, МиГу, было по плечу выполнять эту



В сборочном цехе



У компьютера

фигуру высшего пилотажа. За большой личный вклад в разработку двигателя РД-33 самолета МиГ-29 Виктору Ивановичу Зазулову в 1982 г. было присвоено звание лауреата Государственной премии.

Созданные коллективом под руководством Ф.А. Короткова и В.И. Зазулова САУ обеспечили установление нашими самолетами более 60 мировых рекордов. Практически вся военная авиация и значительная часть гражданской авиации России и



САУ двигателя учебно-боевого самолета

стран СНГ оснащена двигателями с САУ, разработанными коллективом предприятия.

Творческая деятельность коллектива не ограничивалась только созданием все более совершенных САУ авиационных двигателей. Наряду с этим создавалась аппаратура для прямоточных и жидкостных реактивных двигателей, входящих в состав ряда ракетных комплексов. Коллективом предприятия была разработана аппаратура комплексов "Гранит", "Метеорит", "Болид", 8К813, Гр-1, Н1, "Энергия-Буран". Создание такой аппаратуры потребовало принципиально новых подходов в решении поставленных задач. Необходимо было разработать агрегаты с высоким быстродействием, обеспечивающим надежный запуск за доли секунды и хорошую приемистость, работоспособность узлов в агрессивной среде компонентов рабочего тела при высоких давлениях. Аппаратура должна была обеспечивать стопроцентную безотказность и полную работоспособность при длительном хранении без консервационных материалов. От всего коллектива потребовались новые подходы, новые идеи и действительно русская смекалка для успешного решения всех возникающих проблем при создании уникальных образцов ракетной техники.

Творчески работая с полной отдачей всех своих сил в течение более пятидесяти лет, достигнув преклонного возраста, Федор Амосович Коротков передал в 1984 г. бразды правления предприятием в надежные руки своего молодого заместителя Виктора Ивановича Зазулова. Теперь уже Виктору Ивановичу предстояло осваивать и внедрять в САУ газотурбинных и ракетных двигателей последние достижения технической революции, в том числе в первую очередь электронику. Заканчивалась эпоха гидромеханического регулирования, назревала эра электронных регуляторов автоматического управления сложнейшими объектами.

Рассматривая огромный спектр работ, связанных с созданием САУ для авиационных и ракетных двигателей, необходимо подчеркнуть, что Виктор Иванович Зазулов предельно ответственно относился также и к созданию принципиально новых систем регулирования и топливоснабжения наземных двигателей компрессорных станций магистральных газопроводов страны. Предприятием в 70-х годах разработана и внедрена система управления двигателей генерального конструктора Н.Д. Кузнецова на газообразном топливе. Все северные газоперекачивающие станции, вся магистраль от Уренгоя до Ужгорода длиной 4451 км была оснащена

**Агрегаты НПП "ЭГА", применяемые на отечественных летательных аппаратах**

Летательный аппарат	Двигатель	Агрегаты
МиГ-9, МиГ-15, МиГ-17, Ил-28	РД-500, РД-45, ВК-1	ПН-1, ПН-2, ПН-3, ПН-3ТК, БР-1, БР-2, ДК-1, АРТ-2
Ту-16, Ту-104, ЗМ, М4	АМ-3, РД-3М	ПН-15, ПН-28
МиГ-19, Як-25	АМ-5	НР-10, НР-11
Су-7	АЛ-7	НР-14, НР-24
МиГ-21, Су-15, Су-25, Як-28	Р11-300, Р-13-300, Р95Ш	НР-21, НР-22, НР-25, НР-54
Ту-22, ЗМ, М4	ВД-7	НР-7, 1008
МиГ-25	Р15Б-300	1046, ФР-9, ФН-9
Ан-8, Ан-10, Ан-12, Ан-32, Ил-18, Бе-12	АИ-20	КТА
Ан-24, Ан-26, Ан-30	АИ-24	НД-24, АДТ-24
Ту-95, Ту-114	НК-12	КТА
Ми-8	ТВ-2-117	НР-40, РО-40, ПН-40, СО-40, КА-40, ИМ-40
МиГ-23, МиГ-27, Су-22	Р27-300, Р29-300	АДТ-55, РСФ-55, НД-55, ЦН-55, РТО-55, РТФ-55
Як-38	Р27В-300	АДТ-55В, НД-55В, ЦН-55В, РТ-55
Су-17, Су-24	АЛ-21	НР-53, РСФ-53, ФН-53
Ту-22М2, Ту-22М3	НК-25	АДТ-25, ФР-25, НД-25, РС-25, ЦН-25, РТФ-25, ОГ-25
Ту-144, Ту-22М, Т-4	НК-144, РД36-51, РД-36-41	АДТ-144, ФР-144, АДТ-57, ФР-57, ПН-57, РМК-57, ТД-57, АДТ-47, ФР-47, ПН-47, РМК-47, ТД-47
Ту-154	НК-8-2	НР-8-2, ОГ-8-2, РТ-8
Ил-62	НК-8	АДТ-8А, НД-8, ОГ-8, РТ-8
Ил-86	НК-86	АДТ-86, НД-86, ОСС-8, РТ-86
Су-27	АЛ-31	НР-31, РСФ-31, ФН-31, РТ-31, РТФ-31, ТДК
МиГ-29	РД-33	НР-59, РСФ-59, ФН-59, РТ-59, РТФ-59, КСО-59, ТДК
Ту-160	НК-32	АДТ-32, РСФ-32, НД-32, ЦН-32, АС-32, РВ-32, ОГВ-32

силовыми приводами с САУ, разработанной в МАКБ "Темп". На предприятии под руководством В.И. Зазулова было создано новое поколение систем управления силовыми приводами газоперекачивающих установок и энергетических станций. Такие системы работают в различных климатических условиях на объектах СНГ, Болгарии, Польши, Аргентины, Бельгии. Создана унифицированная система автоматического управления силовых приводов газоперекачивающих установок, стационарных и автономных электростанций и транспортных средств. Она обеспечивает выполнение международных экологических требований и допускает дистанционное управление из центрального диспетчерского пункта по телеметрическим каналам.

Последние пятнадцать лет были периодом не только самых творческих достижений предприятия, но и периодом проверки самого коллектива и его руководителя на прочность и живучесть в условиях сокрушительных ударов по предприятию, обусловленных отсутствием государственных заказов и, как следствие, полным прекращением финансирования. Это был для оборонной промышленности невероятно разрушительный период, мягко выражаясь, нежелания, неумения и непонимания вышестоящими органами насущных потребностей страны в укреплении обороноспособности Родины. Виктору Ивановичу Зазулову как руководителю предприятия пришлось приложить невероятные усилия, изворотливость и настойчивость для обеспечения хотя бы минимальной зарплатой ценнейших кадровых сотрудников, ибо назревал их уход с предприятия в условиях безденежья. Самой высокой оценкой заслуживает самоотверженная и умелая деятельность и борьба В.И. Зазулова за сохранение ценнейшего для оборонной промышленности предприятия. Вероятно, следует отметить, что в то время, когда миллионы трудящихся на просторах страны месяцами, а то и годами, не получали зарплату, сотрудники НПП "ЭГА" ни одного месяца не оставались без принадлежащей им зарплаты.

Коллектив предприятия продолжал и дальше напряженно трудиться и своим трудом обеспечивать не только свою живучесть в объективно тяжелых условиях существования, но и дальше развивать свои возможности. Упор был сделан на дальнейшее развитие САУ наземных установок, разрабатывались комплексные электронно-гидравлические системы для нового поколения двигателей самолетов и крылатых ракет. К сожалению, ряд этих разработок не был завершен из-за прекращения финансирования. Была разработана система управления гиперзвукового прямоточного воздушно-реактивного двигателя; в 1995 г. проведены успешные испытания летающей лаборатории при числе  $M=3,0...6,5$ .

В последнем десятилетии Виктор Иванович Зазулов осуществлял многогранную работу по развитию внешнеэкономических контактов, связывающих НПП "ЭГА" со многими фирмами Китая, Индии, Франции, Республики Корея, Малайзии. Так как предприятие обладает развитой производственной и уникальной экспериментальной и испытательной базой, это позволило ему стать самостоятельным участником многих международных проектов по разработке новых САУ для авиодвигателей зарубежного производства.

Длительный разрушительный период остался позади. Коллектив во главе с Виктором Ивановичем Зазуловым принял ряд решений и перспективных программ, необходимых для усиления своей конкурентоспособности и уверенного продвижения на международном рынке высоких технологий. В соответствии с принятыми



На сборке электронных блоков

решениями и программами проводятся капитальные работы по модернизации производства, по компьютеризации конструкторских и технологических разработок, по созданию единой сети в рамках CALS-технологий. Проводится модернизация экспериментальной базы для обеспечения испытаний по международным стандартам. Все эти программы успешно реализуются при полной поддержке совета директоров НПП "ЭГА" и стратегического партнера - ФГУП ММПП "Салют".



Обсуждение проблем отечественного двигателестроения в АССАД

Родина высоко оценила плодотворную и напряженную деятельность Виктора Ивановича Зазулова. В 1991 г. ему присвоено звание доктора технических наук. В 1992 г. В.И. Зазулов избран академиком Российской Академии транспорта, а в 1996 г. - академиком Академии наук авиации и воздухоплавания РФ. В 1994 г. ему присвоено звание "Заслуженный машиностроитель". Работу в НПП "ЭГА" он сочетает с педагогической деятельностью - является профессором Московского авиационного института.

Продолжая напряженно и творчески работать над созданием сложнейших электронно-гидравлических систем управления, коллектив НПП "ЭГА", возглавляемый заслуженным руководителем Виктором Ивановичем Зазуловым, опираясь на собственные силы и достижения, с надеждой смотрит вперед, в будущий расцвет отечественной авиации и ракетостроения, отвечающий современным требованиям технического прогресса, так необходимого России в сложных международных условиях начала XXI столетия. **П**

**Редакция журнала "Двигатель" сердечно поздравляет генерального директора и главного конструктора НПП "ЭГА", одного из наших активных авторов Виктора Ивановича Зазулова с юбилеем. Желаем Виктору Ивановичу дальнейших успехов в его столь востребованном творчестве, максимального удовлетворения от результатов труда, личного и семейного счастья и непоколебимого здоровья, чтобы жизнь во всех ее проявлениях была только в радость.**



**Доктор технических наук,  
лауреат Ленинской и Государственной премий,  
Герой Социалистического труда,  
академик АН УССР,  
Генеральный конструктор ОКБ  
Ивченко Александр Георгиевич**

# А.Г. ИВЧЕНКО - ОСНОВАТЕЛЬ ГП "ЗМКБ "ПРОГРЕСС"

**Федор Муравченко**

Над созданием аэроплана в России, как и во всем мире, упорно работали сотни изобретателей. Выдающиеся русские ученые Жуковский, Менделеев, Чаплыгин создали теорию, а Можайский изобрел аэроплан с паровым двигателем. Он построил и испытал самолет задолго до братьев Райт. Но история авиации берет свой стремительный отсчет именно с их первого полета, 100-летие которого отмечается в этом году.

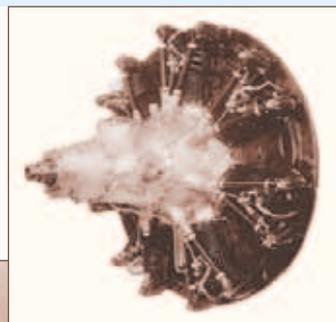
За эти годы многое изменилось. Украина вошла в число немногих стран, которые обладают технологиями создания летательных аппаратов и авиационных двигателей. Мы горды тем, что есть в Украине коллективы, благодаря которым жива одна из самых наукоемких и престижных отраслей экономики - авиационная.

100-летие авиации связано с еще одной значительной датой в истории отечественной авиации - 100-летием со дня рождения основателя ЗМКБ "Прогресс" генерального конструктора, академика А.Г. Ивченко, чье имя уже вошло в мировую элиту авиации. По инициативе "Ивченко-Прогресс" ассоциация "Союз авиационного двигателестроения" (Москва), куда входят все авиадвигателестроительные предприятия СНГ и ряд ведущих зарубежных фирм, объявила 2003-й год годом академика Ивченко.

В числе многочисленных мероприятий, посвященных этому событию, намечено открытие памятника Александру Георгиевичу Ивченко, чье имя уже увековечено как на его Родине, так и во многих учебных заведениях Украины, на множестве мемориальных и памятных досок.

Трудовую деятельность А.Г. Ивченко начал в 1920 г. учеником литейного дела, а затем литейщиком на заводе им. С.М. Кирова в городе Большой Токмак Запорожской области.

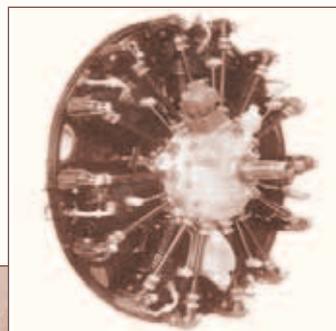
Высшее техническое образование Александр Ивченко получил в Харьковском механико-машиностроительном институте. Окончив факультет двигателей внутреннего сгорания в 1935 г., он работал инженером по сборке и испытанию авиационных двигателей на заводе № 29 в Запорожье. Вскоре он был переведен в отдел главного конструктора, где занимался конструированием и совершенствованием авиационных поршневых двигателей в качестве рядового конструктора, а затем начальника конструкторской бригады, ведущего конструктора по двигателю М-89 мощностью 1500 л.с.



Двигатель АИ-26ГРФ



Вертолет Б-11



Двигатель АИ-14Р



Самолет Як-12М

Во время Великой Отечественной войны, после эвакуации завода в Омск, Ивченко был назначен начальником серийного конструкторского бюро завода № 29, а затем - заместителем главного конструктора. Им были проведены большие работы по внедрению в серийное производство двигателя АШ-82ФН, устанавливаемого на основные типы самолетов ВВС Советской Армии - истребители Ла-5, Ла-7 генерального конструктора С.А. Лавочкина и бомбардировщики Ту-2 разработки ОКБ А.Н. Туполева.

Победоносно закончилась война.

5 мая 1945 г. приказом Народного комиссариата авиационной промышленности СССР было образовано ОКБ № 478 (первоначальное наименование "Прогресса"). Начальником ОКБ был назначен Александр Георгиевич Ивченко, а ядро коллектива составили специалисты Омского завода, работавшие до эвакуации в Запорожье. Впереди у энтузиастов были невероятные трудности восстановительного периода. Поднимать из руин предстояло не только построенный перед самой войной опытно-конструкторский цех, на базе которого и создавалось ОКБ № 478, но и жилой фонд для работников завода и ОКБ.

В начале 1946 г. из Омска, где размещался эвакуированный моторостроительный завод в годы войны, вернулась значительная часть рабочих. Многих из них сразу же перевели в опытное производство. На протяжении всего 1946 г. велось строительство, подбирались кадры, по мере поступления оборудования проводился его монтаж и ввод в эксплуатацию.

Новое ОКБ выживало в тяжелейших условиях. В первый послевоенный год Запорожье лежало в руинах, не было ни материалов, ни оборудования. Все пришлось "добывать" и "выколачивать". Зимой цеха почти не отапливались - заводская котельная простаивала из-за нехватки топлива. Выручали "буржуйки". Для решения проблемы энергоснабжения силами коллектива энтузиастов была спроектирована и смонтирована электростанция мощностью 300 кВт. А еще предстояло обеспечить людей жильем, организовать быт и отдых. В решении всех этих проблем Александр Георгиевич был неутомим.

С первых шагов деятельности ОКБ Ивченко увидел необходимость переориентации направления авиадвигателестроения. Война закончилась, и с нею завершилась гонка за боевыми машинами. Народному хозяйству страны потребовались небольшие самолеты. Набирало темп вертолетостроение.

Александр Георгиевич понял: не нужно идти по пути создания крупных двигателей - этим занимались ведущие отечественные КБ. Он предложил разработать серию поршневых пяти-, семи- и даже одиннадцатцилиндровых двигателей небольшой мощности. Одновременно он позаботился о том, чтобы не просто производить двигатели, а делать их для конкретного потребителя. Так что параллельно с руководством разработками Александр Георгиевич стал, как сегодня модно называть, "менеджером" новой продукции.

И он не ошибся - его двигатели попали "на крыло". Это дало возможность предприятию закрепить свои позиции в первые годы становления. Первый отечественный вертолетный двигатель М-26Г создается в кратчайшие сроки. И уже в 1947 г. его модификацией АИ-26ГРФ (в дальнейшем известен под маркой АИ-26В) мощностью 575 л.с. стали оснащаться вертолеты Братухина Г-4, Б-5, Б-9, Б-10, а в 1948 г. - Б-11 и Як-100 конструкции А.С. Яковлева.

Но особенно плодотворной было взаимодействие с конструкторским бюро Миля. В сжатые сроки был построен и испытан вертолет Ми-1 с двигателем АИ-26В. Этот вертолет имел более десятка модификаций и строился в двух странах: СССР и Польше. Всего было выпущено около 2700 единиц.

В 1948 г. создается еще один уникальный двигатель - АИ-14. Его самолетный вариант АИ-14Р устанавливался на многие модификации Як-12, Як-18, общий объем выпуска которых в СССР, Польше, Китае превысил 7000 самолетов. Также этот мотор устанавливался на судне на воздушной подушке "Радуга" и аэросанях "Север-2" и Ка-30. Вертолетным вариантом



Самолет Як-18М



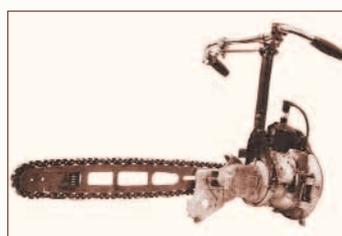
Судно на воздушной подушке "Радуга"



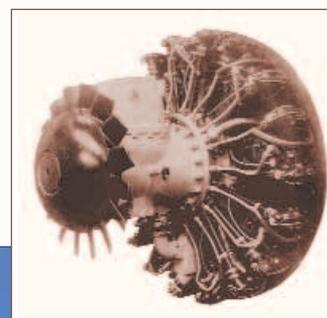
Аэросани "Север-2"



Аэросани Ка-30



Мотопила "Дружба"



Двигатель АИ-14В



Вертолет Ка-15

АИ-14В оснащались винтокрылые машины Камова Ка-15, Ка-18. Таких вертолетов изготовлено в общей сложности 465 единиц. Проводились опытные работы по созданию легких моторов АИ-4Г для вертолетов Ка-8 и Ка-10.

В 1948 г. за создание новых авиационных моторов А.Г. Ивченко, А.М. Анашкин и В.А. Лотарев были удостоены Государственной (Сталинской) премии.

В послевоенные годы авиация развивалась стремительными темпами. Одним из первых Александр Георгиевич понял: эра поршневых двигателей уходит. Впереди - более совершенная авиационная техника - газотурбинные двигатели. Стало быть, необходимо резко менять тематику всего конструкторского бюро.

Но самому захотеть - полдела, надо, чтобы "захотели" тебя. У Запорожского КБ не было должного опыта и достаточной базы, а у Министерства авиационной промышленности не было твердой уверенности в том, что КБ в принципе может справиться с созданием газотурбинных двигателей.

Это было трудное время, когда надо было сохранить ОКБ, закрепиться на новом направлении авиадвигателестроения.

Несмотря на трудности, А.Г. Ивченко начал подготовку к новой работе и добился выдачи ОКБ нового задания: в течение полугода создать турбостартер к двигателю НК-12 генерального конструктора Н.Д. Кузнецова. Срок был очень короткий, но Александр Георгиевич сделал все, чтобы коллектив экзамен сдал.

После успешных испытаний турбостартера ТС-12 "верхи" согласились с тем, что запорожскому коллективу, руководимому А.Г. Ивченко, под силу и более сложные задания.

И уже в 1954 г. в тематический план ОКБ была впервые включена тема по разработке двигателя АИ-20 для пассажирских и транспортных самолетов О.К. Антонова и С.В. Ильюшина.

Возникла острая потребность в квалифицированных кадрах. Ивченко быстро решил эту проблему. По распоряжению минавиапрома в 1954 г. в ОКБ были направлены 26 молодых инженеров - выпускников ХАИ. В их числе были: В.И. Дашковский, В.И. Деденев, Л.А. Ефимчук, Ф.М. Муравченко, М.М. Цофин, Э.П. Цыбульский, В.Е. Яловенко, А.Я. Ярошенко и многие другие, которые впоследствии стали крупными специалистами в области реактивной техники и внесли огромный вклад в создание и становление профессионального конструкторского коллектива.

Сформированный к 1955 г. конструкторский коллектив стал той творческой силой, которая разработала проект двигателя АИ-20, провела его доводку и победила в конкурсной борьбе с ОКБ Н.Д. Кузнецова.

В конце 1957 г. транспортный самолет Ан-10, на котором были установлены четыре двигателя АИ-20, поднялся в воздух. Полет прошел удачно. В 1958 г. такие же двигатели установили и на Ил-18. После успешных испытаний двигатели АИ-20 были запущены в серийное производство на двух заводах в Запорожье и Перми.

АИ-20 стал первым отечественным двигателем с ресурсом 6000 ч до первого ремонта, а его назначенный ресурс составил 20 000 ч. Ни один отечественный двигатель не имел такого уникального ресурса.

За создание турбовинтового двигателя АИ-20 группе конструкторов ОКБ было присвоено звание лауреатов Ленинской премии.

На базе двигателя АИ-20 впоследствии были созданы десятки модификаций, они устанавливались на тысячах летательных аппаратов. Некоторые из них используются в авиации и народном хозяйстве до сих пор.

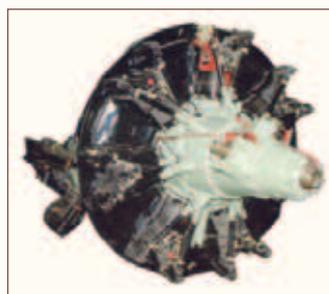
После достигнутого успеха А.Г. Ивченко добился в минавиапроме расширения численного состава КБ. В 1955-1959 годах в конструкторское подразделение влился мощный поток выпускников Харьковского, Казанского и Московского авиационных институтов. Им-то и пришлось, учитывая опыт предшествующих разработок, спроектировать и внедрить в серийное производство двигатель АИ-24 для самолетов Антонова. До сих пор "старичок" Ан-24 возит пассажиров и грузы на разных континентах планеты.



Двигатель АИ-4Г



Вертолет Ка-10



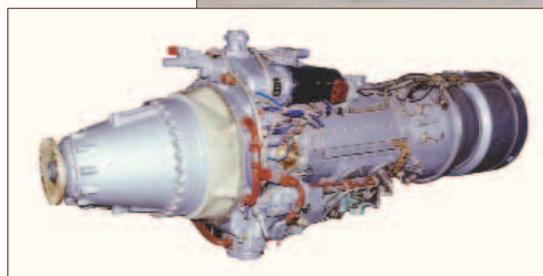
Двигатель АИ-26В



Вертолет Ми-1



Самолет Ан-12



Двигатель АИ-20



Самолет Ил-18

По инициативе Ивченко коллективом ОКБ было много сделано в направлении конвертирования авиационных двигателей для их использования в народном хозяйстве.

В начале пятидесятых на предприятии была спроектирована мотопила "Дружба", которая сразу снискала международное признание. В 1958 г. на Брюссельской международной выставке "Дружба" получила первый приз - "Пальмовую ветвь".

В 1962 г. по заказу Министерства нефтяной и газовой промышленности в ОКБ создаются газотурбинные двигатели АИ-23, АИ-23У, АИ-23СГ для привода буровых установок.

В 1966-1968 годах были разработаны двигательные установки АИ-20С и АИ-23С-1 для судов на подводных крыльях "Буревестник", на воздушной подушке "Сормович" и газотурбохода "Тайфун". Они успешно эксплуатировались на линиях речного и морского пароходства.

Александр Георгиевич уделял большое внимание развитию творчества молодых конструкторов. При нем было создано молодежное ОКБ, которое возглавил Александр Чертов, выпускник ХАИ 1958 г. В этом ОКБ было создано, изготовлено и передано спортсменам ДОСААФ семейство гоночных двигателей "СИЧ" для водно-моторного спорта, которое получило заслуженную высокую оценку спортсменов.

В середине 60-х годов настала эра турбореактивной техники с большой степенью двухконтурности. Первенцем нового поколения стал двухконтурный турбореактивный двигатель АИ-25 для самолета Як-40. Он же стал первым советским двигателем, побывавшим на зарубежной выставке "ЭКСПО-67" в Монреале (Канада). Под руководством А.Г. Ивченко были заложены основы создания двигателей большой мощности. Но разрабатывались они уже без Александра Георгиевича. В 1968 г. Ивченко не стало...

Он прожил недолгую, но насыщенную событиями жизнь.

За успешную деятельность в области создания новых образцов авиационной техники А.Г. Ивченко был награжден высокими правительственными наградами: трижды орденом Трудового Красного Знамени, орденом Красной Звезды, орденом Ленина. Ему было присвоено звание Героя Социалистического Труда. Александр Георгиевич являлся лауреатом Государственной и Ленинской премий.

Имя и дело его не забыты, и память о нем живет. А.Г. Ивченко воспитал многочисленные кадры конструкторов и инженеров, работающих ныне во многих конструкторских бюро, на заводах и в институтах авиационного двигателестроения.

В 1994 г. постановлением Кабинета министров Украины конструкторскому бюро присвоено имя академика А.Г. Ивченко, а с 1997 г. новые двигатели, создаваемые конструкторским бюро, стали как и раньше обозначаться "АИ" в честь его основателя. Коллектив созданного А.Г. Ивченко предприятия чтит светлую память о нем.

Продолжая и приумножая традиции своего основателя, пройдя еще одну суровую школу "выживания" конца 80-х - начала 90-х годов, наше конструкторское бюро сумело сохранить интеллектуальный и технический потенциал. Сегодня многотысячный коллектив предприятия работает по 53 тематическим направлениям, включающим как авиационные, так и наземные газотурбинные установки. Конструкторское бюро вошло в элиту мирового авиадвигателестроения и приобрело известность как фирма, разрабатывающая конкурентоспособную технику, известную во всем мире, тем самым утверждая имидж Украины как авиакосмической державы. **А**

**Государственное предприятие "Запорожское машиностроительное конструкторское бюро "Прогресс" имени академика А.Г. Ивченко,**  
69068, Запорожье, Украина.  
Тел.: 1038-0612-650327.  
Факс: 1038-0612-654697.  
E-mail: progress@ivchenko-progress.com



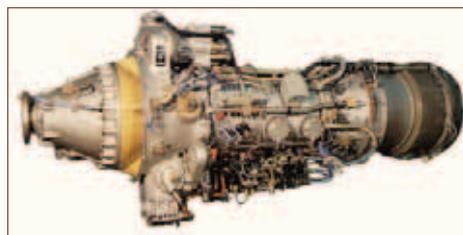
Экраноплан СМ-6



Судно на подводных крыльях "Буревестник"



Судно на воздушной подушке "Сормович"



Двигатель АИ-24



Самолет Ан-24



Двигатель АИ-25



Самолет Як-40



# ГЕНЕРАЛЬНЫЙ КОНСТРУКТОР СЕРГЕЙ КОНСТАНТИНОВИЧ ТУМАНСКИЙ

Лев Берне

(Окончание, начало в № 2-4, 2003)

## Вертикальный взлет

Развитие авиационной науки, появление новых материалов и технологий позволили в конце пятидесятих годов прошлого века приступить к созданию экспериментальных и опытных самолетов вертикального взлета и посадки (СВВП). В Советском Союзе первые работы, связанные с созданием летательного аппарата, способного осуществлять вертикальный взлет и посадку, начались в Летно-исследовательском институте имени М.М. Громова. Конструкторы ЛИИ создали такую машину, получившую имя "турболет". Сергей Константинович Туманский, узнав о начале этих работ в ЛИИ, предложил установить на него модифицированный двигатель АМ-5.

Турболет представлял собой платформу, на которой был смонтирован двигатель с реактивным соплом, направленным вниз. Для обеспечения устойчивого полета и управления по горизонту аппарат был снабжен системой струйных рулей, к которым подавался воздух от компрессора двигателя. Именно тогда конструкторам ОКБ С.К. Туманского пришлось впервые столкнуться с проблемами, которые возникают при работе двигателя на СВВП. Так как отбор воздуха из компрессора существенно перераспределял баланс работ в системе "компрессор - турбина", пришлось специально для этих режимов проверить эпюру распределения температуры газов перед турбиной. На основе полученных результатов были определены основные параметры режимов работы двигателя. Большой объем исследований пришлось провести в связи с приспособлением масляной системы к нормальному функционированию при вертикальном расположении продольной оси двигателя.

Турболет испытывал уникальный летчик Юрий Александрович Гарнаев, о котором говорили, что он может летать на чем угодно. Он настолько хорошо освоил полеты на новом типе летательного аппарата, что оказалось возможным показать турболет на авиационном празднике в Тушино, проведенном в

1967 г. Гарнаев летал на "реактивном помеле" лихо: вперед, назад, с глубокими виражами...

В 1962 г. главный конструктор А.С. Яковлев побывал на международном авиасалоне в Фарнборо и увидел там прототип СВВП "Харриер". После доклада министру авиапромышленности и председателю комиссии Совмина по военно-промышленным вопросам было принято решение специализировать "фирму" Яковлева на самолетах ВВП. По мнению самолетчиков, успех или неудача в создании СВВП предопределяются качествами подъемно-маршевого двигателя. Поэтому А.С. Яковлев, большинство реактивных самолетов которого оснащалось двигателями, созданными в ОКБ-300, предложил именно С.К. Туманскому разработать необходимый ему ТРД. Создание специального двигателя, такого как у "Харриера", потребовало бы не менее 8-10 лет. В связи с этим Сергей Константинович предложил паллиативное решение: переделать в двигатель для СВВП одну из модификаций двигателя Р11-300.

Учитывая большие технические трудности создания СВВП, а также отсутствие опыта, Яковлев и Туманский внесли предложение о создании на первом этапе работ опытного одноместного истребителя-бомбардировщика для исследования техники пилотирования и боевого применения. Вначале самолет предполагали оснастить двумя ТРД Р21М-300 тягой 5000 кгс с поворотными соплами. Масса боевой нагрузки получалась равной 500 кг, максимальная скорость на высоте 1000 м - 1000...1100 км/ч, дальность 500...600 км. Для ускорения отработки системы управления и стабилизации СВВП, а также для проверки и отработки узлов двигателя предлагалось провести испытания опытного истребителя-бомбардировщика с имеющимися опытными ТРД Р21-300 тягой по 4200 кгс, оборудовав их поворотными соплами. На следующем этапе работ по СВВП планировали создать самолет с большим полетным весом и с более мощной силовой установкой из двух Р21М-300.

Разработка самолета, получившего обозначение Як-36, велась под непосредственным руководством С.Г. Мордовина, ставшего впоследствии заместителем главного конструктора. Вскоре проект машины был еще раз пересмотрен: самолет стал однодвигательным, с более мощным подъемно-маршевым ТРД Р27-300, но теперь уже чисто экспериментальным, не предназначенным для боевого использования. В хвостовой части фюзеляжа и на концах крыла самолета смонтировали струйные рули, к которым подавался воздух от компрессора двигателя. Еще один струйный руль пришлось вынести вперед на длинной штанге. Такие рули обеспечивали не только управление самолетом на переходных режимах, но и балансировку Як-36 на вишении. Разрабатывая машину, ее создатели не знали, как она поведет себя в полете, вдруг завалится на бок на взлете или



Турболет в воздухе

возникнут другие непредсказуемые ситуации. Чтобы обезопасить пилота в нештатных ситуациях, в состав системы спасения ввели устройство принудительного катапультирования.

Двигатель Р27-300 имел тягу взлетного режима (без форсажа) 5300 кгс и массу 950 кг. Два сопла с шарнирами шаровидной формы могли поворачиваться на угол более 90° в вертикальной плоскости. Допустимый отбор воздуха на струйное управление самолетом составлял 10 % от максимального расхода воздуха через двигатель. По этой причине для обеспечения надежной работы двигателя пришлось провести дополнительные доводочные работы (аналогичные тем, какие проводились на двигателе АМ-5 для турболета). Благодаря высочайшей квалификации конструкторов завода № 300, ценой относительно небольших изменений, внесенных в конструкцию компрессора, у двигателя Р27-300 удалось увеличить расход воздуха с 65 до 85 кг/с по сравнению с прототипом Р11-300.

Весной 1963 г. первый летный экземпляр самолета Як-36 доставили на аэродром ЛИИ. После проведения всех необходимых подготовительных работ и многочисленных опробований двигателя начались вертикальные "полеты" на привязи. К настоящим полетам двигались небольшими осторожными шагами. Ведущим летчиком-испытателем назначали Юрия Гарнаева, учитывая его "турболетное" прошлое и богатый опыт пилотирования вертолетов. Дублером стал Валентин Мухин - летчик-испытатель ОКБ А.С. Яковлева. В июне-июле 1963 г. Гарнаев совершил несколько "подскоков", поднимая машину на привязи на высоту до одного метра.

Сразу выяснилось неприятное обстоятельство, обусловленное выбором компоновочной схемы силовой установки Як-36. При вертикальном взлете реактивные струи двигателя, ударяясь о земную поверхность, отражались от нее и формировали мощный продольный вал горячих газов. Половина из них уходила в хвостовую часть, что было безвредно, но другая половина, ориентированная вперед, попадала непосредственно на вход в двигателя. Неравномерность температурного поля на входе в компрессор достигала критического значения и устойчивая работа двигателя нарушалась. Следует отметить, что на английском СВВП "Харриер" такое явление не отмечалось. Дело в том, что он оснащался специально спроектированным двухконтурным двигателем с отводом части воздуха от компрессора вниз через специальные сопла, чем обеспечивалось управление машиной на режиме висения. Воздушный поток из холодного контура этих сопел экранировал воздухозаборники двигателя от попадания в них горячих газов. У нас такой защиты не было...

Целый год, с лета 1963 г. до лета 1964 г. ушел на доводку силовой установки. После долгих мучительных поисков защита воздухозаборников была обеспечена путем внедрения ряда конструктивных изменений. На самолете установили отражательные щитки, которые после взлета убирались, а также "реактивную" газовую защиту по типу английской. В конце концов удалось добиться устойчивой работы двигателей.

Труднее всего было с режимом висения и вертикальной посадкой. Сначала висения осуществлялись на высоте около полуметра над ямой, закрытой сверху стальной решеткой. Это делалось для снижения влияния интерференции газовых струй и поверхностей самолета. Отработав, перешли к висению над твердой поверхностью аэродрома, и тут самолет словно подменили. Как только колеса отрывались от земли, самолет начинало трясти и заваливать на бок, при этом запаса газовых рулей не хватало. Бывало, многотонная машина раскачивалась над аэродромом как маятник, почти не поддаваясь воле пилота. Не сразу удалось укротить машину. Лишь после этого 27 июля 1964 г. на третьей машине летчик-испытатель В.Г. Мухин выполнил первый полет, но с разбегом и пробегом. Два месяца спустя состоялось первое свободное висение. Дело дошло до того, что Мухин иногда бросал ручку управления самолетом, и "Як" висел в воздухе, как вкопанный. 7 февраля 1966 г. Мухин, взлетев вертикально, выполнил полет по кругу и произвел посадку

по самолетному, а 24 марта состоялся полет по кругу с вертикальными взлетом и посадкой. Эту дату можно считать днем рождения отечественного вертикально взлетающего самолета.

Кульминацией летной жизни Як-36 можно считать авиационный парад в Домодедово, который состоялся в июле 1967 г. СВВП продемонстрировал способность вертикально взлетать и садиться, что в то время воспринималось, как чудо. Яковлевская машина оказалась, пожалуй, главным "гвоздем" программы (наряду с самолетами с изменяемой стреловидностью крыла). После успешного завершения воздушного парада А.С. Яковлев обратился в правительство с предложением о выпуске десяти-двенадцати Як-36 для отработки методики эксплуатации подобных машин. Именно после демонстрации самолета Як-36 Главнокомандующий ВМФ С.Г. Горшков пришел к убеждению, что есть все основания для "продавливания" через Генштаб мечты многих советских флотоводцев послевоенной поры - создания отечественных авианесущих кораблей. Он рассуждал совершенно правильно: пусть на первом этапе "субавианосцы" будут вооружены хотя бы такими самолетами, а там видно будет...

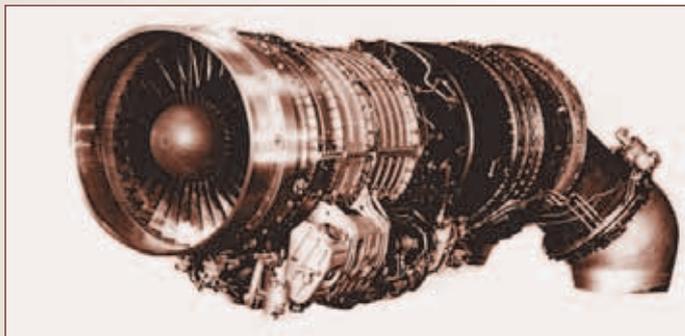
К этому времени и конструкторы, и военные прекрасно понимали, что реальной боевой мощью самолет Як-36 не обладает: слишком незначительным получился резерв полезной нагрузки для подвески средств поражения. Следовало сконцентрировать усилия на разработке усовершенствованной машины. Специалисты ЦАГИ и сотрудники отдела перспективных разработок ОКБ А.С. Яковлева пришли к мнению, что наиболее перспективной для СВВП является силовая установка, состоящая из подъемно-маршевого двигателя с поворотным реактивным соплом и нескольких подъемных двигателей (между прочим, к такому же выводу, правда, через 40 лет пришли и американцы, спроектировавшие перспективный легкий истребитель JSF).

Успешная демонстрация самолета Як-36 подтвердила реальность создания в СССР боевого реактивного СВВП. Появление самолетов такого типа позволяло значительно расширить боевые возможности противолодочных крейсеров типа "Москва", на которых изначально предусматривалось базирование только корабельных вертолетов. Следующие противолодочные крейсера с авиационным вооружением, головным из которых был "Киев", решили строить по новому проекту, предусматривавшему совместное базирование вертолетов и СВВП.

Получив согласие высшего эшелона советского руководства на строительство крейсера типа "Киев", Горшков стал "давить" на Яковлева, настойчиво предлагая форсировать работы по созданию боевого СВВП. Александр Сергеевич отнекивался, мотивируя отсутствием подходящего двигателя. Тогда главноком ВМФ подключил для большего веса Д.Ф. Устинова, который своим авторитетом "дожал" и Яковлева, и конструктора двигателя С.К. Туманского. Чтобы не усложнять ситуацию с финансированием, новый СВВП назвали Як-36М. Как бы тот же самый Як-36, только сбоку "М". А на самом деле это был абсолютно новый самолет со своей оригинальной силовой установкой. Постановление ЦК КПСС и Совмина СССР № 1166-413 о создании легкого штурмовика ВВП Як-36М было датировано 27 декабря 1967 г. Этим же постановлением задавалась раз-



Первый отечественный СВВП Як-36



работка двигателей (подъемно-маршевого и подъемного) для новой машины. В перспективе на базе штурмовика предусматривалось создание истребителя дозвуковых воздушных целей.

Компоновка новой машины коренным образом отличалась от компоновки предшественника, став классической для отечественных СВВП. Фактически это была

новая машина с более мощным подъемно-маршевым двигателем Р27В-300 и двумя подъемными двигателями РД-36-35ФВ разработки рыбинского ОКБ. 25 января 1969 г. Главком ВВС К.А. Вершинин утвердил тактико-технические требования "к легкому штурмовику ВВП Як-36М". ТТТ были также согласованы с командующим авиацией ВМФ. "Легкий штурмовик Як-36М" был предназначен "для авиационной поддержки боевых действий сухопутных войск в тактической и ближайшей оперативной глубине расположения противника (до 150 км от линии фронта), а также при базировании самолета на кораблях проекта 1123 для уничтожения надводных кораблей и береговых объектов в морских операциях и ведения визуальной воздушной разведки".

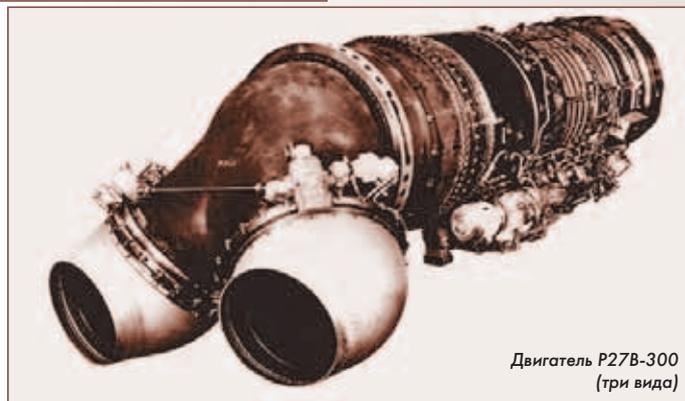
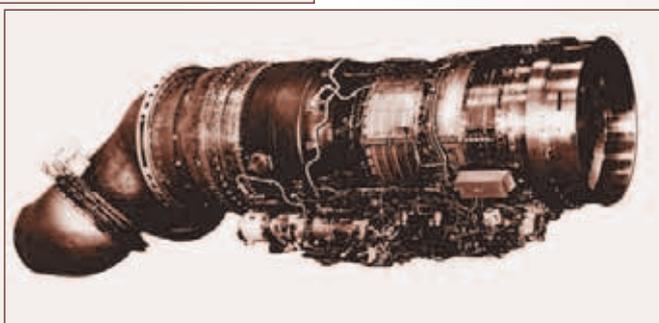
На создание нового подъемно-маршевого двигателя ОКБ С.К. Туманского выделили менее двух лет. Очевидно, что за такой срок создать двигатель "с нуля" невозможно. Поэтому, как и в случае с Р27-300, Туманский сделал ставку на использование в качестве прототипа одного из существовавших в металле двигателей разработки "Союза" - на этот раз "изделия 47", предназначавшегося для истребителя ОКБ А.И. Микояна. Новый подъемно-маршевый двигатель для СВВП получил заводской индекс "изделие 49". На своего прародителя Р11-300 он походил только тем, что оба имели двухкаскадную схему, оставаясь одноконтурными ТРД.

Одной из главных задач при создании нового двигателя стало гарантированное обеспечение высокой газодинамической устойчивости компрессора, позволявшей эксплуатировать ГТД в экстремальных условиях по уровню неравномерности температур и пульсаций воздушного потока на входе в воздухозаборник, включая режимы, предусматривающие применение бортового оружия. В результате интенсивной творческой работы удалось создать компрессор, решивший приведенные выше задачи. По схеме он был 11-ступенчатым осевым (пять ступеней ротора низкого давления и шесть ступеней ротора высоко давления) с циркуляционным перепуском воздуха над лопатками первой ступени ротора и полочным бандажированием рабочих лопаток первой и второй ступеней.

Камера сгорания кольцевого типа была аналогична уже освоённой на предыдущих модификациях Р11-300. Турбина двухступенчатая с охлаждением сопловых аппаратов и рабочих лопаток первой ступени. Для повышения экономичности на крейсерских режимах охлаждение турбины отключалось. Оригинальное криволинейное реактивное сопло раздваивалось на два поворотных сужающихся насадка, задававших горизонтальное и вертикальное направление реактивной струе. Насадки приводились во вращение двумя гидравлическими двига-

телями с рессорной синхронизацией. Впервые в качестве рабочего тела гидросистемы было применено реактивное топливо - керосин. Управление поворотом сопел осуществляла электронная система, которую Сергей Константинович предпочел традиционным для двигателистов механическим регуляторам. Летчик имел возможность зафиксировать сопло в любом промежуточном положении.

На взлетном режиме (при вертикальном положении реактивных насадков) тяга двигателя достигала 6100 кгс. На максимальном форсированном режиме (10-процентный отбор воздуха на струйное охлаждение отключен) тяга составляла 6800 кгс, что позволяло самолету Як-36М разогнаться до скорости 1050 км/ч. Система топливной автоматики с двумя насосами обеспечивала подачу топлива в двигатель на всех режимах и управление положением поворотных насадков реактивного сопла, а также позволяла производить отбор топлива на агрегаты гидросистемы самолета.



Двигатель Р27В-300 (три вида)

Интенсивная работа ОКБ Сергея Константиновича Туманского над двигателем, получившим наименование Р27В-300, и успешно проведенный цикл испытаний позволили начать летные испытания самолета. 15 мая 1970 г. темно-синий Як-36М № 01 с желтым бортовым номером "5" доставили на аэродром ЛИИ в Жуковском. После завершения цикла наземных испытаний 22 сентября 1970 г. Валентин Мухин выполнил на этой машине первое свободное висение в метре от земли.

Следует отметить, что в новом СВВП были учтены годы "борьбы" с отравленными газами: в новой компоновке реактивные струи подъемных двигателей были сориентированы не строго вертикально, а повернуты немного назад, что защитило входы воздухозаборников Р27В-300 от попадания горячих газов.

25 февраля 1972 г. летчик-испытатель М.С. Дексбах на втором опытном Як-36М впервые совершил полет "по полному профилю": вертикальный старт, горизонтальный полет и вертикальная посадка. В апреле 1972 г. заводские испытания были закончены, и три экземпляра машины передали на госиспытания в ГКНИИ ВВС (Ахтубинск).

В том же 1972 г. были выполнены полеты Як-36М с вертикальным взлетом и посадкой на противолодочном крейсере-вертолетоносце "Москва". 18 ноября 1972 г. летчик Дексбах произвел первую посадку на корабль, а 22 ноября он же слетал на "полный профиль" с палубы. Присутствовавший при этом маршал авиации И.И. Борзов дал указание командиру ПКР "Москва" капитану второго ранга А.В. Довбне произвести запись в вахтенный журнал: "День рождения палубной авиации".

Освоение полетов СВВП с палубы продолжалось в 1973-1974 гг. Осенью 1974 г. неожиданно для всех участников работ по доводке самолета и корабельных систем было объявлено, что эти полеты будут наблюдать член Политбюро ЦК КПСС

Д.Ф. Устинов и высшее руководство Министерства обороны. Мероприятие было очень ответственное, поэтому Сергей Константинович направил автора этих строк на корабль в качестве своего представителя.

Накануне приезда высоких гостей на палубе "Москвы" мы провели полную проверку всех систем самолета, включая отработку двигателя. Были подписаны все необходимые документы. Представители промышленности уже собирались ехать в гостиницу, когда меня вызвали на командный пункт управления кораблем к аппарату спецсвязи. Звонил оперативный дежурный Черноморского флота. Он сообщил, что необходимо срочно прибыть к нему на КП и по "ВЧ" связаться с Туманским. То, что сказал мне Сергей Константинович, буквально ошеломило: при длительных испытаниях на заводе разрушился трубопровод подвода топлива к коллектору двигателя Р27В-300. Туманский распорядился немедленно заменить ненадежные детали трубопроводами иной конструкции. Эти трубопроводы уже отправили в Севастополь самолетом. Я напомнил Туманскому, что для замены труб необходимо снимать двигатели, потом после монтажа снова проводить их регулировку. Естественно, что к завтрашнему дню эту работу до приезда руководства провести невозможно.

Но Сергей Константинович еще раз четко произнес: *"Без замены трубопроводов полеты не разрешаю!"* И тут вспомнилось, как в 1938 г. он дал указание запретить полеты на самолете И-180, на котором должен был лететь В.П. Чкалов. Я немедленно доложил руководителю работ на корабле Кериму Беркербиеву о решении, принятом С.К. Туманским. Немедленно была организована круглосуточная работа. Инженеры и механики-двигателисты совершили настоящее чудо. Они провели замену трубопроводов без съема двигателей с самолетов. Правда, для этого пришлось частично демонтировать двигательные коммуникации. Всю ночь инженерно-технический состав интенсивно трудился. Рано утром провели опробование двигателей, а в 10 часов летчик М.С. Дексбах произвел вертикальный взлет и посадку Як-36М с палубы корабля, идущего полным ходом.

Решение о запуске Як-36М в серийное производство на Саратовском авиазаводе было принято в 1973 г., и уже в следующем году там собрали первые три серийные машины. После успешного завершения государственных испытаний в сентябре 1974 г. самолет Як-36М было рекомендовано допустить к эксплуатации в строевых частях и к проведению государственных испытаний корабля проекта 1143 (противолодочный крейсер "Киев"). 11 августа 1977 г. постановлением ЦК КПСС и Совмина СССР самолет Як-36М был принят на вооружение авиации ВМФ под обозначением Як-38. Всего было построено более 230 машин. Двигатель Р27В-300 с 1974 по 1991 г. выпускался серийно на Тюменском моторостроительном заводе.

16 июля 1976 г. крейсер "Киев", имея на борту пять Як-36М и один Як-36МУ, начал переход из Черного моря в Североморск. 18 июля он вышел в Средиземное море, где у острова Крит состоялись первые полеты отечественных СВВП за пределами СССР. Всего во время перехода за семь летних смен летчики авиации ВМФ Ф.Г. Матковский, В.Н. Ратненко, В.Ф. Саранин, В.М. Свиточев, В.И. Колесниченко, В.И. Дмитриенко и В.И. Кучуев выполнили 45 полетов с общим налетом 22 часа. Специалисты ОКБ С.К. Туманского участвовали в этом переходе и оказывали помощь морским летчикам и инженерам в освоении Як-38 и двигателя Р27В-300.

В апреле-мае 1980 г. впервые в мире проводились испытания СВВП в условиях боевых действий с применением оружия. Четыре Як-38 выполнили более сотни полетов в Афганистане в условиях жары и высокогорья, показав неплохие результаты.

### Другие работы ОКБ С.К. Туманского

Когда после первых успехов в космосе Н.С. Хрущев стал меньше уделять внимания авиации, Сергей Константинович при-



СВВП Як-38 на палубе противолодочного крейсера

нял решение освоить проектирование ЖРД. В ОКБ были созданы двигатели Р201-300 для ракеты "воздух-земля" и Р209-300 для ракеты-мишени главного конструктора А.Я. Березняка.

В 1962-1963 гг. конструкторский отдел, занимавшийся ЖРД, начал разработку жидкостных ракетных микродвигателей, предназначенных для ориентации и стабилизации космических аппаратов. Поскольку эта тематика считалась очень перспективной, Сергей Константинович добился организации специального ОКБ на правах филиала завода № 300. Главным конструктором был назначен В.Г. Степанов. Под руководством С.К. Туманского были созданы первые микродвигатели Р210Д-300 и Р210Е-300 тягой 1,3 и 16,5 кгс, соответственно.

Широкий диапазон интересов и возможностей позволил коллективу завода № 300 наряду с созданием двигателей заниматься принципиально новым направлением - холодильной техникой. Руководитель отдела газодинамики Моисей Григорьевич Дубинский, один из наиболее крупных отечественных специалистов по лопаточным машинам, предложил новый термодинамический цикл (за рубежом он известен как "русский цикл"). Используя высокий к.п.д. осевого компрессора и воздушную турбину, удалось создать оригинальную воздушную холодильную машину ТХМ-300, в которой достигался уровень температур ниже -80 °С. Коллектив создателей этой машины был выделен в отдельную организацию во главе с М.Г. Дубинским.

Еще одно нетрадиционное направление в деятельности С.К. Туманского - руководство в 60-х годах работами, связанными с созданием ядерной энергетической установки ТУ-5 ("Тополь", впоследствии "Топаз") с электрической мощностью 5 кВт. Коллектив ее разработчиков также выделился в отдельное ОКБ, которое возглавил Г.М. Грязнов.

Неудивительно, что Сергея Константиновича Туманского называют отцом многих ОКБ. Он воспитал целую плеяду научных работников, конструкторов и других специалистов. Под руководством Сергея Константиновича проводились важные работы по устранению опасных вибраций лопаток компрессоров и турбин, внедрению оригинальных конструктивных элементов для борьбы с этими явлениями, которые доставляли немало хлопот в эксплуатации и снижали надежность двигателей. Широкое разнообразие тем, которыми занимался С.К. Туманский, его фундаментальные исследования, посвященные высокотемпературным турбинам, созданию двухкаскадных ТРД, определению оптимальных способов регулирования компрессоров, форсажной камеры и реактивного сопла, снискали ему авторитет и уважение всего ученого мира.

С.К. Туманский был лауреатом Государственной и Ленинской премий, Героем Социалистического Труда. В 1965 г. его избрали действительным членом АН СССР. В последние годы своей жизни С.К. Туманский совмещал руководство конструкторским бюро с работой в других научных учреждениях.

Скончался Сергей Константинович в 1973 г. вскоре после своего семидесятилетия.

# ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННЫЕ ПРОВОЛОЧНО-ВЫРЕЗНЫЕ



ROBOFIL 390

## СТАНКИ ROBOFIL ФИРМЫ CHARMILLES ДЛЯ СТРУЙНОЙ ОБРАБОТКИ



ROBOFIL 690

Владимир Полуянов, к.т.н., Алексей Смирнов, к.ф.-м.н.

Фирма CHARMILLES является мировым лидером по производству копировально-прошивочных и проволочно-вырезных станков для инструментального производства. Более 40 000 электроэрозионных станков выпущено фирмой со времени выпуска его первого копировально-прошивочного станка в 1952 г. Первые электроэрозионные проволочно-вырезные станки с ЧПУ фирма представила в 1973 г. на международной выставке станков в Ганновере. Эти станки были предназначены для обработки деталей с их погружением в диэлектрическую жидкость в рабочей ванне.

В 1991 г. фирма впервые в мире показала на выставке в Париже электроэрозионные проволочно-вырезные станки ROBOFIL для обработки деталей без их погружения в жидкость, но с ее подачей в виде струи соосно проволоке через специальные сопла. Эти станки получили название станков для струйной обработки или для обработки с поливом диэлектрической жидкостью. К настоящему времени выпущено более 5000 таких станков, в т. ч. моделей ROBOFIL 190, 290, 300, 310 и 510 различных модификаций. В 2002 г. из всех проданных фирмой электроэрозионных станков 57 % составили вырезные станки, из них 30 % - станки для струйной обработки.

В настоящее время фирма CHARMILLES выпускает станки такого типа моделей ROBOFIL 390 и ROBOFIL 690.

вого оборудования, детали литейных форм, например, вкладышей для пластмассового литья под давлением, детали вырубных штампов последовательного действия, а также детали основного производства.

Зона обработки, узел перематки и натяжения проволоки хорошо видны в процессе работы станка. При этом удачно решены вопросы ограждения этой зоны с использованием прозрачного стекла со специальной сеткой, обеспечивающей эффективную защиту от электромагнитных излучений.

По сравнению со станками, на которых деталь для обработки погружается в жидкость, эти станки требуют значительно меньшего объема чистой рабочей жидкости. Нет необходимости в оснащении станков насосами для наполнения ванны. Станки позволяют сразу начать обработку, не теряя времени на заполнение ванны, как в случае работы с полным погружением, и по окончании обработки не затрачивать время на слив жидкости из ванны перед съемом обработанной детали со станка.

В отличие от выпускавшихся ранее станков для струйной обработки, известных своими достоинствами, в новых станках появились дополнительные преимущества благодаря использованию нового метода обработки с так называемым "местным погружением", искусственно создаваемым с помощью специальных сопел, обеспечивающих две струи - центральную и

### Основные технические характеристики станков Robofil

Тип станка	Тип обработки	Максимальные перемещения по осям X, Y, Z, мм	Максимальные перемещения по осям U, V, мм	Максимальные размеры детали, мм	Максимальная масса детали, кг	Угол наклона проволоки, ° / высота, мм	Диаметр проволоки, мм	Минимальная шероховатость поверхности Ra, мкм
Robofil 390	Струйная	400x300x250	± 30	980x730x250	1000	± 15° / 110	0,1...0,3	0,28
Robofil 690		800x600x400	± 30	1380x1000x400	2000	± 15° / 110	0,1...0,3	0,28

#### О конструкции станков

Конструкция станков создана с учетом замечаний и предложений потребителей - заказчиков. В ней воплощены многолетний опыт фирмы в области электроэрозионной обработки, а также апробированные технологии.

Станки имеют компактную конструкцию и занимают небольшую площадь. Стол станка неподвижен, что позволяет осуществлять загрузку тяжелых деталей с сохранением предельной точности станка. Нижняя часть станка и основание для крепления стола выполнены из полимербетона. Для обеспечения высокой жесткости стол имеет рамную моноблочную конструкцию из закаленной нержавеющей стали.

Конструкция станка с неподвижным столом, обеспечивающая точность, жесткость и надежность, позволяет эффективно обрабатывать на нем детали различной оснастки для прессо-

охватывающую ее (соосную с ней и проволокой) струю цилиндрической формы.

Станки ROBOFIL 390 и 690 оснащены закрытыми безззорными алмазными направляющими проволоки, системой автоматической заправки и перезаправки проволоки с использованием устройства типа Thermocut, обеспечивающего выпрямление проволоки, сматываемой с катушки, путем ее нагрева до температуры отжига и растяжения, а также ее термической резки с образованием заостренного конца проволоки, обеспечивающего надежное ее прохождение через верхнюю направляющую, стартовое отверстие в заготовке и нижнюю направляющую проволоки. Устройство, не имеющее подвижных деталей, например резака, не требует технического обслуживания и отличается высокой надежностью работы.

Управление станком и наблюдение за его работой ведется с одного рабочего места.



Детали велосипеда

ISO программами. Введены технологии обработки цилиндрических и конических поверхностей для различных пар материалов - проволоки (из латуни, в т. ч. твердой, мягкой, с покрытием или без него) различного диаметра (0,3; 0,25; 0,2; 0,1 мм) и деталей (из стали, меди, графита, твердых сплавов, поликристаллических алмазов).

Все указанные настройки генератора и технологии, введенные в память компьютера системы управления станком, используются при автоматическом построении оптимальных последовательностей

**О системе управления станком**

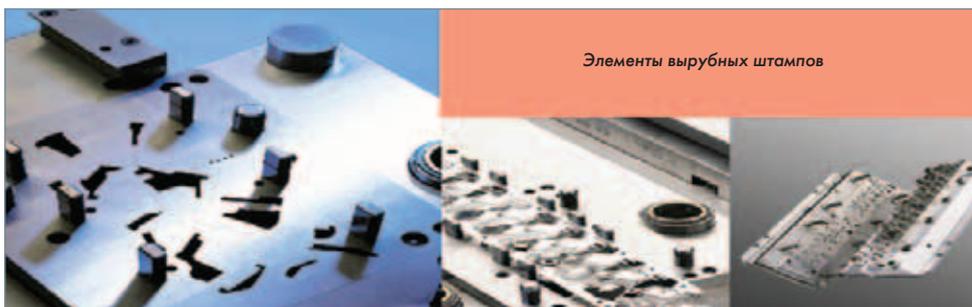
Новая система CNC-управления (тип СТ MILLENIUM CNC) создана на базе мощного персонального компьютера, оснащена сенсорным экраном, имеющим новые динамические функции DSF, позволяющие оператору легко обучаться и использовать возможности системы. В УЧПУ станка встроена его "бортовая" документация, а также необходимая информация о возможных ошибках работы системы, о рекомендациях по их устранению, по периодическому техническому обслуживанию станка, перечень и фотографии изнашиваемых деталей, коды ISO.

Имеется возможность автоматической передачи удаленному оператору сообщений и сигнальной информации об автономной



Элементы вырубного штампа и готовое изделие

обработки заданной детали, осуществляемом экспертной системой - программной утилитой СТ-EXPERT по небольшим по



Элементы вырубных штампов

объему данным о материале детали, ее высоте, требуемой шероховатости и т.п., вводимым оператором станка или технологом в режиме диалога. Эта программа наряду с другими программами и указанными экспертными системами PILOT EXPERT и PROFIL EXPERT обеспечивает работу станка на оптимальных режимах в соответствии с заданными требованиями по точности и качеству поверхности обрабатываемой детали.

работе станка, об окончании обработки детали либо через службу коротких сообщений, либо по электронной почте.

Возможно подключение станка к локальной цеховой сети.

Как и другие станки фирмы, станки ROBOFIL 390 и 690 оснащены оптическими линейными датчиками, а их системы управления - экспертными системами СТ-EXPERT, PILOT EXPERT и PROFIL EXPERT, обеспечивающими высокопроизводительную точную обработку любых контуров, в т.ч. с острыми углами и малыми радиусами закругления без обрыва проволоки.

**О технологии обработки**

Настройки генератора для различных типов обрабатываемых материалов введены в память CNC системы и доступны с



Детали пресс-формы

Электроэрозионные проволочно-вырезные станки моделей ROBOFIL 390 и ROBOFIL 690 рекомендуются для применения как в инструментальном, так и в основном производстве предприятий различных отраслей промышленности. 



По всем вопросам, связанным с технологическими возможностями электроэрозионных станков ROBOFORM и ROBOFIL, а также фрезерных станков для высокоскоростной обработки и их приобретением, можно обратиться к эксклюзивному дистрибьютеру станков ООО CHARMILLES & MIKRON DIFFUSION.

Тел.: (095) 219-9604, 218-9246.

Факс: (095) 232-3625, E-mail: lazer@orc.ru

# НАДЕЖНАЯ ГЕРМЕТИЧНОСТЬ - НЕОБХОДИМОЕ УСЛОВИЕ БЕЗАВАРИЙНОЙ РАБОТЫ ЖРД В ПОЛЕТЕ

ОАО "НПО Энергомаш им. академика В.П. Глушко":

**Борис Громыко, к.т.н., Евгений Матвеев, Юрий Митюков,  
Игорь Михалев, Роза Петренко, Вадим Сорокин**

При создании современных ЖРД одной из наиболее сложных и ответственных научно-технических проблем всегда было обеспечение надежной герметичности многочисленных разъемных соединений (РС) трубопроводов разного рода. Это особенно актуально для современных двигателей многоразового использования, где в отличие от ранних ЖРД, сильно уменьшено количество сварных соединений.

Большое число РС в современных ЖРД обусловлено как требованиями многоразовости их использования и ремонтпригодности, так и возможностью замены агрегатов в процессе сборки и эксплуатации двигателей. Двигатель РД-170 для ракеты-носителя "Зенит" имеет, например, более 600 РС по линиям окислителя, горючего, горячего газа и пневмосистемы. Они отличаются размерами (от 4 до 650 мм) и условиями эксплуатации.

Для современных кислородно-керосиновых и кислородно-водородных ЖРД, работающих по схеме с дожиганием генераторного газа в камере сгорания, характерен широкий диапазон значений рабочих температур (от 20 до 1073К) и давлений (до 120 МПа) в магистралях и агрегатах двигателя. В связи с этим к РС предъявляются весьма жесткие требования:

Для современных кислородно-керосиновых и кислородно-водородных ЖРД, работающих по схеме с дожиганием генераторного газа в камере сгорания, характерен широкий диапазон значений рабочих температур (от 20 до 1073К) и давлений (до 120 МПа) в магистралях и агрегатах двигателя. В связи с этим к РС предъявляются весьма жесткие требования:

- обеспечение высокой степени герметичности (допустимый уровень утечки при контроле гелием менее  $1,32 \cdot 10^{-6} \text{ см}^3/\text{с}$ );

- долговечность в условиях многократного воздействия динамических и термоциклических нагрузок;

- сохранение работоспособности РС без их переборки и подзатяжки между циклами эксплуатации, в том числе после длительного хранения под нагрузкой;

- возможность диагностирования работоспособности РС между циклами эксплуатации;

- совместимость используемых материалов с рабочими средами;

- пожаробезопасность;

- минимизация массогабаритных характеристик.

Все это обусловило необходимость проведения широкого спектра научно-исследовательских, расчетно-теоретических, конструкторско-технологических и материаловедческих работ для создания принципиально новых конструкций уплотнительных устройств.

Надежность и герметичность криогенных и высокотемпературных РС ЖРД многоразового использования при указанных выше значениях температуры способны обеспечить только металлические упругие уплотнения (МУУ). Важно, что благодаря эффекту самоуплотнения, действие которого возрастает с увеличением давления рабочей среды, такие уплотнения применимы в РС с относительно нежесткими облегченными фланцами. Как свидетельствуют результаты проведенных исследований, это позволяет сохранять требуемую герметичность даже при расхождении стыка в зоне уплотнения до 0,5...1,0 мм! Применение МУУ способствует уменьшению массы и габаритов РС и

массы ЖРД в целом, и как следствие, сокращению стоимости вывода на орбиту единицы массы полезного груза. Усилие затяжки РС с уплотнениями описываемого типа значительно меньше, чем в РС с плоскими пластически деформируемыми металлическими прокладками. МУУ сохраняют работоспособность в течение 20 лет не только без переборок, но и без подзатяжки крепежных деталей после многоциклового использования и длительного хранения под нагрузкой.

Многообразие условий эксплуатации уплотнительных устройств в современных ЖРД потребовало индивидуального подхода к каждому высоконагруженному устройству, проведения большого числа научно-экспериментальных исследований на имитаторах РС, уплотнениях, образцах материалов и разработки различных по конструкции и функциональному назначению устройств, большинство из которых защищено патентами.

Принципиальная конструкция РС с МУУ показана на рис. 1. Собственно уплотнение - размещенный между фланцами упругий

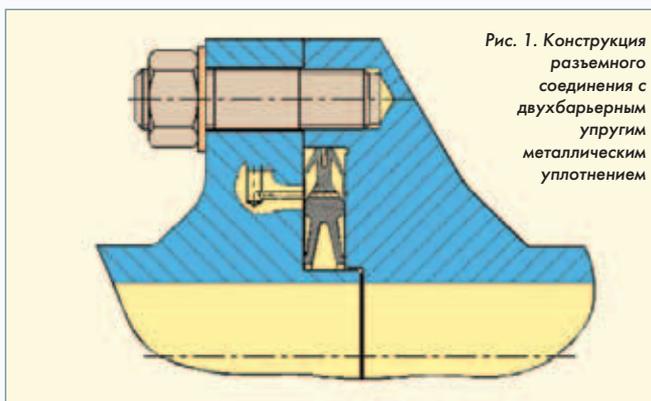


Рис. 1. Конструкция разъемного соединения с двухбарьерным упругим металлическим уплотнением

элемент, выполненный в виде кольца с внутренним и наружным барьерами. Барьеры соединены кольцевой перегородкой с перепускными отверстиями и опорно - фиксирующим кольцом. В одном из фланцев выполнены дренажные каналы. Через них при выполнении контрольно-технологических операций осуществляется отбор и количественная оценка утечек за внутренним барьером при диагностировании РС.

Уплотнение такого типа заневоливаются усилием упругих рес-

сор и давлением рабочей среды. При затяжке РС упругие рессоры поджимаются (суммарно по обем рессорам каждого барьера) на величину 0,4...0,6 мм, что создает необходимое для обеспечения герметичности начальное контактное усилие на уплотнительных поверхностях.

Требования высокой степени герметичности при чрезвычайно высоких нагрузках на уплотнения и необходимость минимизации массы и габаритов РС предопределили работу таких уплотнений в упруго-пластической области. Это потребовало разработки новых методик, критериев и программного обеспечения расчетов прочности как самих упругих металлических уплотнений, так и РС в целом. Результаты расчетов подтверждаются данными автономных испытаний и статистикой работоспособности РС при испытаниях двигателей.

При выборе материалов для обеспечения надежной работы упругих уплотнений учитываются их свойства в рабочих условиях, пожаробезопасность, коррозионная стойкость, долговечность при воздействии динамических и термоциклических нагрузок, а также склонность к наводораживанию. Эти материалы должны обладать высокими прочностными и пластическими показателями, определенными на основании результатов расчетов и экспериментальных исследований:

$$\sigma_b \geq 950 \text{ МПа}, \sigma_{0,2} \geq 850 \text{ МПа}, \delta \geq 10 \%, \psi \geq 15 \%$$

В зависимости от диапазона рабочих температур, условий эксплуатации, используемой среды и с учетом результатов исследований для уплотнений применены материалы различных классов, представленные в таблице.

Классификация материалов для уплотнений						
Класс материалов	Температура эксплуатации, К					
	293	523	723	923	1073	криогенная
Нержавеющие стали	ЭК49 ВНС25	ЭК49 ВНС25	ЭК49	-	-	ЭК49 ВНС25
Жаропрочные железоникелевые сплавы	ЭП700 ЭП915	-	ЭП700 ЭП915	ЭП700 ЭП915	-	-
Жаропрочные никелевые сплавы	ЭК61 ЭП741НП	-	-	ЭК61	ЭП741НП	ЭК61
Бериллиевая бронза	БрБ2	БрБ2	-	-	-	БрБ2

В уплотнениях, работающих при криогенных температурах (в жидком кислороде и жидком водороде) используется низкоуглеродистая сталь ЭК49, которая сохраняет высокую пластичность вплоть до температуры 20К. Она не склонна к охрупчиванию, нечувствительна к концентрациям напряжений, обладает высокой ударной вязкостью и работоспособна в диапазоне температур от 20 до 723К. По результатам испытаний уплотнений на малоцикловую усталость ( $10^3$  циклов) сталь ЭК49 превосходит стали ВНС25 и СН2А. При криогенных температурах широко используется также никелевый сплав ЭК61.

При температурах от 723 до 923К в кислородосодержащей среде используются железоникелевые сплавы ЭП700 и ЭП915, а также никелевый сплав ЭК61, обеспечивающие при этих температурах высокие прочностные характеристики и работоспособность уплотнений.

При очень высоких температурах, вплоть до 1073К, впервые в отечественной и мировой практике используется жаропрочный высоколегированный никелевый сплав ЭП741НП, получаемый методом горячего изостатического прессования из гранул. Сплав работоспособен в кислородной и водородной среде. Он имеет мелкую (50...60 мкм) однородную зернистую структуру, изотропные во всех направлениях механические свойства, т.е. идеально подходит для изготовления тонкостенных (0,5...0,8 мм) рессор упругих уплотнений. По механическим свойствам в среде водорода ЭП741НП превосходит широко используемые в авиационно-космической технике высокопрочные никелевые сплавы ЭП975-ИД, ЭП99-ИД, ЭП202-ВД. Одним из основных показателей работоспособности сплавов, работающих при высоких температурах, является длительная прочность  $\sigma_d$ . По этому показателю сплав ЭП741НП превосходит все отечественные сплавы, используемые при изготовлении упругих уплотнений, а также ближайший зарубежный аналог Astroloy.

Опыт эксплуатации упругих металлических уплотнений в современных ЖРД показывает, что большую роль в обеспечении герметичности РС играет правильный выбор мягких герметизирующих покрытий, выполняющих также защитные функции от воздействия агрессивных сред. В качестве покрытий в зависимости от температуры для различных рабочих сред используется чистая медь, комбинированное медно-серебряное покрытие, чистое серебро, никель со специальной термообработкой для уменьшения твердости, металлофторопластовое покрытие, индий.

В наиболее вибро- и теплонапряженных РС (где отмечались случаи повреждения покрытий,

что инициировало возникновение пожароопасных ситуаций) для уплотнений используется бериллиевая бронза БрБ2 без покрытия, но термообработанная по разработанной в НПО Энергомаш оригинальной технологии для повышения ее пластических характеристик.

После такой обработки БрБ2 имеет относительное удлинение  $\delta \geq 8\%$  (вместо 2% после стандартной термообработки) при обеспечении требуемой прочности:  $\sigma_b \geq 950$  МПа и  $\sigma_{0,2} \geq 850$  МПа. Проведенные исследования показали, что при воздействии окислительных сред, в том числе кислорода, на поверхности БрБ2 образуется плотная обогащенная бериллием оксидная пленка, обеспечивающая высокую работоспособность уплотнений в агрессивных средах.

Для установления сроков службы нагруженных РС с металлическими упругими уплотнениями были проведены ускоренные климатические испытания по методике, учитывающей все вышеописанные действующие факторы. Работы проводились на уплотнениях из сплава ЭП741НП. В результате получены зависимости срока службы РС для различных уровней утечки рабочего газа. Например, для уровня утечки  $10^{-6}$  г/с рабочего водородосодержащего газа в случае хранения при 293К срок службы составляет более 25 лет.

На рис. 2 показаны места применения различных типов уплотнительных устройств в соединениях агрегатов и магистралей системы подачи окислителя в камеру сгорания ЖРД. К примеру, РС с двухбарьерным МУУ (установленное в узле соединения статора турбины с блоком газоводов, поз. 1) обладает высокой надежностью благодаря двойной герметизации стыка. Кроме того, такое РС обеспечивает возможность выполнения следующих контрольно-технологических операций:

- раздельной проверки герметичности первого и второго барьеров;

- общей проверки герметичности РС одновременно по двум барьерам;
- диагностирования герметичности РС по первому барьеру в процессе работы двигателя, а также между циклами его работы соответствующими датчиками, устанавливаемыми на штуцере дренажного канала;
- проверки целостности рессор первого барьера уплотнений между циклами эксплуатации двигателя.

Для обеспечения, наряду с герметичностью РС, возможности компенсации монтажных перекосов и неточностей изготовления стыкуемых агрегатов было предложено сферическое РС со статическим шарниром и двухбарьерным упругим уплотнением. Вследствие этого из конструкции двигателя исключаются специальные компенсирующие устройства, создание которых для крупногабаритных магистралей высокого давления при наличии жестких требований к весовым и габаритным характеристикам является

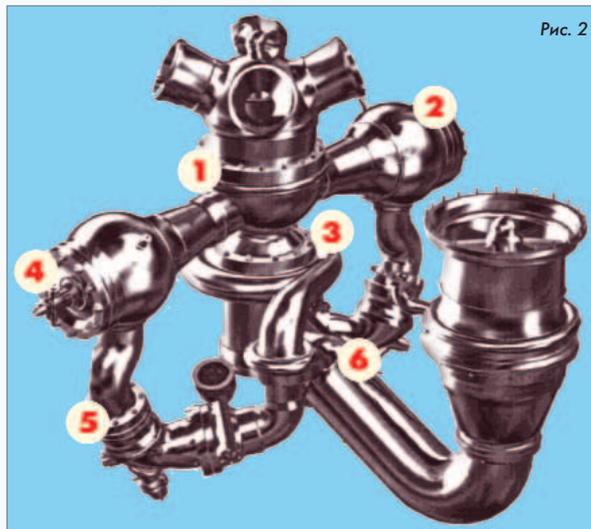


Рис. 2

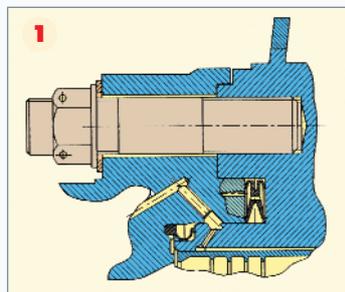


Рис. 3. Соединение статора турбины с блоком газоводов

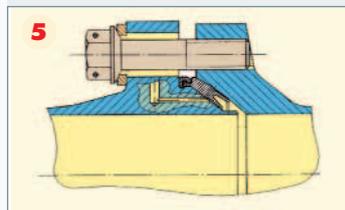


Рис. 4. Сферическое соединение с двухбарьерным МУУ

весьма сложной задачей. Сферические РС разработаны для сохранения герметичности при возможных перекосах осей стыкуемых участков магистралей в пределах до 4°. Примером сборки двигателя с использованием сферических РС может служить крупногабаритный узел магистрали высокого давления диаметром 170 мм между насосом и газогенератором без специальных компенсирующих устройств (поз. 5 на рис. 2). Магистраль имеет три сферических РС, позволяющих благодаря подвижности статических шарниров обеспечить оптимальное положение жестких участков до затяжки.

В сферических РС, как и в плоских, могут быть использованы однобарьерные или двухбарьерные уплотнения с периферийным силовым кольцом, являющимся вторым барьером уплотнения. Периферийное кольцо имеет с одной стороны коническую, а с другой - сферическую поверхности. При радиально-осевой деформации под действием перепада давления происходит его расклинивание, что обеспечивает герметичность РС благодаря плотной посадке в гнезде соединения, которое выполнено сужающимся к сторону периферии.

В сферических РС с использованием двухбарьерного уплотнения (поз. 6 на рис. 2) взаимодействие фланцев осуществляется через второй барьер уплотнения, имеющий мягкое герметизирующее покрытие. Такая конструкция уплотнения обеспечивает сохранность уплотнительных поверхностей фланцев при эксплуатации двигателя. При переборках РС заменяются уплотнения, а фланцы не требуют каких-либо доработок.

Для исключения возможности возникновения в трубопроводах малого (4...14 мм) диаметра монтажных напряжений разработаны беспрокладочные РС со сферическим шарниром (поз. 4 на рис. 2), работающие в диапазоне температур от 93 до 723К при давлении до 80 МПа. Допустимый перекося осей стыкуемых участков трубопроводов составляет ±3°. По результатам исследований был выбран вариант РС типа "тор + сфера" с использованием различных материалов для конкретных температурных диапазонов эксплуатации. Конструкция включает в себя штуцер со сферической уплотнительной поверхностью, наконечник с торовой уплотнительной и сферической опорной поверхностями, сферическую шайбу и накидную гайку. Такие РС надежно обеспечивают работоспособность и герметичность при термоциклических и вибрационных нагрузках, что способствовало их широкому внедрению во всех современных ЖРД по линиям жидкого кислорода, горячего газа и горючего.

Оригинальное серповидное уплотнение в высокотемпературном крупногабаритном (диаметром 500 мм) РС статора турбины с блоком газоваода (поз. 1 на рис. 2) предназначено для разделения газовой и жидкостной полостей. Выбранная форма обеспечивает работоспособность РС при больших величинах осевых, радиальных и угловых деформаций. Уплотнение выполнено из бериллиевой бронзы БрБ2, что повышает надежность при больших деформациях фланцев. Для

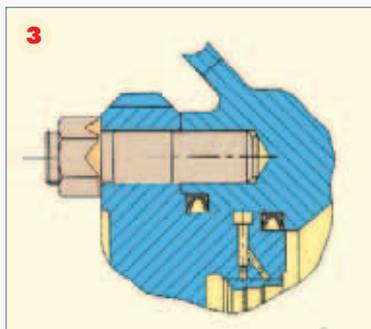


Рис. 5. Соединение насоса окислителя со статором турбины

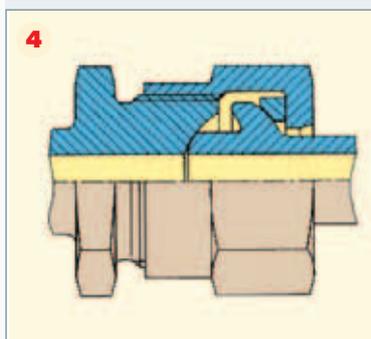


Рис. 6. Беспрокладочное сферическое соединение

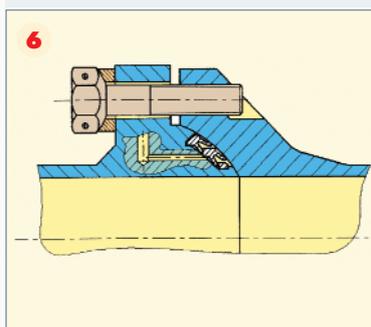


Рис. 7. Сферическое соединение с двухбарьерным МУУ

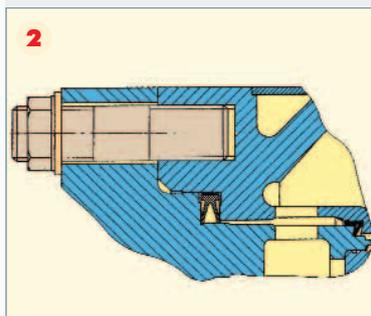


Рис. 8. Соединение головки с корпусом газогенератора

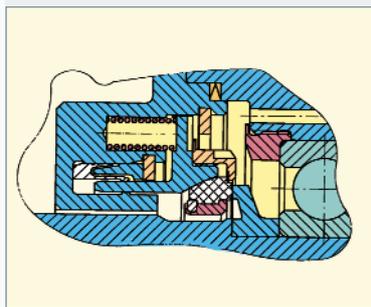


Рис. 9. Стояночное уплотнение кислородного насоса

предотвращения попадания горячих сепарированных частиц, имеющихся в газовом потоке, в зазор между деталями соединения и для организации завесы в уплотнении выполнены отверстия, через которые подается жидкий кислород. Внедрение такой конструкции исключило пожароопасные ситуации в этой теплонапряженной зоне ЖРД.

В конструкции РС, работающего при очень высоком давлении (120 МПа), применено упругое уплотнение К-образного сечения с удлиненными и утолщенными рессорами (поз. 2 и 3 на рис. 2). При разработке уплотнения проводились экспериментальные исследования характеристик упругости рессор при многоцикловом нагружении. С учетом полученных результатов при изготовлении уплотнения осуществлялось его предварительное обжатие (заневоливание) давлением, превышающим рабочее. Это позволило создать РС, работоспособное и герметичное при значительных расхождениях фланцев, которые в зоне уплотнения достигают величины 1 мм и более.

В аксиально-подвижных РС уплотнения должны удовлетворять требованиям обеспечения герметичности при минимальных сдвиговых усилиях. Асимметричная манжета с длинной и утолщенной внутренней рессорой используется как вторичное уплотнение в высоконагруженных агрегатах, подверженных значительным динамическим и вибрационным нагрузкам, например, в стояночном уплотнении кислородного насоса. Конфигурация этой манжеты обеспечивает ее работоспособность при существенно большем количестве циклов нагружения по сравнению с манжетой, имеющей симметричные рессоры.

Наряду с работами по МУУ исследовался новый тип торцевого стояночного уплотнения для работы в криогенных средах - импульсное уплотнение с саморегулирующимся зазором в несколько микрон. Это уплотнение позволяет резко уменьшить утечки рабочего компонента и повысить надежность двигателя. В качестве вторичного уплотнения в такой конструкции применена металлическая манжета, выполненная зацело с аксиально-подвижным ползуном.

Жесткие эксплуатационные условия, характерные для современных ЖРД многоразового использования, потребовали создания новых эластомерных материалов для уплотнений по линии горючего. В процессе исследований было установлено, что наиболее полно предъявляемым требованиям отвечает бутадииен-нитрильный каучук. Подбором наполнителей и пластификаторов были созданы топливостойкие марки резин с различными показателями твердости, скольжения, стойкости к воздействию низких и высоких температур. Такие резины обеспечивают работоспособность уплотнений и сохраняют эксплуатационную устойчивость в течение длительного времени хранения двигателя (до 20 лет).

Изложенный материал по научно-исследовательским, конструкторско-технологическим работам и опыту создания РС с упругими металлическими и эластомерными уплотнениями, обеспечивающими экстремальные условия эксплуатации ЖРД, может быть широко использован в разных отраслях промышленности.

# МЫ РАБОТАЕМ ДЛЯ РОССИИ

Александр Идин

В середине сентября прошла очередная встреча журналистов с академиком РАН, генеральным директором - генеральным конструктором НПО "Энергомаш" Борисом Ивановичем Каторгиним.



В самом начале встречи был задан вопрос о судьбе акций объединения. По словам Б. Каторгина, процесс акционирования, оказывается, не был завершен и акции не выпускались, следовательно их нет ни у кого в объединении (в том числе и у руководства). Разговор на эту тему быстро угас, и вопросы стали зада-

ваться о двигателях, создаваемых на предприятии, и специалистах, там работающих.

Не секрет, что НПО "Энергомаш" поставляет мощные жидкостные ракетные двигатели РД-171 для ракеты-носителя "Зенит" и РД-180 для американских ракет Atlas. На данный момент в Америку отправлено 16 двигателей, шесть из которых успешно отработали и позволили вывести на орбиту полезную нагрузку, причем сравнительно недавно, 17 июля, состоялся старт новой американской РН Atlas V. Еще шесть двигателей готовы к отправке. Всего по контракту предусмотрена поставка 50 двигателей, так что есть работа еще на несколько лет.

Ведущие сейчас переговоры о продаже Америке лицензии на производство ЖРД РД-180 вызывают тревогу у некоторых специалистов за обеспечение безопасности России. Основной (и далеко не единственный) аргумент сторонников продажи лицензии заключается в том, что на освоение производства ЖРД в США уйдут годы, а за полученные сейчас деньги конструкторы Энергомаша создадут новый, еще более совершенный двигатель. И вообще, пора понять, что безопасность страны обеспечивается, прежде всего, устойчивостью собственной экономики.

Кстати, после того как двигатель спроектирован, отработан и передан в серию, конструкторы и испытатели либо "отдыхают", либо начинают трудиться над новыми проектами. Первое очень опасно для сохранения творческого потенциала. Поэтому руководство НПО "Энергомаш" выбрало второй путь, и организовало работы сразу по нескольким направлениям.

Во-первых, продолжают испытания и доводка однокамерного двигателя РД-191. Изготовлено три двигателя и проведено десять испытаний (причем успешно с первого раза). Работа идет в соответствии с контрактом с ГКНПЦ им. М.В. Хруничева для установки РД-191 на новую ракету-носитель "Ангара". Сроки завершения работ по этому носителю постоянно сдвигаются "вправо", причиной

чему в первую очередь является крайне незначительное государственное финансирование. Практически в течение двух лет двигатель создается за счет собственных средств, но, несмотря на это, Б. Каторгин заверил, что двигатель будет доведен и "возможно даже будет подарен государству".

Во-вторых, ведется проектирование двигателя, способного работать на трехкомпонентном топливе. Ранее был разработан аналогичный двигатель для авиационно-космической системы "МАКС", и был осуществлен поиск оптимальной схемы смеси образования, проведена серия испытаний. Сейчас на экспериментальном образце проверяются новые идеи. Темпы работ по данному двигателю не столь велики, как хотелось бы, опять же из-за отсутствия финансирования.

В-третьих, разрабатывается разгонный блок РД-161 тягой 2 тс. Особенностью данного двигателя является то, что он будет работать на всех видах топлива, в том числе и синтетических.

Новые двигатели НПО "Энергомаш" создает не только самостоятельно, но и в содружестве с зарубежными компаниями. Для французских двигателестроителей выполнялись работы по отдельным элементам ЖРД и агрегатам автоматики. Сейчас совместно с КБХА, Центром Келдыша и французской фирмой SNECMA реализуется проект "Волга", предусматривающий проведение поисковых работ, связанных с определением облика двигателя, топливом для которого являются природный газ и кислород. Этот двигатель будет служить в течение 30-50 лет. С другой французской фирмой создается двигатель многократного использования.

Энергомаш открыл для себя и новую область приложения сил: совместно с нефтяниками осуществляются проекты, нацеленные на увеличение отдачи пластов и облегчение транспортирования нефти по трубопроводам.

И все же Космос - это самое главное. Работать в нем без двигателя невозможно, и приходится, прежде всего, совершенствовать сам двигатель. Раньше это делалось путем проб и ошибок. Произошла авария, сгорел двигатель, получили выговор, построили новый и пошли дальше, пока цель не будет достигнута. Теперь денег нет даже на безаварийную работу. Новые возможности появились благодаря использованию матема-



тического моделирования. Причем достигнута очень высокая степень сходимости расчетных данных с практическими результатами. Хотелось бы моделировать на компьютере работу двигателя "в целом", но из-за наличия отдельных нюансов сделать это совсем не просто. Как не просто создавать самые совершенные двигатели в условиях, когда не хватает квалифицированных рабочих, происходят перебои с поставками необходимых металлов, и даже необходимого качества керосин для проведения испытаний приходится... привозить из-за границы! Но все же работа продолжается. Есть даже программа по созданию космических лазеров мощностью порядка 2 МВт. Есть и другие задумки. 



## К ИСТОРИИ СОЗДАНИЯ ДВИГАТЕЛЯ ПЕРВОЙ СТУПЕНИ РАКЕТЫ-НОСИТЕЛЯ "ЭНЕРГИЯ"

**Вячеслав Рахманин**, главный специалист НПО "Энергомаш" имени академика В.П. Глушко, член-корреспондент Российской академии космонавтики им. К.Э. Циолковского, лауреат Государственной премии СССР, к.т.н.

Историка, изучающего какое-либо значительное событие, всегда интересует изначальная дата, истоки и побудительные причины происхождения этого события. Для определения начала работ по созданию любого технически сложного комплекса или агрегата, казалось бы, проще всего взять дату получения технического задания (ТЗ) на его разработку. Однако практика разработки ракетной техники показывает, что еще до составления ТЗ потенциальные разработчики проводят предварительные научно-исследовательские работы, результаты которых находят свое отражение в ТЗ. Однако и это нельзя считать за начало работ, поскольку этому этапу обычно предшествует период определения общего замысла всего ракетного комплекса. При этом определяются решаемые задачи и технические средства для их выполнения. В это время делаются первичные проектные и расчетные проработки, подыскиваются смежные ОКБ в партнеры для разработ-

15 ноября 2003 г. исполнится 15 лет со дня успешного запуска многоразовой космической системы в составе ракеты-носителя сверхтяжелого класса "Энергия" и космического самолета "Буран". И хотя пятнадцатилетие не принято считать юбилейной датой, такое событие заставляет его участников бросить ретроспективный взгляд и на само событие, и на предшествующую ему историю. Автор статьи был непосредственным участником большинства событий, происходящих в рамках разработки двигателя РД-170 для первой ступени ракеты-носителя "Энергия". Надо сказать, что в КБ Энергомаш одновременно разрабатывались два двигателя: РД-170 и РД-171, предназначенные для первых ступеней ракет-носителей (РН) "Энергия" и "Зенит". По замыслу идеолога их создания В.П. Глушко первая ступень РН "Зенит" должна была стать конструктивным аналогом бокового блока "А" РН "Энергия" и обеспечить летную отработку двигательной установки до начала летных испытаний РН "Энергия". В связи с этим оба двигателя РД-170 и РД-171 разрабатывались как близнецы-братья и имели одинаковые рабочие параметры и энергодинамические характеристики, отличия были лишь в местах крепления двигателей и величинах углов отклонения камер сгорания для управления полетом ракеты. Конструктивная аналогия позволяла вести стендовую отработку одного двигателя РД-171. Отработка РН "Зенит" должна была опережать летные испытания РН "Энергия".

Создание двигателей, ставших самыми мощными в мировой истории ракетостроения, оказалось и самым продолжительным в практике отечественного ракетного двигателестроения. Это было непростое, неоднозначно оцениваемое время, насыщенное огорчительными стендовыми авариями на первом периоде отработки. Постепенно неудачи сменялись более обнадеживающими результатами испытаний, и всё это увенчалось оглушительным успехом запусков ракет-носителей "Зенит" и "Энергия".

Человеческая память надолго сохраняет лишь наиболее яркие события. Обыденная, рутинная работа забывается достаточно быстро, хотя именно она составляет основную часть деятельности человека. Это стало дополнительным стимулом, побудившим рассказать о событиях, происшедших много лет назад, пока сохранились некоторые подробности грандиозной работы, проделанной в течение более десяти лет работниками КБ и завода "Энергомаш" с участием большого числа НИИ, КБ и заводов, входящих в состав нескольких министерств. К работам были привлечены академические институты и персонально ряд академиков и член-корреспондентов АН СССР и АН Украины.

На тему моей статьи существует несколько публикаций мемуарного характера. Наиболее полное и документированное изложение истории разработки двигателей РД-170 (РД-171) представлено в книге "Осуществление мечты", написанной В.Ф. Трофимовым, бывшим в годы разработки двигателей первым заместителем В.П. Радовского, главного конструктора КБ Энергомаш. Книга вышла в конце 2001 г. в издательстве "Машиностроение" тиражом 2000 экземпляров, вряд ли удовлетворившим всех интересующихся историей отечественной ракетной техники. Хотя и эта книга, и моя статья основываются на одних и тех же событиях, я постарался в своем повествовании дать авторский взгляд на их течение и привести некоторые факты, не вошедшие в книгу.

ки систем ракетного комплекса и проводится агитационно-лоббистская работа среди потенциальных заказчиков и высших государственных чиновников. Такова общая схема начальной стадии разработки ракетного комплекса, однако каждый конкретный случай имел свои индивидуальные особенности.

Автор много размышлял по поводу определения времени возникновения у В.П. Глушко замысла разработки унифицированных двигателей для космических ракет тяжелого и сверхтяжелого класса. В.П. Глушко на протяжении всей своей творческой жизни стремился к разработке двигателей и ракет, превышающих по своей мощности существовавшие на тот момент. Так, в 1932 г. он вел разработку ракеты с рекордной для того времени высотой полета 100 км - РЛА-100 с двигателем тягой 3000 кгс (самый мощный ЖРД в ту пору имел тягу 300 кгс). Затем, в августе 1956 г. В.П. Глушко предлагал С.П. Королеву приступить к разработке ракеты Р-8 с тягой

единичного двигателя 200 тс (тяга каждого из пяти двигателей у находившейся в разработке ракеты Р-7 составляла 76 тс). Спустя четыре года он сделал новые предложения - в феврале 1960 г. С.П. Королеву и в марте того же года М.К. Янгелю - о разработке космических ракет тяжелого класса Р-10 (суммарная тяга двигателей первой ступени 1960 тс) и сверхтяжелого класса Р-20 (суммарная тяга двигателей первой ступени 2800 тс). Для этих ракет Глушко брался разработать мощные ЖРД с использованием новейших для того времени научно-технических достижений. Однако эти предложения поддержки в ракетных ОКБ и у руководства отрасли не получили.

Последний, самый мощный импульс для зарождения своего замысла Глушко получил в июне 1962 г., когда возглавляемому им ОКБ-456 было отказано в участии в разработке двигателей для ракеты-носителя Н1. Отказано С.П. Королевым в представленном ОКБ-1 эскизном проекте на разработку этого сверхмощного носителя. Я убежден в правильности именно такой трактовки событий вопреки расхожему мнению об отказе самого Глушко от участия в разработке двигателей для Н1. Авторы последнего толкования, повторяемого людьми, которые не были знакомы с действительным ходом событий, следует искать среди "заинтересованных" лиц.

В подтверждение высказанного тезиса о причинах неучастия ОКБ-456 в разработке двигателей для Н1 автор располагает рядом неопровержимых фактов. При обсуждении характеристик и облика ракеты-носителя Н1 на заседаниях Совета главных конструкторов (СГК) в 1960-1961 гг. Глушко последовательно предлагал использовать различные варианты ракетного топлива: в качестве горючего - несимметричный диметилгидразин (НДМГ) в сочетании вначале с азотной кислотой, затем с жидким кислородом и, по его мнению, с наиболее перспективным во всех отношениях азотным тетраоксидом (АТ). Большинство членов СГК поддерживали эти предложения. Королев не возражал. ОКБ-1 последовательно, по мере поступления предложений Глушко, выдало в ОКБ-456 три технических задания, подписанных Королевым. В этих ТЗ предусматривалась разработка двигателей первой ступени Н1 на предложенных вариантах топлива. Следует уточнить, что на этапе обсуждения схемы ракеты и определения вида топлива Глушко был согласен с выбором тяги единичного двигателя в 150 тс. К выводу о целесообразности применения двигателей тягой порядка 600 тс и более он пришел несколько позже. Проектные материалы по разработке трех вариантов двигателей с использованием указанных топлив вошли в представленный в ОКБ-1 эскизный проект. Однако Королев выбрал четвертый вариант двигателя на кислородно-керосиновом топливе, ТЗ на который ОКБ-1 выдало в ОКБ-276 Н.Д. Кузнецова одновременно с выдачей задания в ОКБ-456. Подчеркну, одновременно, а не вынужденно (вопреки, повторюсь, бытующему мнению, что техзаданию Кузнецову, якобы, было выдано после отказа Глушко от разработки двигателей).

Решение, принятое в эскизном проекте С.П. Королевым и поддержанное Государственной экспертной комиссией во главе с М.В. Келдышем, глубоко огорчило Глушко. Но именно эта досада и послужила изначальным импульсом, который через годы реализовался в идее разработки мощного унифицированного двигателя, на базе которого и были созданы ракеты-носители "Зенит", "Энергия" и начаты работы по "Вулкану".

Дальнейшее развитие событий дает возможность объективно оценить результаты сделанного С.П. Королевым выбора топлива и разработчика двигателей первых трех ступеней РН Н1. Отвергнутый ОКБ-1 вариант двигателя на топливе АТ и НДМГ был использован в ОКБ-52 В.Н. Челомея для первой ступени РН "Протон", первый запуск которой был успешно осуществлен в июле 1965 г. (напомним, что по правительственному постановлению 1962 г. начало летных испытаний ракеты Н1 намечалось на 1965 г.). Как известно, первая и вторая попытки запустить РН Н1 в феврале и июле 1969 г. закончились авариями (об этом подробно было рассказано в журнале "Двигатель" за 1999 г.). И хотя Глушко критиковал схему и компоновку ракеты Н1, он не мог оставаться безучастным наблюдателем провала отечественной лунной программы. КБ Энергомаш (бывшее ОКБ-456) проводило многочисленные расчеты, на основе которых

Глушко предложил на первую ступень ракеты Н1 вместо двигателей НК-15 разработки ОКБ-276 установить двигатели первой ступени РН "Протон", переведя их на кислородно-керосиновое топливо. Однако это предложение было отклонено так же, как не было принято предложение использовать двигатели 8Д420 тягой 640 тс, разрабатываемые для РН УР-700, переведя их на кислородно-керосиновое топливо. Следующее предложение последовало в начале 1973 г. КБ Энергомаш разработало технический проект кислородно-керосинового двигателя 11Д120 тягой 600 тс, и Глушко предложил установить семь таких двигателей на первую ступень Н1 вместо тридцати НК-15. И вновь отказ. Глушко окончательно убедился, что разрабатываемые под его руководством двигатели несовместимы с ракетой, разработкой которой руководит В.П. Мишин.

К тому времени состоялись еще два аварийных запуска Н1. Проанализировав сложившуюся ситуацию, Глушко пришел к новой концепции создания космических ракет. Их основой, по его мнению, должны были стать мощные унифицированные двигатели-модули, набор разного количества которых позволял создавать космические ракеты любого класса, от легкого до сверхтяжелого. Столь революционный подход к созданию ракетной техники, сформулированный В.П. Глушко, опрокидывал привычную последовательность создания ракеты. Он отдаленно напоминал детскую игру, когда, используя различное количество одинаковых кубиков, можно получить различные сооружения. Основы такого подхода - через двигатель к ракете - были сформулированы Глушко в конце 1933 г., когда при переводе из ГДЛ в РНИИ ему пришлось определиться с дальнейшей специализацией. Молодой конструктор по его словам: *"выбрал то, с чего начинается ракетная техника, то, что лежит в её основе, определяя её возможности и лицо - ракетное двигателестроение"*.

Сформулировав основной принцип дальнейшей работы, Глушко приступил к его реализации. В КБ Энергомаш были проведены проектно-расчетные исследования и осенью 1973 г. состоялся расширенный научно-технический совет предприятия. Он продолжался три дня: в первый день был рассмотрен проект однокамерного кислородно-керосинового двигателя тягой более 600 тс, во второй день - проект четырехкамерного двигателя с теми же параметрами, третий день был посвящен обсуждению проектов и окончательному выбору варианта двигателя. В итоге выбрали четырехкамерный вариант, который позволял более полно использовать имевшееся технологическое оборудование и обеспечивал возможность применения методики автономной отработки узлов и агрегатов двигателя до их совместной доводки в составе двигателя. Выбранные предельно высокие параметры двигателя, главным образом его тяга (более 600 тс) и давление в камере сгорания (250 атм), вызвали волну критики от некоторых специалистов из отраслевых НИИ. Но Глушко считал, что ракетная техника должна постоянно прогрессировать, каждая новая разработка должна иметь более высокий уровень параметров по сравнению с предыдущими и не считал необходимым снижать выбранные характеристики проектируемого двигателя.

Уверенный в правильности выбранного пути, Глушко еще до получения каких-либо официальных документов, задававших разработку нового двигателя, развернул экспериментальную отработку отдельных фрагментов будущей конструкции. Автономная отработка элементов двигателя проводилась в КБ Энергомаш на специально спроектированных в 1973-1975 гг. стендовых модельных установках. УК-1 и УК-2 предназначались для огневых испытаний узлов и агрегатов общедвигательного назначения, 2УКС - для отработки внутрикамерных процессов, 3УК и 6УК - для отработки газогенератора и турбонасосного агрегата (ТНА). При проектировании и изготовлении модельных установок широко использовались элементы двигателя 15Д168, который производился серийно заводом Энергомаш для первой ступени боевой ракеты разработки КБ "Южное" (Днепропетровск). Огневые испытания установок УК производились в 1974-1980 гг.

После назначения в мае 1974 г. Глушко директором и генеральным конструктором НПО "Энергия", в которое вошли

Министр общего машиностроения  
С.А.Афанасьев и В.П. Глушко



ЦКБЭМ (бывшее ОКБ-1) и КБ Энергомаш с их заводами и филиалами, отработка двигателя приняла более целенаправленный характер. В феврале 1976 г. вышло правительственное постановление, предусматривавшее разработку ракеты-носителя, которая впоследствии получила наименование "Энергия". В декабре 1977 г. КБ Энергомаш получило техническое задание на разработку двигателя первой ступени для этой ракеты.

Сохраняя верность принципу "от двигателя - к ракете", Глушко предложил главному конструктору КБ "Южное" В.Ф. Уткину с опережением по сравнению со сроками разработки сверхтяжелой ракеты-носителя "Энергия" (четыре двигателя РД-170 на первой ступени) создать ракету-носитель среднего класса "Зенит" с одним двигателем первой ступени РД-171, аналогичным по своим характеристикам двигателю РД-170. Постановление на разработку РН "Зенит" вышло в марте 1976 г., а ТЗ на разработку двигателя РД-171 было выдано в октябре 1977 г.

Поскольку требования ТЗ формулировались с учетом предварительной проработки характеристик двигателя в КБ Энергомаш и результатов стендовых испытаний установок УК, выпуск конструкторской документации и изготовление первых экспериментальных двигателей были закончены довольно быстро. Уже в августе 1980 г. состоялось первое огневое испытание РД-171. Закончилось оно аварией, причем выяснилось, что если при авариях "азотнокислотных" двигателей разрушение или прогар агрегата двигателя обычно носит локальный характер, то у "кислородных" двигателей разрушается и выгорает не только узел, послуживший причиной аварии, но и расположенные рядом агрегаты. Анализ записей изменения параметров испытаний и остатки матчасти двигателя свидетельствовали, что начало аварийного разрушения и очаг горения локализовались где-то в ТНА. Последний состоит из множества высоконагруженных деталей, разрушение которых может стать причиной возгорания, а наличие большого количества кислорода создает возможность выгорания больших масс металлоконструкций.

Аварийные исходы испытаний двигателей фиксировались с регулярностью, необычной для практики отработки двигателей в КБ Энергомаш. И еще одна особенность: весь предыдущий опыт доводки двигателей был связан с отработкой устойчивости рабочего процесса в камере сгорания. На этот раз устойчивость и экономичность удалось отработать на модельных установках УК. У двигателей РД-170 (РД-171) выявился совершенно новый дефект - неработоспособность ТНА. К быстрому устранению дефекта разработчики этого агрегата оказались не готовы. Все изменения, вносимые в конструкцию ТНА, не давали положительных результатов. Полоса аварийных испытаний двигателей затянулась, ряд специалистов отраслевых институтов (НИИТП, ЦНИИМаш и ЦИАМ) высказывали сомнение в принципиальной возможности создания ТНА требуе-

мой мощности (мощность турбины ТНА двигателя РД-170 составляет 250 000 л.с., что соизмеримо с мощностью Днепровской ГЭС и превышает мощность энергетических установок всего атомного флота СССР).

Создавшаяся ситуация породила раскол среди специалистов КБ и завода Энергомаш в вопросе выбора конструкции двигателя, главным образом в отношении его мощности. Некоторые видели выход из тупикового, по их мнению, положения в разработке двигателя с ТНА меньшей мощности. А для этого следовало, по их терминологии, "четвертовать" двигатель, т.е. вместо одного четырехкамерного ЖРД с одним ТНА на первую ступень ракеты устанавливать четыре однокамерных двигателя с собственными ТНА, имеющими четверо меньшую мощность. Такое предложение в форме докладной записки было направлено главному конструктору КБ Энергомаш В.П. Радовскому, который сразу же ознакомил с её содержанием В.П. Глушко, так как в случае реализации идеи пришлось бы изменять компоновочную схему РН "Энергия". Генеральный конструктор РН "Энергия" к предложению отнесся резко отрицательно, увидев в применении многодвигательной схемы возвращение к схеме Н1, технические пороки которой привели к закрытию отечественного лунного проекта. Однако о поданной докладной записке стало известно министру общего машиностроения С.А. Афанасьеву, который поручил работникам службы безопасности КБ Энергомаш изъять докладную из сейфа главного конструктора В.П. Радовского и доставить её в министерство. Надо сказать, что С.А. Афанасьев очень болезненно воспринимал аварийные результаты испытаний двигателей РД-171. Он постоянно подчеркивал, что надежно работающие двигатели РД-170 (171) не только обеспечат создание РН "Энергия" и "Зенит", но и станут фундаментом всей космической программы СССР на долгие годы. *"Руководство страны не позволит повторить бесплодный опыт разработки Н1"*, - считал он. Неудача с РН "Энергия" оказалось бы провалом второго грандиозного проекта в министерстве, которое Афанасьев возглавлял к тому моменту уже более 15 лет. Это был бы удар не только по престижу страны как великой космической державы, но и по авторитету лично Афанасьева как главного организатора ракетно-космической промышленности в СССР. В этой обстановке министр видел выход в дублировании работ по созданию двигателя для РН "Энергия", в подстраховке на случай неудачи с разработкой основного варианта. Предложенное в докладной записке "четвертование" двигателя РД-170 фактически означало создание двигателя тягой 185 тс, т.е. аналога отработанного к тому времени в авиационном ОКБ-276 Н.Д. Кузнецова двигателя НК-33, предназначенного для первой ступени Н1. Успешное завершение доводки НК-33 вселяло уверенность в возможности благополучного разрешения проблем и с двигателями для РН "Энергия". Создание резервного варианта при осуществлении сложной технической задачи является вполне допустимым решением, но при этом необходимо обеспечить взаимозаменяемость основного и резервного варианта. А это условие при "четвертовании" двигателя РД-170 применительно к схеме РН "Энергия" не соблюдалось.

Однако соблазн выхода из тупикового, по мнению некоторых специалистов, положения путем использования четырех двигателей вместо одного был очень велик. В этом спустя много лет признался главный конструктор комплекса "Энергия", заместитель генерального конструктора НПО "Энергия" Б.И. Губанов. На одном из заседаний секции истории авиации и космонавтики в Институте истории естествознания и техники он рассказал, что в ту пору в тайне от Глушко он летал в Куйбышев к Н.Д. Кузнецову и оговаривал возможность поставки двигателей НК-33 для РН "Энергия". Н.Д. Кузнецов поставку двигателей связал с выполнением ряда условий. Первым среди них была полная техническая и моральная реабилитация деятельности возглавляемого им ОКБ-276 при создании двигателей для Н1. Поскольку визит Губанова носил только "разведывательный" характер, то последствий он не имел. Но этот эпизод свидетельствует об остроте создавшейся ситуации и образе мыслей ближайших сотрудников Глушко.

(Продолжение в следующем номере.)

# ВЫДАЮЩИЙСЯ КОНСТРУКТОР И ОРГАНИЗАТОР



За полтора десятка сложнейших послевоенных лет в нашей стране была создана новая ракетно-космическая отрасль, ставшая основой для нового вида Вооруженных Сил - ракетных войск стратегического назначения. Наши успехи в области ракетно-космической техники, достигнутые в 1946-1961 гг., были бы невозможны без той уникальной нравственной обстановки, которую сумели создать в своих коллективах главные конструкторы. Люди, перенесшие войну, работали самоотверженно, сделав своим девизом слово "НАДО", задавая общий тон и являясь ярким примером для молодых коллег.

**Марат Сирачев, К.Т.Н.**

Алексей Михайлович Исаев, впоследствии доктор технических наук, Герой Социалистического Труда, лауреат Ленинской и Государственной премий, начал заниматься разработкой жидкостных ракетных двигателей (ЖРД) в 1942 г. В 1944 г. его назначили главным конструктором конструкторского бюро ОКБ-2, и уже к началу 50-х годов Алексею Михайловичу удалось сформировать сплоченный коллектив единомышленников, разработавший основополагающие принципы создания ЖРД, двигательных установок (ДУ) и их агрегатов.

Алексей Михайлович умел найти подход к сотрудникам, пробудить в них талант конструктора, технолога, производственника, испытателя, заинтересовать в выполнении общего дела, сделав участниками общего успеха. Он информировал весь коллектив, вплоть до техника, о состоянии разработок, ходе испытаний и неудачах, вовлекая всех в сложнейший творческий процесс создания новой техники. Двери кабинета главного были всегда открыты для сотрудников, докладчики в присутствии своих коллег выступали кратко, емко и содержательно. На совещаниях А.М. Исаев терпеливо выслушивал соображения собравшихся, требовал уточнений, вариантов предложений. Поражали ясность его мышления и умение сразу схватить, оценить предложение и высказать свое мнение. Иногда решения принимались им лично. Так, например, после очередного взрыва камеры сгорания (КС) ЖРД для межконтинентальной крылатой ракеты "Буря" конструкции С.А. Лавочкина Алексей Михайлович, несмотря на возражение своих сотрудников, заменил керосин на горючее "тонка", что позволило за три года создать более надежный и экономичный двигатель.

Творческий путь А.М. Исаева и его коллектива был усыпан не только розами, случались и неудачи. Недовольство руководства Алексей Михайлович брал на себя, защищая подчиненных. Приехав на работу после неудач, шел в КБ, и, никогда не устраивая громких разносов (лишь изредка очень вежливо и едко отмечая промах), садился рядом с конструктором часто уже с эскизом доработки и изменения. После обсуждения изменения воплощались в чертежи и реальные конструкции, при этом Алексей Михайлович бдительно следил, чтобы его указания выполнялись неукоснительно и быстро.

Характерная черта работы А.М. Исаева и коллектива ОКБ-2 - стремление создавать надежные ЖРД и ДУ. Выбирались наиболее рациональные решения принципиального характера, агрега-

ты проектировались и отрабатывались с параметрами, на 10...15 % превышавшими требования технического задания (ТЗ). Уже первые образцы изделий испытывались с максимально возможным воспроизведением натуральных условий их работы, проводились многократные доработки, а ЖРД зачастую испытывался по несколько раз до окончательного разрушения. Неоценимую помощь во внедрении новых технологий вносили производственники, стараясь быстро и с наименьшими затратами осуществить замыслы конструкторов, подсказывая наиболее простые решения. Все эти мероприятия обеспечивали определенный запас работоспособности изделий КБ и, сохранившись в дальнейших разработках, полностью оправдали себя. Так, например, при испытании кислородно-водородного ЖРД 11Д56 по ошибке оператора двигатель не задросселировали, а вывели на "сверхфорсированный" режим, и он нормально отработал в течение 100 с при уровне тяги, составлявшем 140 % номинального.

Качественной отработке ЖРД и ДУ способствовало постоянное развитие и совершенствование экспериментальной базы силами подразделения В.Г. Ефремова. К сдаточным испытаниям мы подходили с изделиями, уже отработанными при работе в усложненных условиях, экономия матчасти и сокращая сроки отработки.

При авариях ракет, ракет-носителей и космических аппаратов причину (даже если к работе ЖРД не было официальных претензий) в первую очередь искали у себя, не перекладывая вину на смежников. Анализировались все возможные причины возникновения аварий, и по наиболее вероятным из них проводились доработки, предупреждающие потенциально возможные дефекты. Все делалось по-деловому и быстро, с пониманием важности и необходимости такой работы.

А.М. Исаев был общительным, высококультурным, всесторонне развитым человеком. Особо следует отметить великолепный артистизм, его прекрасную мимику и исключительно грамотную речь. Определения Алексея Михайловича "кислый" и "сладкий" газ (с избытком окислителя и горючего) прочно вошли в лексику отрасли. Деталь, соединяющую турбину с камерой сгорания, он иронично называл "дружкой", так как конструкторы отделов КС и ТНА (турбонасосных агрегатов) не хотели вводить ее в свои узлы.

Он любил юмор и музыку, был корреспондентом стенной газеты. Принимал непосредственное участие в работах на субботниках

и воскресниках по освоению территории, выделенной его коллективу. Обедал он в общей столовой в порядке общей очереди. Правда, работники столовой, когда Алексей Михайлович появлялся в зале, принимали меры, чтобы очередь двигалась быстро.

Алексей Михайлович умел отдыхать в коллективе. По его инициативе группа энтузиастов выпустила документацию на байдарки и изготовила их. Весной на майские праздники, прихватив 2-3 дня за свой счет, собрались человек 30-40 вместе с семьями и отправлялись в поход по рекам Подмосквья. Капитаном похода, как правило, назначался А.В. Флеров - очень интересный, увлеченный, веселый человек, который решал многие организационные вопросы. Алексей Михайлович оставался "в тени", был рядовым байдарочником, выполняя все наряды и прочие обязанности.

У костра его обычно просили спеть, и он пел про "Семена-пролетария". В 60 лет вернулся к еще одному увлечению молодости - купил мотоцикл и стал ездить на нем на работу, хотя была служебная машина. Правда, супруга и руководство вскоре добились, чтобы поездки на мотоцикле прекратились.

А.М. Исаев был очень доброжелателен, по-отечески относился к молодым, только что пришедшим в ОКБ-2 выпускникам вузов. Общаясь с Алексеем Михайловичем, мы всегда ощущали его дружеское внимание. Приятно удивляло и импонировало товарищеское отношение к людям, занятым одним общим и очень интересным делом. У Алексея Михайловича была поразительная память. Иногда он даже подшучивал над В.Н. Богомоловым, предлагая вспомнить имя и отчество кого-либо из начальников, смежников или сотрудников.

Очень хорошие дружеские отношения были у А.М. Исаева с главными конструкторами А.М. Люлька, С.А. Лавочкиным, А.Я. Березняком, П.Д. Грушиным, В.П. Макеевым, М.К. Янгелем, Г.Н. Бабакиным, М.Ф. Решетневым, Д.И. Козловым. Алексей Михайлович щедро делился своими разработками с КБ, начинаящими свой путь в области создания ЖРД. Так, С.А. Косбергу он передал двухкамерный ЖРД с возможностью снижения тяги в 4 раза для системы "Даль", а Мейвиусу - ряд разработок для ракетных систем, создававшихся в КБ П.Д. Грушина.

На совместной работе А.М. Исаева и С.П. Королева, связанной с осуществлением первого в мире пилотируемого космического полета Ю.А. Гагарина, хотелось бы остановиться более подробно. Одной из наиболее сложных проблем в то время был спуск с орбиты пилотируемого корабля и его посадка в заданное время в заданном месте. Требовалось создать тормозную двигательную установку (ТДУ), обладающую при минимальном весе высочайшей надежностью и обеспечивающую запуск двигателя в условиях открытого космоса.

Первоначально планировалось использование в ТДУ ракетного двигателя на твердом топливе, однако задержки в создании такой ТДУ вскоре поставили намеченные сроки осуществления первого пилотируемого полета под угрозу срыва. Тогда Сергей Павлович Королев обратился к Алексею Михайловичу с просьбой создать ТДУ на базе ЖРД за полтора года. Столь необычное, сложное и почетное задание А.М. Исаеву пришлось по душе, и он решил принять ТЗ на разработку ТДУ на топливе ТГ-02 ("тонка") и окислителе АК-27И.

Однако и С.П. Королев, и А.М. Исаев прекрасно понимали, что для успешного решения столь ответственной задачи за столь короткое время было недостаточно простого директивного распоряжения о создании ТДУ. Требовалось увлечь всех участников

предстоящей работы. И вот тут в очередной раз проявился организаторский талант двух главных конструкторов. Они столь артистично провели подготовку к официальному принятию ТЗ на разработку ТДУ, что сотрудники ОКБ-2 не только приняли его, но и стали считать создание ТДУ делом своей чести. Вспоминается, в частности, такой эпизод. С.П. Королев задал массу ТДУ в 100 кг, а ОКБ-2 доказывало, что нужно не менее 125 кг. Тогда в процессе рабочего обсуждения проекта ТЗ оба главных конструктора без лукавства разыграли своеобразную сценку. В ходе обсуждения они стали выяснять, можно ли создать ТДУ с массой меньшей, чем у самого Исаева. Забавный спор заставил разработчиков ОКБ-2 расслабиться, и вскоре они согласились с требованием ограничить массу ТДУ 105-ю килограммами (именно столько показывала стрелка весов, когда на них становился А.М. Исаев).



Двигательная установка АМС "Венера-1"

Работа над ТДУ в ОКБ-2 закипела. Ведущим проектантом назначили В.С. Варенникова, ведущим конструктором - Н.Г. Скоробогатова, позднее в качестве руководителя комплексной группы в работу включился А.А. Толстов. Были приняты меры, направленные на повышение ответственности каждого участника работы над ТДУ; особенно это касалось конструкторов. Первоначально баки ТДУ разрабатывались в ОКБ-1 у С.П. Королева, однако вскоре выяс-

нилось, что это не лучший вариант разделения работ между КБ. После этого разработку ТДУ полностью передали в ОКБ-2. Для использования в составе ТДУ были доработаны уже проверенные ранее узлы и агрегаты, созданы новые элементы ЖРД (принятые при этом решения послужили основой для более чем 20 изобретений).

Серьезные проблемы возникли при отработке надежного запуска ДУ с ЖРД в условиях открытого космоса. После заправки в баках остаются газовые подушки, и, учитывая непредсказуемость положения газа в жидкости в условиях невесомости, нельзя было исключить возможности нештатной работы КС при запуске ЖРД вследствие попадания в нее газовых пузырей. Пришлось для разделения газовых и жидкостных областей в баках установить эластичные герметичные мешки, надув которых перед запуском двигателя обеспечивал подачу топлива и окислителя в ЖРД. После принятия такого принципиального схемного решения начался сложный поиск материала для эластичных мешков. Нужную пленку все-таки нашли, и непростой вопрос подачи компонентов топлива в ЖРД в условиях невесомости был успешно решен. Однако оставалась проблема обеспечения гарантированного запуска двигателя в космическом вакууме. Конструкторы ОКБ-2 к тому времени уже сталкивались со случаями взрывов двигателей при запуске в разреженной атмосфере при низкой температуре. В частности, такой инцидент произошел при отработке ракеты Г-300, разработанной в КБ С.А. Лавочкина. Чтобы обеспечить нормальные условия для запуска ЖРД в космосе от вакуума в КС решили избавиться. Для этого ее закрыли отбрасываемой в процессе запуска давлением газов герметичной заглушкой и организовали надув КС. Устойчивый запуск ТДУ в полете был обеспечен.



Тормозная двигательная установка космического корабля "Восток"

Немало трудностей пришлось преодолеть и с турбонасосным агрегатом. По предложению В.Ф. Чебаевского для повышения антикавитационных характеристик насосов перед ними установили шнеки, которые позволили увеличить "освоенное" число оборотов ТНА вдвое, до 40 000 об/мин. Однако

возникла новая проблема: в потоке компонента перед шнеком образовывался вихрь. Потребовались новые доработки, затронувшие в числе других узлов и корпус ТНА (его сделали сварным). В конечном итоге проведенные мероприятия позволили уменьшить массу ТНА с 16 до 7 кг.

Перед отправкой ТДУ на летные испытания на стендах ОКБ-2 по специальной программе были испытаны несколько установок, все испытания прошли успешно. За месяц до старта первого пилотируемого корабля на полигон выехала бригада от ОКБ-2. Стартовая площадка ракеты Р-7 поражала колоссальными фермами стартовой системы и чудовищными размерами (глубиной с пятиэтажный дом и площадью футбольной арены Лужников) котлована для отвода продуктов сгорания работающих ЖРД первой ступени ракеты.

Через некоторое время приехали А.М. Исаев и Н.Г. Скоробогатов. Накануне старта подписали необходимые документы; Алексей Михайлович присутствовал на заседании Государственной комиссии, определившей Ю.А. Гагарина первым космонавтом планеты. Ранним утром выехали на площадку, где собралось руководство и работала громкая связь Ю.А. Гагарина с С.П. Королевым. Все очень волновались.

Звучит в динамиках историческое "Поехали!". Ракета как-то нехотя, тяжело поднимается, затем, оставляя инверсионный след, все более и более разгоняется и, наконец, скрывается из глаз. Все затропились к монтажно-испытательному корпусу, вблизи которого на площадке находилось небольшое здание со специальной связью. Громкоговоритель передавал сообщение ТАСС о полете. И вот для конструкторов ОКБ-2 наступил ответственный момент - должна заработать ТДУ. Связь прекратилась (так и должно быть при работе ТДУ). Все замерли. После бесконечной паузы связь возобновилась. Это означало, что ТДУ сработала нормально, и космический аппарат находится на траектории спуска. Все закончилось успешно.

Перечислить все то, что создал коллектив ОКБ-2 под руководством своего главного конструктора и при его личном участии, невозможно. Алексей Михайлович занимался широким спектром проблем. Работы велись в направлении создания как ЖРД на высококипящих компонентах топлива, так и на низкокипящих; применялись разные системы его подачи. Разработанные ЖРД обеспечивали огромный диапазон тяг: от 0,005 до 75 тс, при этом энергетические характеристики некоторых двигателей были выше мировых. Изделия ОКБ-2 были надежны, просты в обслуживании и эксплуатации.

Коллектив ОКБ-2 (ныне это ФГУП "КБ Химмаш им. А.М. Исаева") к настоящему времени создал около 120 двигателей и двигательных установок, из них 40 эксплуатируются и сегодня. Двигатели и ДУ, спроектированные в ОКБ-2, работали и продолжают работать на ракетах и ракетах-носителях различного базирования, космических аппаратах и пилотируемых кораблях. Под руководством А.М. Исаева была показана



Космические проблемы приходится решать на Земле

возможность использования ЖРД и для бурения горных пород.

В процессе работ со столь широкой номенклатурой изделий было реализовано много новинок, обеспечивших надежную и устойчивую работу двигателей и ДУ, в том числе плоская головка КС; сварные оболочки КС без компенсаторов; антипульсационный крест в головке, разделяющей объем КС на несколько отдельных полостей; цельносварные соединения трубопроводов, корпусов агрегатов, двигателей и ДУ.

При этом были созданы:

- самый мощный в начале 50-х годов ЖРД на высококипящих компонентах тягой 68 тс, предназначенный для ускорителей межконтинентальной крылатой ракеты "Буря" и получивший высокую оценку М.В. Келдыша. Правда, ОКБ-2 не удалось своевременно его отработать до требуемого уровня надежности, и одна "Буря" была потеряна из-за отказа разработанного ЖРД;
- ЖРД с ТНА тягой до 2,0 тс;
- ЖРД "замкнутой" схемы тягой 25 тс на высококипящих компонентах;
- один из двух первых отечественных кислородно-водородных ЖРД типа 1Д56 тягой 7,5 тс.

В памяти тех, кто работал вместе с А.М. Исаевым, навсегда останется светлый образ выдающегося конструктора, талантливого организатора, вдохновенного творческого человека, смело воплощавшего свои замыслы в практику ракетостроения. Особые заслуги Алексея Михайловича Исаева в области ракетно-космической техники отмечены присвоением его имени одному из кратеров на поверхности Луны. **П**

**ЮБИЛЕЙ**



**29 ноября 2003 г.** исполняется 60 лет генеральному конструктору - генеральному директору ФГУП "КБ Химмаш им. А.М. Исаева" Евгению Петровичу Селезневу.

Сразу же после окончания МВТУ им. Н.Э. Баумана в 1966 г. он активно приступил к работам по созданию ЖРД различного назначения. Более 20 жидкостных ракетных двигателей и двигательных установок для космической и ракетной техники было создано при непосредственном участии Евгения Петровича, а разработка двигателей малой тяги и некоторых ЖРД (в том числе кислородно-водородного двигателя КВД1) была осуществлена под его руководством.

Стремление к достижению совершенства позволило Е.П. Селезневу стать автором 22 изобретений. Ему присвоено звание "Заслуженный конструктор Российской Федерации".

Редакция журнала поздравляет Евгения Петровича с Днем рождения и желает крепкого здоровья, счастья, плодотворной деятельности и благо Родины. **П**

# ВИБРОАКТИВНОСТЬ И ВИБРОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ТУРБОНАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ ЖРД

Валентин Шерстянников, лауреат премии имени Н.Е. Жуковского, д.т.н.

Одной из ключевых проблем при создании мощных ЖРД явилась высокая виброактивность турбонасосных агрегатов (ТНА), приводящая к разрушениям и разгарам элементов их конструкции. Решение этой проблемы потребовало от ОКБ и НИИ проведения большого объема научно-исследовательских работ, включавших создание специальных экспериментальных установок и разработку новых методов доводки ТНА.

В настоящей статье приведены результаты исследования вибрационно-пульсационных процессов в высоконапорных ТНА на установившихся и переходных режимах, в том числе при воздействии вынужденных колебательных перегрузок, имитирующих механические перегрузки при работе двигателя в составе ракеты.

## 1. Виброактивность ТНА ЖРД

### 1.1. Пульсации давления, создаваемые насосами

Центробежные насосы, как и другие лопаточные машины, из-за конечного числа лопаток и отрывных течений порождают интенсивные пульсации давления в собственных трактах и в подключенных к ним гидромагистралях. Степень интенсивности пульсации зависит от геометрических параметров насосов, уровня давлений, степени отклонения режима от расчетного, кратности чисел лопаток ротора и статора и от других факторов. К особому виду низкочастотных пульсаций давления, порождаемых насосами, относятся кавитационные и помпажные автоколебания, обусловленные сжимаемостью рабочего тела и неблагоприятным протеканием средних характеристик элементов. Опыт показывает, что повышенные пульсации давления в системах подачи топлива ЖРД неблагоприятно влияют на следующие важные характеристики двигателей:

- устойчивость рабочего процесса в огневых агрегатах;
- точность работы систем регулирования;
- усталостную прочность элементов конструкции, в частности, лопаток, шнеков и вспомогательных трубопроводов;
- динамические нагрузки роторов и опор ТНА.

Поэтому при проектировании двигателей и их систем желательно знать закономерности возникновения и распространения пульсации в топливных трактах и иметь информацию об их интенсивности и спектральном составе. Некоторые из этих вопросов, касающихся главным образом методики определения и анализа параметров пульсаций и вибраций в высоконапорных турбонасосных системах подачи топлива ЖРД, рассматриваются ниже.

Исследовались высоконапорные шнекоцентробежные насосы в составе ТНА. Насосы выполнены с двухзаходными шнеками и крыльчатками закрытого типа при относительных диаметрах входа  $d_1 = D_1/D_2 = 0,45...0,8$ .

Насосы были оборудованы малоинерционными датчиками. Для кино съемки потока на выходе из колеса в корпусе спирального отвода насосов были установлены прозрачные профилированные вставки. Для записи давлений использовались датчики со вторичной аппаратурой, рассчитанной на частотный диапазон до 6000 Гц.

Пульсационное состояние потока в насосах исследовано на различных участках напорных характеристик насосов по параметру  $Q/\eta$  в широком диапазоне значений давлений на входе. Испытания проводились на воде при различных сопротивлениях сети. Раскрутка насосов осуществлялась турбиной, работающей от пневмостартера. Исследования показали,

что параметры пульсаций давлений на входе и выходе насосов сильно зависят от режимов их работы. На большинстве режимов, исключая кавитационные и срывные, зависимость амплитуд пульсаций от частоты вращения ротора насоса примерно квадратичная, а зависимость частоты пульсаций от того же параметра примерно линейная (рис. 1)

$$a_n \sim n^2, f \sim z \cdot n,$$

где  $z$  - число лопаток шнека или рабочего колеса насоса.

Вследствие такой закономерности интенсивность пульсаций на выходе насосов существенно возрастает с ростом напорности и частоты вращения. Однако, поскольку абсолютный уровень давления за насосами также является примерно пропорциональным квадрату частоты вращения, то относительные значения амплитуд пульсаций в напорных магистралях оказываются для различных режимов работы по частоте вращения приблизительно одинаковыми

$$a_n = a_n/P_{\text{Вых}} \sim \text{const.}$$

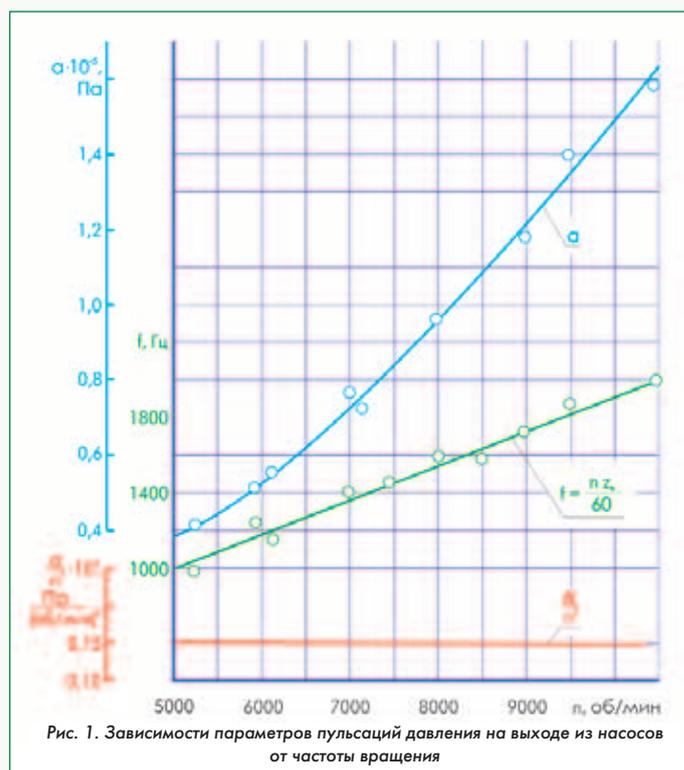


Рис. 1. Зависимости параметров пульсаций давления на выходе из насосов от частоты вращения

В проведенной серии опытов на рассматриваемых бескавитационных режимах основные частоты пульсаций были кратны числу лопаток шнека и колеса и лежали в диапазоне 160...1680 Гц.

Характерно, что основная роторная частота (при  $z = 1$ ) в спектре пульсаций заметно не проявляется. Относительные величины амплитуд составляют соответственно 2...12 % на входе и 1,2...4 % на выходе. Такой порядок значений относительных амплитуд пульсаций давления является вообще характерным для насосов ЖРД на нормальных рабочих режимах.

На срывных режимах с очень малыми и очень большими расходами (при очень малых и больших значениях параметра  $Q/n$ ) рассмотренные выше закономерности для амплитуд пульсаций давления на входе и выходе насоса нарушаются: их величины резко возрастают при неизменной частоте вращения ротора насоса.

Пульсации, создаваемые лопатками рабочего колеса, передаются на вход в широком диапазоне режимов работы насоса как при интенсивных обратных токах, возникающих на глубоком дроссельном режиме (при  $Q/n = 0,1$ ), так и при больших значениях расхода (при  $Q/n = 1,4$ ). При этом записи пульсаций давления на входе в насос имеют вид регулярных колебаний. Сопоставление записей, полученных по трем датчикам, установленным в одном сечении под углом  $120^\circ$  друг к другу, показывает идентичность регистрируемых процессов и отсутствие значительных сдвигов фаз колебаний в зоне действия обратных токов. Наиболее интенсивные обратные токи во входном канале фиксируются киносъемкой на глубоком дроссельном режиме.

На режиме развитого срыва напора насоса, соответствующего срывной ветви характеристики, в диффузоре спирального отвода возникает отрыв потока в критическом сечении. Непосредственные измерения показывают, что на этом режиме диффузор является источником интенсивных нерегулярных пульсаций давления. При снижении давления в диффузоре до величины, близкой к давлению упругости пара (режим полного срыва напора), пульсации давления за насосом прекращаются. Однако их интенсивность в тракте до критического сечения диффузора сохраняется на высоком уровне. Проведенная киносъемка показала, что при работе на расчетном режиме канал диффузора является "прозрачным" и не имеет следов кавитации, а на срывных режимах канал диффузора вследствие развитой кавитации заполнен двухфазным потоком.

Исследование пульсации давления в трубке Вентури (модели диффузора) показало, что при уровне давлений, исключающем наличие развитой кавитации, амплитуды пульсации давления на выходе увеличиваются пропорционально квадрату скорости течения, а частоты срыва каверн примерно соответствуют частотам пульсаций давления.

На режимах с регулярным отрывом вихрей частота срыва вихрей определяется известной зависимостью

$$f = Sh(c/d),$$

где  $f$  - частота срыва вихрей;

$Sh$  - число Струхала;

$c$  - скорость потока;

$d$  - диаметр цилиндра.

Исследования пульсаций давления, возникающих при обтекании круглого цилиндра потоком воды в прямолинейном канале, показали, что регистрируемые частоты пульсаций давления также близки к частотам срыва вихрей, определяемым по кадрам скоростной киносъемки. При этом число Струхала, взятое по скорости потока в живом сечении канала (с учетом загромождения его цилиндром), равно 0,2.

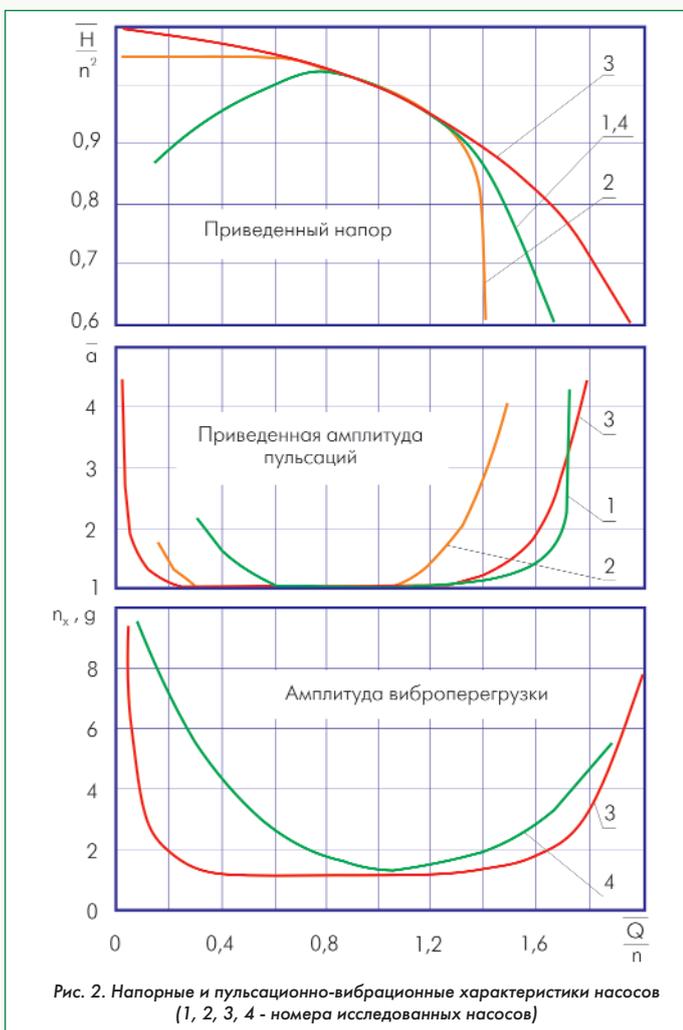
На кавитационных режимах насоса, вызываемых снижением давления на входе в насос, регистрируются низкочастотные ( $f = 3...5$  Гц) колебания давлений, которые с понижением давления уменьшают свою частоту и переходят в интенсивные пульсации давления с резкими пиками, существенно повышающими амплитуду колебаний на бескавитационных режимах. Наличие пиков давления связано с процессами развития и смыкания кавитационных каверн в периферийной области шнека. Эти пики давления, регистрируемые непосредственно у лопаток шнека на режимах частичной кавитации, являются одной из причин наблюдаемых на практике поломок лопаток шнека.

Интенсивные пульсации давления в трактах насосов вызывают сильные вибрации их конструкции. Уровень виброперегрузок, регистрируемых на корпусе насосов на нерасчетных режимах, примерно в 3...4 раза выше, чем на расчетном режиме с минимальными пульсациями давления.

Впервые с позиций ограничения уровня вибраций элементов конструкции двигателя и снижения амплитуд пульсаций давления в системе подачи топлива было проведено детальное исследование вибрационно-пульсационных процессов, свойственных ЖРД. Экспериментальным путем были определены зависимости амплитуд и частот этих процессов от параметров режима работы ТНА и характеристик системы топливоподачи двигателей (рис. 2). Выявлены характерные закономерности резкого усиления интенсивности пульсаций давления жидкости и вибраций элементов конструкции насоса при выходе параметров подбора режимов работы насосов  $Q/n$  за некоторые критические пределы. При этом в области дроссельных режимов пульсации усиливаются вследствие срыва потока при больших углах атаки на входе в шнеки, а в области больших расходов - из-за отрыва потока от стенок канала вблизи спирального отвода.

Полученные закономерности, наряду с напорными и кавитационными характеристиками насосов, используются при проектировании и доводке двигателей для прогнозирования пульсационно-вибрационного состояния гидравлических трактов ЖРД. ■

(Продолжение в следующем номере).



# С.А. КОСБЕРГ - ГЛАВНЫЙ КОНСТРУКТОР АВИАЦИОННЫХ И РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ (К 100-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ)

КБ химавтоматики: **Владимир Рачук**, генеральный конструктор и генеральный директор, д.т.н.  
**Александр Голубев**, первый заместитель главного конструктора (1961-1990 гг.), к.т.н.



Халтурина в Ленинграде. С 1927 по 1929 г. учился в Ленинградском политехническом институте, а затем в Московском авиационном институте, который окончил в 1930 г. В 1931 г. С.А. Косберг был направлен на работу в Центральный институт авиационного моторостроения (ЦИАМ), где прошел путь от инженера-конструктора до начальника крупного исследовательского отдела.

Интенсивное развитие авиационной техники в тот период требовало создания мощных и экономичных авиационных двигателей. Обычные карбюраторные системы питания топливом, применявшиеся на всех авиационных двигателях, не могли полностью удовлетворить возросшим требованиям, особенно в случае применения многоцилиндровых двигателей. В связи с этим научно-исследовательские центры и авиационные фирмы США, Англии, Германии начали интенсивно заниматься системами непосредственного впрыска (НВ) топлива в головки цилиндров. Аналогичные работы были развернуты в ЦИАМ. С.А. Косберг, изучив зарубежный опыт, вместе со своими сотрудниками разработал и испытал систему НВ для авиационного двигателя М-34. До 1940 г. силами отдела было спроектировано, изготовлено и испытано несколько различных типов агрегатов НВ. В 1936-1937 гг. в изданиях ЦИАМа "Авиодвигатель" появились первые статьи С.А. Косберга о впрыскивающей системе для бензиновых двигателей. В 1939 г. в сборнике "Техника воздушного флота" были опубликованы очередные статьи, посвященные особенностям агрегатов НВ.

Зарекомендовав себя талантливым инженером и энергичным организатором, С.А. Косберг в 1940 г. был назначен заместителем главного конструктора и начальником КБ по разработке систем непосредственного впрыска на заводе № 33 НКАП. В первый год Великой Отечественной войны ОКБ завода № 33 при эвакуации было разделено на два самостоятельных предприятия, одно из которых (будущее КБХА) было эвакуировано в Бердск, Новосибирской области на завод № 296 наркомавиапрома. С 13 октября 1941 г. предприятие стало самостоятельным и получило наименование ОКБ-296. Главным конструктором был назначен С.А. Косберг.

В суровых сибирских условиях ОКБ (горстка специалистов из 30 человек, руководимая С.А. Косбергом) в короткие сроки создало и внедрило в серийное производство агрегат непосредственного впрыска НБ-3У для авиационного мотора АШ-82ФН генерального конструктора А.Д. Швецова. Использование мотора АШ-82ФН на истребителях Ла-5 способствовало существенному улучшению летно-тактических данных самолетов, что обеспечило им преимущество в воздушных боях над лучшими немецкими истребителями Fw 190 и Bf 109.

Моторы АШ-82ФН с агрегатом НБ-3У устанавливались во время Великой Отечественной войны на самолетах-истребителях Ла-5, Ла-7 генерального конструктора С.А. Лавочкина, бомбардировщиках Ту-2 генерального конструктора А.Н. Туполева, а после войны - на самолетах-истребителях Ла-9, Ла-11 С.А. Лавочкина и пассажирских самолетах Ил-12, Ил-14 генерального конструктора С.В. Ильюшина.

С 1942 по 1949 г. серийными заводами № 296 и № 154 было сдано в эксплуатацию более 30 000 агрегатов НБ-3У и НБ-3ФА. С 1941 по 1952 г. ОКБ разработало 11 вариантов агрегатов НВ и сорок их модификаций для авиационных моторов различных конструкторов. За большой личный вклад в создание боевой авиационной техники С.А. Косберг был награжден орденами "Знак Почета", Красной Звезды и Отечественной войны I степени. Ряд работников ОКБ также был отмечен боевыми орденами и медалями.

Следующей темой, над которой работал коллектив С.А. Косберга, стало внедрение впрыска водоспиртовых смесей в цилиндры авиационных моторов, позволявшего форсировать моторы по мощности без появления детонации при работе на исходном сорте топлива и дававшего возможность перевода моторов на топливо с пониженным октановым числом. Особое место в деятельности С.А. Косберга в тот период занимала отработка форсунок, технологичных в изготовлении и надежных в эксплуатации. Впервые в отечественной практике С.А. Косбергом были внедрены проливочные испытания форсунок, обеспечивающие единообразие гидравлических характеристик каждого комплекта.

В 1941-1954 гг. под руководством С.А. Косберга было разработано и передано в производство 10 типов серийных и 17 типов опытно-экспериментальных форсунок для авиационных моторов, 31 тип рабочих и 4 типа пусковых форсунок для реактивных двигателей восемнадцати наименований.

В апреле 1946 г. коллектив С.А. Косберга переехал в Воронеж и стал именоваться ОКБ-154. В те годы на смену поршневым пришли реактивные двигатели. ОКБ, продолжая работы по агрегатам НВ, приступило к разработке агрегатов для турбореактивных и турбовинтовых двигателей. Разрабатывались и внедрялись в серийное производство топливные форсунки, регуляторы подачи топлива в форсажную камеру, системы управления и регулирования двигателей, топливные фильтры, масляные флюгерные насосы и многое другое. С.А. Косберг по своей инициативе занялся созданием пусковых стартеров на твердом топливе (порохе) и затем на жидком (унитарном) топливе для мощных авиационных турбореактивных двигателей. И все же задачи, ставившиеся перед ОКБ, уже не в полной мере соответствовали выросшей квалификации конструкторского коллектива.

С.А. Косберг понимал и предвидел, что для существования и дальнейшего развития ОКБ необходимо осваивать новую тематику. К этому времени оно располагало квалифицированными инженерно-конструкторскими кадрами, опытным производством, что позволяло браться за создание более сложной техники. Полученный опыт разработки пусковых стартеров на жидком топливе, в конструкции которых имелись аналоги агрегатов ЖРД (газогенератор, турбина, насосы, органы регулирования и управления), был использован для перехода к созданию авиационных жидкостных реактивных двигателей. Двигатели должны были многократно включаться в полете и иметь большой ресурс. Усилиями коллектива ОКБ под руководством С.А. Косберга такие ЖРД были разработаны в 1954-1958 гг.

Первый ЖРД (Д154) тягой 4 тс был разработан с использованием унитарного однокомпонентного топлива ОТ-157. Предварительно был проведен большой объем исследовательских работ, связанных с изучением однокомпонентных топлив в ГИПХе, при непосредственном участии и руководстве работами А.Д. Конопатова. Однако склонность унитарных топлив к детонационным взрывам заставила свернуть это направление. Второй ЖРД (СК1) регулируемой тягой от 2 до 4 тс был разработан на топливе жидкий кислород + этиловый спирт. Оба двигателя предназначались для самолета-истребителя Е-50А генерального конструктора А.И. Микояна.

Третий ЖРД (СК1К) регулируемой тягой от 1,5 до 4 тс, разработанный для самолета-истребителя Як-27В генерального конструктора А.С. Яковлева, явился первым в стране ЖРД многократного использования на топливе жидкий кислород + керосин. На нем был впервые применен газогенератор, работающий на основных компонентах топлива.

В августе 1957 г. воронежское ОКБ было реорганизовано в самостоятельное Государственное Союзное опытно-конструкторское бюро № 154 с поручением ему работ по созданию новых авиационных ЖРД. Приобретенный опыт, уверенность в силах коллектива, творческая инициатива С.А. Косберга позволили ОКБ приступить также к разработке ЖРД для зенитных управляемых ракет (ЗУР).

В 1957-1960 гг. был создан ЖРД РД-0200 регулируемой тягой от 0,6 до 6 тс на самовоспламеняющихся компонентах топлива - окислителя АК-27И и горючем ТГ-02 для ЗУР конструкции С.А. Лавочкина. Разработка велась совместно с ОКБ-2 главного конструктора А.М. Исаева, что положило начало тесному творческому сотрудничеству обоих коллективов и их главных конструкторов. Впервые в стране был создан ЖРД с десятикратным регулированием тяги. Двигатель был доведен силами ОКБ-154, успешно прошел летные испытания и был передан в серийное производство.

В 1959-1960 гг. ОКБ разработало ЖРД РД-0201 регулируемой тягой от 2 до 6 тс на самовоспламеняющихся компонентах топлива - окислителя АК-27П и горючем ТГ-02 для ЗУР конструкции П.Д. Грушина.

10 февраля 1958 г. произошла встреча С.А. Косберга и его соратника А.Д. Конопатова с С.П. Королевым, положившая начало сотрудничеству. Сблизили и подружили этих людей одинаковые свойства ума и характера - одержимость и беззаветная преданность науке. Двухступенчатая ракета-носитель Р-7 С.П. Королева успешно вывела на орбиту три искусственных спутника Земли. Однако дальнейшее изучение космического пространства было невозможно без третьей ступени, которая должна была завершить разгон корабля до второй космической скорости.

Кислородно-керосиновый ЖРД РД-0105 тягой 5,04 тс для третьей ступени (блок "Е") ракеты-носителя 8К72 был разработан ОКБ-154 совместно с ОКБ-1 С.П. Королева в 1959-1960 гг. за рекордно короткий срок - 9 месяцев. Это был первый отечественный ЖРД, запуск которого производился в условиях, близких к состоянию невесомости и глубокого вакуума. Применение третьей ступени с двигателем РД-0105 позволило увеличить массу искусственных спутников Земли более чем втрое (до 4500 кг) и обеспечить достижение второй космической скорости. Появилась возможность осуществления полетов космических объектов на Луну, облет Луны и фотографирования ее обратной стороны. За творческий вклад в эти полеты С.А. Косбергу была присуждена ученая степень доктора технических наук, он был удостоен Ленинской премии.

Новой самостоятельной разработкой ОКБ стал кислородно-керосиновый ЖРД РД-0109 тягой 5,56 тс для третьей ступени (блок "Е") ракеты-носителя "Восток". С помощью ракеты-носителя "Восток" были выполнены исторические задачи мирового значения, и прежде

всего - запуск в космическое пространство первого космонавта Земли Ю.А. Гагарина. За личный вклад в этот исторический полет С.А. Косберг был удостоен звания Героя Социалистического Труда.

Очередными разработками ОКБ стали мощные кислородно-керосиновые ЖРД тягой 30,4 тс:

- РД-0106 для второй ступени боевой ракеты Р-9А;
- РД-0107 для третьей ступени (блок "И") ракеты-носителя "Молния";
- РД-0108 для третьей ступени (блок "И") ракеты-носителя "Восток";
- РД-0110 для третьей ступени (блок "И") ракеты-носителя "Союз".

Много сил и энергии отдал С.А. Косберг созданию первых ЖРД, выполненных по схеме с дожиганием генераторного газа, разработка которых началась в ОКБ в 1961 г. Большой заслугой С.А. Косберга и А.Д. Конопатова стало создание в ОКБ в короткий срок современной испытательной базы с хорошо оснащенными экспериментальными лабораториями. Появилась возможность разрабатывать более мощные ЖРД как на криогенном топливе, так и на топливе длительного хранения. Первыми ЖРД, разработанными ОКБ по схеме с дожиганием на компонентах топлива АТ и НДМГ, стали РД-0202 и РД-0205 для первой и второй ступеней боевой ракеты УР-200 генерального конструктора В.П. Челомея. На их основе были разработаны ЖРД РД-0210 и РД-0211 для второй ступени и РД-0212 для третьей ступени ракеты-носителя "Протон".

Впоследствии в ОКБ была начата разработка ЖРД по схеме с дожиганием на компонентах топлива АТ и НДМГ для боевой ракеты РС-10 генерального конструктора В.Н. Челомея. Отработка и сдача в эксплуатацию этих двигателей заканчивались уже после смерти Семена Ариевича. В начале 1965 г. С.А. Косберг погиб в автомобильной катастрофе при исполнении служебных обязанностей.

Почти двадцать пять лет С.А. Косберг возглавлял ОКБ. Значителен его личный вклад в создание новой авиационной и космической техники. Трудности этих лет закаляли в нем те стержневые стороны характера, которые сказывались на его поведении и особенно ярко проявлялись в ситуациях, требующих максимального напряжения. Ему

была свойственна гражданственность, чувство причастности к делам Родины, ответственность, самостоятельность мышления, умение зажечь коллектив своим творческим зарядом.

С.А. Косберг большое внимание уделял проблемным вопросам создания новой техники. Он обладал не только инженерными знаниями, но и богатой интуицией, широким научным кругозором, умел быстро и правильно прогнозировать будущее.

Большое внимание Семен Ариевич уделял развитию связей с НИИ, родственными предприятиями, умело использовал возможности новых материалов, прогрессивных технологий, возглавлял проведение необходимых поисковых и экспериментальных работ.

С.А. Косберг бережно растил и воспитывал кадры, умел требовать и прощать, предоставлял возможность принимать самостоятельные решения, поощрял инициативу. Он особенно внимательно относился к молодым специалистам, приобщал их к науке, всячески поддерживал их стремление к новому, был примером зрелого, мудрого руководителя, ученого, грамотного инженера.

Много времени и внимания Семен Ариевич уделял подготовке научных кадров. Будучи доктором технических наук, он руководил группой аспирантов на кафедре двигателей политехнического института, имел ряд опубликованных научных работ и внедренных изобретений.

С.А. Косберг основал КБХА, выпестовал его, указал коллективу путь к творческому созиданию. О важнейшей роли, которую сыграл С.А. Косберг в создании средств для исследования космического пространства, ярко свидетельствует тот факт, что его именем назван кратер на обратной стороне Луны. 



Награду С.А. Косбергу вручает Л.И. Брежнев

# АВТОСАЛОН-2003

**Александр Бажанов**



**VI** Российский международный автомобильный салон "Автосалон-2003" открылся сразу после окончания МАКС-2003. Невольно пришлось все сравнивать, начиная "с вешалки". То обстоятельство, что автосалон проводился в центре Москвы (на территории Выставочного комплекса ЗАО "Экспоцентр" на Красной Пресне), а не в пригороде, позволило решить все проблемы с доставкой участников и посетителей. Досмотр посетителей

Наш журнал в большей степени интересовали двигатели. Оказалось, что двигателестроительных заводов, участвующих в работе салона, не так уж много.

ОАО "Заволжский моторный завод" представил модели инжекторных бензиновых двигателей ЗМЗ-40522.10 и 409.10, а также дизельных ЗМЗ-5143.10 с механическим топливным насосом и ЗМЗ-5148.10 с системой Common Rail. Выпуск последнего планируется начать в 2006 г. Хочется отметить превосходное изготовление выставочных образцов.



не производился, что упростило проход, особенно для журналистов, которым пришлось работать каждый день. Те, кто посетил МАКС-2003 в Жуковском, сразу почувствовали разницу.

Организаторами автомобильного салона этого года были ОАО "Автосельхозмаш-холдинг" (Москва) и компания ITE Group Plc. (Лондон) при содействии ЗАО "Экспоцентр". Выставка проводилась под патронажем Торгово-промышленной палаты РФ при поддержке правительства Российской Федерации и города Москвы. Российские международные автосалоны внесены в официальный календарь Международной организации производителей автомобилей OICA (Париж), одобрены Союзом международных ярмарок UFI (Париж) и Международным Союзом выставок и ярмарок МСВЯ (Нижний Новгород).

В этом году выставка собрала рекордное за всю ее историю количество участников: более 800 экспонентов, представляющих 31 страну мира. Большинство фирм демонстрировали не только уже известные модели автомобилей, но и те, с которыми им еще только предстоит выходить на российский рынок.

Если сравнивать с автосалонами прошлых лет, то создается впечатление, что российская автомобильная промышленность все-таки поднимается. Выставленные машины стали элегантнее, кажется, что еще немного, и догоним Запад и Восток (а сами тогда кто?).

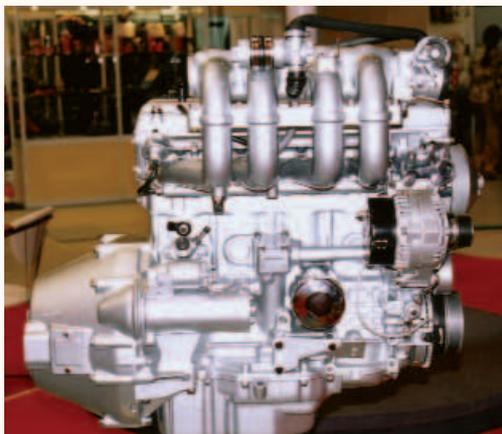
ОАО "Уфимский завод автомобильных моторов" продемонстрировал новый двигатель 3318x с системой распределенного впрыска топлива (СРВТ) на базе контроллера M7.9.7 фирмы Bosch. Предполагается, что автомобили с этим двигателем будут соответствовать требованиям норм Евро-3.

ОАО "Волжские моторы" на открытой площадке выставили два двигателя (оно и понятно - этим двигателям все нипочем, и предназначены они для УАЗов и ГАЗелей). Высокий крутящий момент - характерная особенность ульяновских двигателей. Установленная на них система впрыска топлива обеспечивает выполнение норм Евро-2.

Двигатели для машин производят и автомобильные заводы, к примеру, ОАО "АВТОВАЗ" и "ГАЗ". Однако в отличие от предыдущих салонов и выставки "Двигатели-2002" свои силовые агрегаты в отдельной экспозиции эти акционерные общества не выставили. Пришлось знакомиться с двигателями, заглядывая в моторный отсек.

ОАО "АВТОВАЗ" показал очень широкий спектр машин. Так, автомобили, входящие в состав семейства 2170, оснащаются "обычными" 8- и 16-клапанными двигателями рабочим объемом 1,6 л. Все двигатели этого семейства будут выпускаться в комплектации, соответствующей нормам Евро-3. Вокруг спортивного прототипа "LADA Revolution" постоянно кружил народ, и неудивительно - бы-





ло на что посмотреть. Он оснащается двигателем 1,6 л и 6-ступенчатой КПП, которые позволят автомобилю развивать скорость до 260 км/ч.

Борьба за чистоту воздуха заставляет конструкторов разрабатывать такие двигатели, у которых вредные выбросы сокращены до предела. И вот

ОАО "АВТОВАЗ" представил автомобиль ЛАДА 111 АНТЭЛ - опытный образец, оснащенный энергоустановкой на топливных элементах. Основной энергоустановки является щелочной водородно-воздушный электрохимический генератор, впервые разработанный в России. Топливо (водород) хранится в специальных легких и прочных баллонах высокого давления (400 атм). Запас водорода обеспечивает пробег на одной заправке до 350 км. К еще одному достоинству этой силовой установки следует отнести бесшумность работы. Проблема только в одном - с какой интенсивностью будут строиться заправочные станции?

Надо сказать, что большинство заводов ориентируется на производство бензиновых двигателей с непосредственным впрыском, что должно способствовать выполнению требований Евро-2, -3, -4. Но не надо забывать, что автолюбители есть не только в городах, но

и в сельской глубинке, а там будет довольно сложно отремонтировать забарахливший мотор, особенно, если выйдет из строя один из элементов системы впрыска (от л-зонда до процессора). Карбюраторный двигатель и привычнее, и отремонтировать его легче, да и надежнее он пока. Следует иметь в виду, что качество топлива не везде, мягко говоря, хорошее.

Двигатели для грузовиков на салоне выставляло ОАО "Автодизель". Первый отечественный дизель разработки ОАО, соответствующий Евро-3, был представлен в составе силового агрегата ЯМЗ-658 автомобиля МАЗ. Двигатель оснащен топливоподающей системой немецкой фирмы Bosch. На выставке демонстрировались также серийно выпускаемые двигатели, соответствующие Евро-2: ЯМЗ-7511.10 с 9-ступенчатой и ЯМЗ-7601.10 с 6-ступенчатой коробкой передач.

Автомобильный завод из Набережных Челнов ОАО "КАМАЗ" демонстрировал свои дизели достаточно скромно. Напомним, что команда "КАМАЗ-МАСТЕР" стала четырехкратным призером международных авторалли Париж-Дакар только благодаря дви-

гателю ЯМЗ-7Э846, созданному на "Автодизеле".

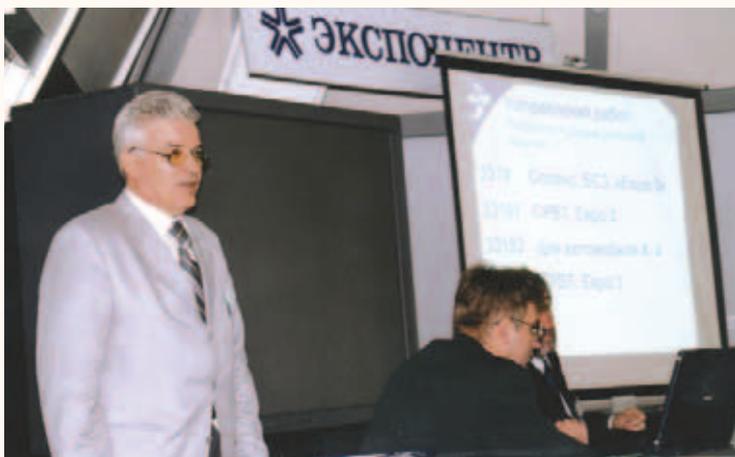
Достаточно привлекательной выглядела экспозиция ОАО "ИжАвто" с семью моделями автомобилей марки "Иж", особенно оригинально смотрелась Fabula.

Ульяновский автомобильный завод продемонстрировал свои лучшие модели. Здесь был и УАЗ-3159 - грузопассажирский полноприводной автомобиль, предназначенный для внутреннего рынка и экспорта в страны с умеренным и тропическим климатом. Что касается УАЗ-23608, то этот грузовой полноприводный автомобиль оснащен дизельным двигателем ЗМЗ-5143.10, хотя подкапотное пространство адаптировано для установки всех типов двигателей, применяемых на УАЗах.

ОАО "ГАЗ", входящее в группу компании "РусПромАвто", на этот раз попыталось привлечь покупателей лимузином ГАЗ-3102 "Волга" с двигателем компании Ford. Предпринимателю должно заинтересовать пятиместное такси ГАЗ-221703 "Соболь" с дизельным двигателем.

О всех выставленных автомашинах и их характеристиках в короткой статье рассказать невозможно. Следующий салон "Мотор Шоу-2004" состоится 25-29 августа 2004 г. в выставочном комплексе ЗАО "Экспоцентр" на Красной Пресне.

Следует упомянуть об еще одном событии салона: V Международной автомобильной конференции "Двигатели для российских автомобилей", организованной минпромнауки, ОАО "Автосельхозмаш-холдинг" и ГНЦ РФ ФГУП "НАМИ". В работе конференции приняли участие представители практически всех двигателестроительных предприятий автопрома, отраслевых НИИ, вузов и фирм, занимающихся производством автомобильных компонентов. Представленные доклады охватывали широкий спектр проблем: от "Основных направлений развития двигателестроения в России" (с докладом выступил Г.С. Корнилов - первый заместитель генерального директора по научной работе ГНЦ РФ ФГУП "НАМИ") и "Концепции развития производства двигателей для автомобилей ВАЗ" (докладчик М.А. Коржов - руководитель проекта "Двигатель" ОАО "АвтоВАЗ") до конкретных технических предложений, направленных на совершенствование двигателей.





# ЕГО ВЕЛИЧЕСТВО - К.П.Д.

Евгений Бугаец, д.т.н.

"Дорога ложка к обеду".  
"Воду в решете не носят".  
"Весь пар ушел в гудок".

Народные пословицы

(Продолжение. Начало № 1, 2, 4 - 2003)

## 2. ПОТЕРИ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ГАЗОВ

Народная мудрость не знает ограничений, на все случаи жизни существует меткая поговорка. Однако в вопросе о к.п.д. двигателя мы имеем столько неоправданных потерь, что список поговорок становится весьма значительным.

Теперь рассмотрим потери второго вида энергии, используемой в двигателе - тепловой энергии газов.

### 2.1. Потери, вызванные окислением и горением топлива в фазе СЖАТИЕ

Как уже упоминалось (рис. 3, "Двигатель" № 2 - 2003), модель идеального двигателя может быть представлена в виде поршня с пружиной. В фазе СЖАТИЕ (это фаза потерь) поршень принудительно сжимает относительно слабую пружину. Ее сила противодействия ( $P_c$ ) определяется механическим сжатием газа, т.е. растет пропорционально текущей степени сжатия  $\epsilon$ :

$$P_c = p_o \cdot \epsilon \cdot m,$$

где:  $p_o$  - исходное давление газа в цилиндре (в положении НМТ);  
 $m$  - коэффициент, учитывающий повышение температуры сжимаемого газа.

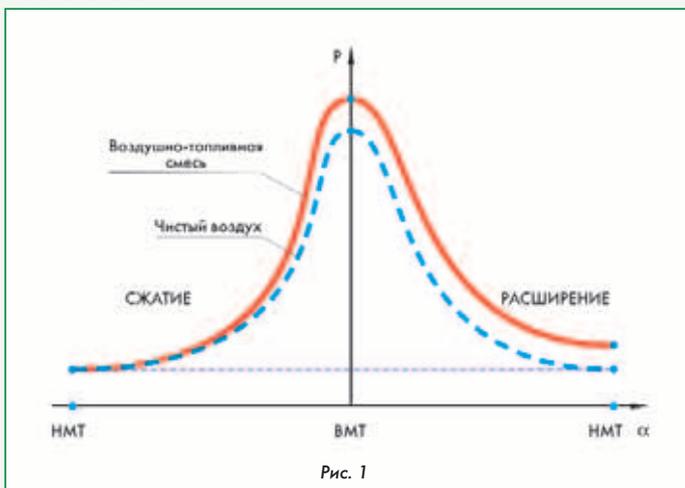


Рис. 1

При достижении поршнем ВМТ начинается фаза РАСШИРЕНИЕ, а сила пружины становится равной

$$P_p = k \cdot P_c,$$

где  $k$  - коэффициент, учитывающий повышение температуры сгоревшего газа.

В реальности картина несколько иная.

Во-первых, "поведение" воздушно-топливной смеси при сжатии отличается от "поведения" инертного газа. На рис. 1 приводятся индикаторные диаграммы двигателя без горения. При сжатии воздушно-топливной смеси по сравнению с чистым воздухом давление и температура заметно повышаются. Это объясняется тем, что при нагреве воздушно-топливной смеси до нескольких сотен градусов начинается "холодная" (без горения) реакция окисления топлива, которая сопровождается выделением тепловой энергии. Таким образом, топливо в фазе СЖАТИЕ теряет свою калорийность. Этому способствует наличие в двигателе раскаленных поверхностей (свеча зажигания, выпускной клапан). Счастлив, что эти потери не превышают нескольких процентов.

Во-вторых, горение воздушно-топливной смеси не происходит мгновенно (опять же к счастью), а требует значительного времени. Финиш горения достаточно строго задан - это примерно  $15^\circ$  после ВМТ. Поэтому старт горения (зажигание) определяется частотой вращения коленвала двигателя  $\omega$ . Понятно, чем выше  $\omega$ , тем больше угол опережения зажигания  $\alpha$ . Это означает, что тепловая энергия газов все больше выделяется в фазе СЖАТИЕ и все сильнее убывает в фазе РАСШИРЕНИЕ. То есть сила пружины  $P_c$ , которая противодействует поршню, становится все больше, а сила пружины  $P_p$ , которая совершает полезную работу, становится все меньше. Таким образом, потери нарастают с двойной скоростью. Наступает момент, когда двигатель "визжит" на высоких оборотах, а крутящего момента нет. Тепловая энергия газов никуда не исчезла, ее вдоволь, но она выделилась слишком рано. "Дорога ложка к обеду". Первопричиной этих огромных потерь является неоправданно долгое горение воздушно-топливной смеси, а понятие "потери" носит условный характер (рис. 2).

### 2.2. Потери из-за декомпрессии

В отличие от предыдущих, потери из-за декомпрессии физически абсолютно прозрачны. Как народная мудрость не рекомендует воду в решетке носить, так не рекомендуется эксплуатировать двигатель с низкой компрессией. Декомпрессия может иметь несколько причин:

- износ поршневой группы, особенно колец;
- плохое прилегание клапанов к гнездам;
- дефекты свечи зажигания, резьбового соединения и др.

В результате из-за неплотностей в камере сгорания и цилиндра происходит стравливание газа высокого давления, т. е. возникают прямые потери тепловой энергии вместе с самим газом. Кроме этого, могут быть и другие негативные последствия, например, экологические.

Однако в отличие от потерь тепловой энергии потери из-за декомпрессии растут с уменьшением частоты вращения коленвала двигателя. Это объясняется прямой зависимостью потерь от времени воздействия разности давлений (закон Ома в пневмотехнике).

### 2.3. Потери в стенке камеры сгорания и цилиндра

Природа этих потерь также очевидна. Представьте себе, что вы живете в большой металлической бочке. На дворе минус 40 °С, вы сжигаете дрова в буржуйке, пытаетесь поднять температуру воздуха внутри бочки до плюс 20 °С. Вряд ли у вас это получится, так как по сути вы пытаетесь "топить улицу". Разница между двигателем и этим примером в том, что горение идет по всему объему "бочки", недаром это двигатель "внутреннего сгорания". Горение происходит циклично, максимальная температура достигает 2500 °С, а температура стенок двигателя примерно 95 °С. Чем больше разность температур, тем больше потери тепла (закон Ома в теплотехнике). Поэтому самые большие потери там, где самая высокая температура. В соответствии с Махе-эффектом это область начала горения, где располагаются свеча зажигания и начальная часть спиральной траектории горения.

Следует отметить, что расчет тепловых потерь в стенке двигателя весьма затруднен. Объясняется это сложной формой и динамичностью объемного градиента температур, влиянием эффекта "газовой рубашки" (см. "Двигатель" № 4 - 2003), турбулентностью, различной температурой внутренней поверхности стенок камеры сгорания, различной теплопроводностью отдельных фрагментов камеры сгорания и т.д. На рис. 3 показано, как влияют стенки камеры сгорания на скорость горения воздушно-топливной смеси, находящейся в состоянии покоя. "Холодные" стенки камеры сгорания заметно замедляют процесс горения.

Используя эмпирические данные, можно оценить потери тепловой энергии газов в стенки двигателя значением порядка 20 %.

### 2.4. Потери в выхлопную трубу

Наконец, мы подошли к самым известным и, по мнению специалистов, самым большим потерям тепловой энергии в выхлопную трубу. Считают данные потери весьма просто, используя соотношение:

$$k_{2.4} = (T_{\text{мин}} / T_{\text{макс}}) \cdot 100 \%,$$

где  $T_{\text{макс}}$  и  $T_{\text{мин}}$  - соответственно максимальная и минимальная температуры газа в фазе РАСШИРЕНИЕ.

Как известно, двигатель работает в очень широком диапазоне режимов. Значения  $T_{\text{макс}}$  и  $T_{\text{мин}}$  тесно коррелированы с режимом работы двигателя. Минимальная величина потерь  $k_{2.4}$  соответствует холостому ходу. Максимальные потери  $k_{2.4}$  характерны для режима максимальной нагрузки и частоты вращения вала. В этом случае  $T_{\text{макс}} = 2500 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $T_{\text{мин}} = 1100 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $k_{2.4 \text{ макс}} = 44 \text{ } \%$ .

В случае с газовым топливом данные потери еще больше, так как выше температура выхлопных газов. Напомним, что паровоз работал при температуре пара 150 °С.

Чем объясняется высокая температура выхлопных газов в двигателях, работающих на легком топливе? Дело в том, что в

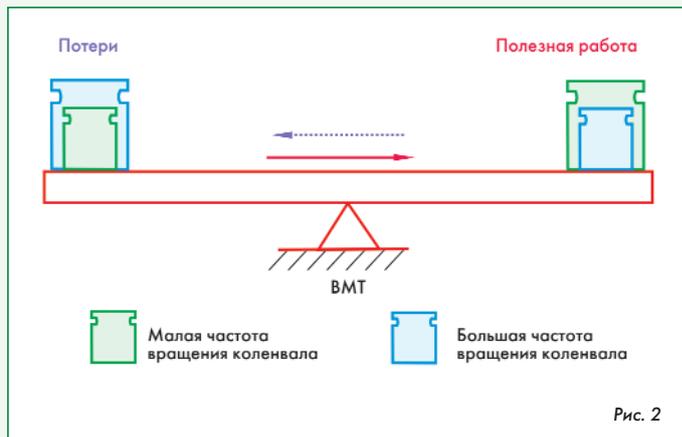


Рис. 2

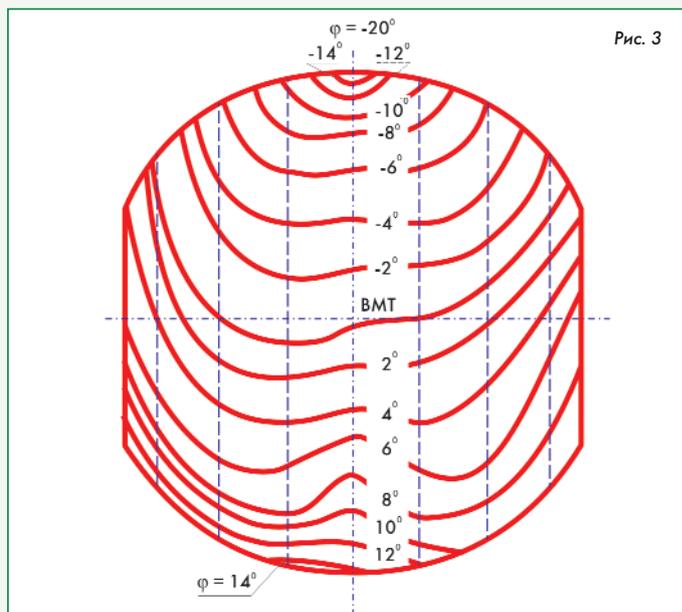


Рис. 3

камере сгорания топливо сгорает не полностью, а только 70...80 %. Далее, когда поршень движется вниз, продолжается его догорание. Это позволяет двигателю поддерживать высокое давление в цилиндре (рис. 4), а следовательно, и температуру выхлопных газов. С повышением частоты вращения вала время на догорание сокращается, а температура выхлопных газов повышается. Наступает момент, когда топливо догорает уже в выхлопной трубе. Например, на спортивных машинах выхлопные трубы, находящиеся непосредственно у двигателя, раскаляются докрасна ("полный гудок").

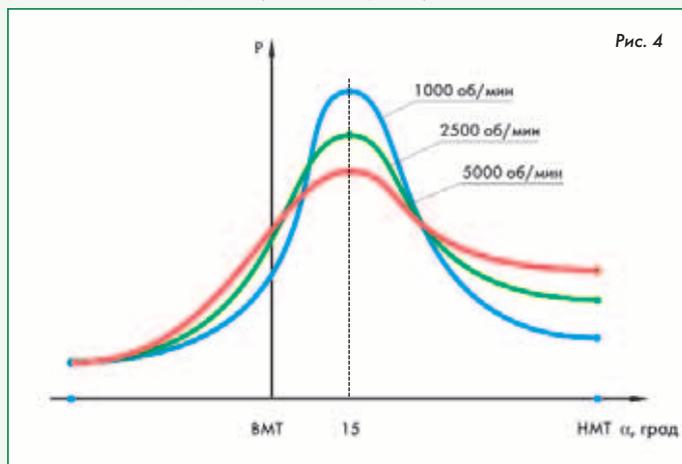


Рис. 4

С газовым топливом проблем еще больше. Октановое число газа выше, чем у бензина, поэтому загорается оно хуже, горит медленнее, догорает позднее.

(Продолжение следует)

# НА МОТОРЕ - С ВЕТЕРКОМ...

Виталий Смольский

**Увеличение подвижности населения и связанная с этим потребность в более быстрых и оперативных транспортных связях между городами, промышленными районами, городскими объектами - характерная черта последних десятилетий. Затрачиваются крупные средства на проектирование и создание реальных образцов высокоскоростного наземного транспорта (ВСНТ). Сооружаются специальные участки и замкнутые полигоны для экспериментального исследования и доработки созданных транспортных единиц и путевых структур, число которых уже к концу 70-х годов прошлого столетия во всем мире приблизилось к двум десяткам.**

Потребность в транспортных средствах, развивающих скорости движения от 300 до 800 км/ч (это разница в скоростях между железнодорожным и магистральным воздушным транспортом), весьма велика. Понятно, что если на длинных трассах выгоднее всего самолет, а на коротких - автомобиль, то на средних - сверхскоростной поезд. Общим для всех разработок в области ВСНТ является стремление преодолеть рубеж скорости 300...350 км/ч. Эта граница поставлена законами транспортной механики для движения по рельсовому пути классического типа. Она определяется условиями взаимодействия колеса с рельсом, прочностью и условиями смазки подшипников, а также возможностями токосъема. В результате опытных измерений установлено, что сцепление колес с рельсами, представляющее собой основной фактор, ограничивающий тяговое усилие локомотива, резко ухудшается с ростом скорости движения. При скорости, близкой к 300 км/ч, тяговое усилие на колесе становится практически равным сопротивлению движения, что исключает возможность дальнейшего разгона. Таким образом, развитию традиционной системы "колесо - рельс" в направлении роста скорости движения есть предел, для перехода через который необходимы новые технические решения с коренной модернизацией принципиальных основ. Это возможно лишь при отказе от механической связи между экипажем и путевой структурой и реализации тягового усилия на принципах, не зависящих от сил механического трения.



В 1960-1970 гг. в перспективных разработках наметился переход от системы "колесо-рельс" к системам бесконтактного подвеса экипажа, использующим принцип левитации (парения) транспортного средства в воздухе вблизи путевой структуры на воздушной (ВП) или магнитной (МП) подушке или подвесе. При этом собственно система взаимодействия путевого рельса и поезда на ВП может быть выполнена по принципу наддува воздуха под опору вагона либо вакуумирование подвески его. Для МП, это, соответственно, отталкивание одноименных полюсов магнита, либо притяжение разноименных. Роль тягового средства возлагается при этом на линейные тяговые двигатели (ЛТД), которые используются в обеих модификациях подвеса. Только эти системы взаимодействия поезда с дорогой дают возможность заполнить диапазон скоростей, существующий между железнодорожным и воздушным транспортом.

Бесконтактный подвес устраняет неизбежный при рельсовом транспорте износ трущихся элементов подвижного состава и пути, который возрастает в кубической зависимости от скорости перемещения транспортного средства. Он избавляет от ударных воздействий и вибраций, вызываемых неровностями пути, стрелками и пересечениями, которые в свою очередь являются причинами дискомфорта для пассажиров и ущерба для перевозимых грузов.

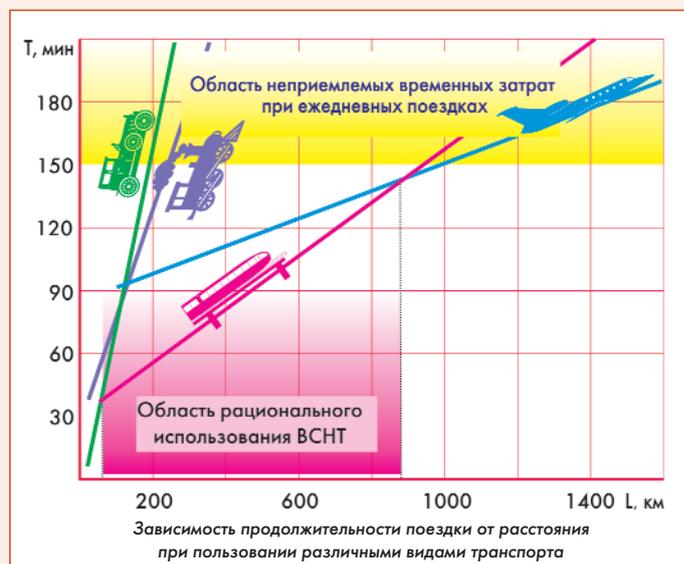
Исследования подвижного состава с ВП проводились во Франции, США, Великобритании, Италии, ФРГ и Японии. Разработка тако-

го подвижного состава потребовала изучения аэростатических и аэродинамических факторов, обуславливающих возможность такого движения. В частности, исследовалось взаимодействие приводного механизма с поверхностью путевой структуры. Среди проблем, поставленных перед разработчиками, особое место занимали вопросы использования асинхронных вариантов ЛТД, которые обсуждались, в частности, на специальном симпозиуме в 1970 г. и затем на ряде международных конгрессов.

Как самые простые в изготовлении, первыми появились поезда на воздушной подушке. Тягово-энергетические испытания, выполненные на опытных образцах вагонов с ВП системы *Urba* и *Aerotrain* (Франция), выявили существенные органические недостатки, присущие этой системе. Исследования, проведенные фирмой *Gummap Aerospace* по заданию департамента транспорта США, показали, что в реальных условиях движение опытного экипажа с ВП при высоких скоростях и боковом ветре существенно осложняется: возрастают требования к системе стабилизации левитации. Интенсивные и дорогостоящие исследования, проведенные в Великобритании, были прекращены, а отдельные разработки систем с таким же подвесом вагона в ряде стран не дали возможности преодолеть их существенные недостатки.

Система ВСНТ разрабатывалась также в Италии. В частности, в университете города Палермо была разработана система ВСНТ для скоростей движения порядка 450 км/ч. При выборе системы подвеса был изучен опыт предшественников в этой области. В сочетании с теоретическим анализом это позволило отказаться от системы ВП, которая была выбрана на первой стадии. Система магнитного подвеса вагонов была выполнена совместно с асинхронными линейными тяговыми электродвигателями мощностью 40 кВт. Работы на стендах дали возможность изучить явления магнитного притяжения и отталкивания при выполнении вторичной части двигателя из различных материалов. Регулирование параметров движения модели экипажа осуществлялось путем изменения частоты питания и величины полюсного деления ЛТД.

Основным результатом цикла исследований, проведенных в США, также явился отказ от ВП, применявшейся на первой стадии исследований. На этих системах предполагалось использовать криогенную технику для создания интенсивных магнитных полей для МП, а также для обеспечения высокой надежности систем подвеса. Была показана от-



носителю высокая экономичность разработанного образца ВСНТ при реализации высокой скорости движения.

Сравнительные испытания обеих сопоставляемых систем подвешивания, проведенные, в частности, еще в 70-е годы фирмами Krauss-Maffei и Messerschmitt на испытательных участках, выявили достоинства МП, а также возможность создания комбинированной системы подвешивания, сочетающей в себе преимущества различных вариантов магнитов. Было проведено сопоставление параметров экипажа на 100 пассажиров с ВП и ЭМП для одной и той же эксплуатационной скорости порядка 500 км/ч и примерно одной и той же ширины поезда (2200 и 2000 мм). Большая масса экипажа с ВП объяснялась как большими габаритами, так и требованием увеличения на 63 % общей установленной мощности (9,1 МВт при ВП и 5,61 МВт при МП). Экипаж с ВП при том же числе пассажиров по сравнению с вариантом МП затрачивал на 42 % большую тяговую мощность и в 7,4 раза большую мощность систем стабилизации положения экипажа по сравнению с системой с МП. В основном это происходило из-за более тяжелого тягового привода - на 40 % (21 вместо 15 т) и более массивной системы стабилизации положения экипажа - на 73 % (19 вместо 11 т). Как показали исследования, грузоподъемность экипажа с ВП ограничена. Среди прочих доказанных основных преимуществ МП упоминались:

- меньшее сопротивление движению;
- существенно меньшая зависимость (особенно в климатических условиях нашей страны) от атмосферных факторов, силы и направления ветра, которые вызывают у ВП явление "размывания" воздушной подушки;
- меньший уровень шумов, связанных с движением экипажа из-за отсутствия дополнительного шума в соплах, щелях и каналах ВП, а также в воздухоудках;
- простота конструкции экипажа из-за отсутствия в нем массивных вращающихся частей;
- меньшая сложность путевой структуры при простоте выполнения стрелочных переводов и пересечений пути;
- гибкое управление параметрами движения (скорость, ускорение, замедление при торможении) из-за отсутствия трудноуправляемого движения воздушных потоков;
- более высокий к.п.д.;
- меньший удельный расход энергии;
- практическая безвредность для окружающей среды;
- легкость управления системой;
- высокий уровень комфорта пассажиров и лучшая сохранность перевозимых грузов;
- легкость сохранения постоянства воздушного зазора между поездом и полотном;
- упрощение системы подвешивания.

По этим причинам из двух возможных направлений разработок в области ВСНТ большинство исследователей выбрало именно магнитный подвес. ВП целесообразен для ограниченного круга транспортных задач, преимущественно при единичных, а не массовых перевозках грузов (например - буровых вышек, уникальных и громоздких сооружений), ког-

да нецелесообразно сооружение постоянно действующих дорогостоящих трасс. Массовые пассажирские перевозки с использованием вариантов ВП (в том числе его вакуумные модификации), как показал опыт многих стран, в силу специфических недостатков таких систем, особенно из-за неблагоприятного воздействия на окружающую среду, в настоящее время нигде не рассматриваются и перспективными не считаются.

Особое внимание к проблемам ВСНТ привлекает возможность экономии энергии благодаря использованию электрического торможения с рекуперацией энергии. Связанные с этим аспекты в свое время обсуждались на конгрессе в Ванкувере, посвященном проблемам использования асинхронных ЛТД на транспорте. Исследования в Великобритании, США, СССР, Франции, Японии и Канаде показали, что наибольшие трудности представляет эффективное торможение со скорости 400...500 км/ч, которое требует сочетания электродинамического (или рекуперативного) торможения с пневматическим. Автоматическое регулирование параметров движения (скольжения, ускорения, замедления) должно осуществляться с соблюдением расчетных соотношений в тяговом и тормозном режиме.

Следуя примеру авиакосмических концернов США, фирмы ФРГ Messerschmitt-Bolkow-Blohm (MBB), Krauss-Maffei (KM), Grupp и др. в первый период исследовали системы ВСНТ в основном с ВП, однако затем разработки прекратились из-за относительно меньшей эффективности ВП по сравнению с МП. В ФРГ, так же как и в Японии, было решено отказаться от работы над ВП и сосредоточить усилия на МП со сверхпроводящими элементами на экипаже и нулевыми контурами на путевой структуре. Большинство фирм отказались также от варианта с постоянными магнитами из-за их дороговизны и необходимости применения материалов с высокими показателями.

В СССР разработки в области ВСНТ велись ещё в 1920-1930 гг. и завершились созданием в 1936 г. первых образцов "магнитофугального" (линейного) асинхронного тягового двигателя, показанного в павильоне СССР на Всемирной выставке в США (автор разработки А.Г. Иосифьян). Затем усилия в этой области были сосредоточены на решении общих проблем управления мощным асинхронным тяговым приводом с использованием новейшей преобразовательной и вычислительной техники, развернулась работа по созданию теории асинхронных и синхронных ЛТД.



**Варианты пути, рассматривавшиеся при проектировании английского поезда "Ховеркар" на воздушном подвесе**

В 1970-1980 гг. в нашей стране исследовалась роль магнитного поля асинхронных ЛТД в реализации усилий левитации и в общих свойствах МП. Такие исследования проводились в Ленинграде, Киеве, Днепропетровске, Донецке, Новочеркасске и других городах, а также в ряде организаций Москвы. Большая работа была проведена на базе Всесоюзного института электромеханики (ВНИИЭМ). Некоторое представление о размахе исследовательской работы в этой области (в эти наиболее активные годы) дают материалы Всесоюзной научной конференции, проведенной в Киеве в 1973 г. В работе конференции приняли участие более 70 организаций, в том числе 32 вуза и 19 НИИ, представившие более 150 докладов (в том числе и автора настоящей статьи). В это же время, помимо нескольких десятков образцов ЛТД, были созданы и образцы систем МП с различными модификациями систем управления их параметрами. Проведены теоретические исследования вариантов систем ВСНТ с выбором и экспериментальной проверкой основных технических решений как по структуре систем МП в целом, так и по отдельным ее особенностям.

С приходом 90-х годов в России все масштабные проекты по исследованию ВСНТ были свернуты. Впрочем, возможно, у нас еще есть возможность найти свое место в мировом прогрессе: сейчас в Москве ведутся работы по созданию некой новой транспортной системы. Правда говоря, это уже не из нашей темы: просто оригинальный внеуличный транспорт обычных характеристик. **А**



**Варианты пути, рассматривавшиеся при проектировании аэропоездов на магнитном подвесе**

# ПЕРВЫЕ ИСПЫТАНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ БРОНЕТАНКОВОЙ ТЕХНИКИ В ВЫСОКОГОРНЫХ УСЛОВИЯХ

**Александр Ефремов**, ведущий научный сотрудник ГУП "38 НИИИ МО РФ", к.т.н.

Есть понятия, которые никогда не воспринимаются равнодушно – "первый", "впервые". В августе-сентябре 1953 г. впервые в истории бронетанковых войск состоялась экспедиция в ту часть СССР, где "мало земли [равнинной] и много гор". Так говорили о Памире, который открывала, исследовала и осваивала не одна сотня экспедиций, геологических партий, поисковых групп. И все же на их фоне экспедиция, о которой идет речь, была необычной.

Научно-исследовательским испытательным бронетанковым полигоном (ныне - ГУП "38 НИИИ МО РФ") были проведены испытания техники в высокогорных условиях в районе Памирского тракта на участке от города Ош до поселка Мургаб на высотах от 1000 до 4655 м. Памирский тракт проходит по долинам рек, по склонам хребтов, высокогорным плато (Аллайская долина, долина Мус-Кол, плато Кара-Куль, долина Маркан-Су). Маршрут имеет резко выраженный горный характер, включающий перевалы Чигирчик - 2406 м, Талдык - 3650 м, Кызыл-Арт - 4320 м и Ак-Байтал - 4655 м.

Испытаниям подвергались следующие типы танков, самоходных орудий и бронетранспортеров:

- современные (для того времени) танки Т-54 с двигателями типа В-54 - четырехтактными 12-цилиндровыми дизелями мощностью 520 л.с.;

- танки Т-34-85 с двигателями В2-34 мощностью 500 л.с.;

- авиадесантные самоходно-артиллерийские установки АСУ-57 с двигателями М-20Е - четырехтактными четырехцилиндровыми карбюраторными мощностью 50 л.с.;

- колесные бронетранспортеры БТР-40 с двигателями ГА3-40 - четырехтактными четырехцилиндровыми карбюраторными мощностью 78 л.с.;

- колесные бронетранспортеры БТР-152 с двигателями ЗИС-123 - четырехтактными восьмицилиндровыми карбюраторными мощностью 110 л.с.

Кроме того, испытания проходили мотоциклы М-72, которые до снятия с вооружения также относились к бронетанковой технике (БТТ).

Испытания производились для определения боевых и эксплуатационных качеств техники и проверки технических характеристик основных узлов и агрегатов машин при эксплуатации в горной местности. Целью испытаний была разработка рекомендаций промышленности по направлениям совершенствования БТТ, отработка изменений в инструкции по эксплуатации БТТ при действиях в горных условиях, а также оценка влияния высокогорных условий на боеспособность экипажей и разработка предложений, направленных на ее повышение.

Двигатели машин отработали на высотах до 2000 м - 11...20 %, до 3200 м - 38...63 % и свыше 3200 м - 37...62 % от общей продолжительности времени работы в горной местности.



"Тридцатьчетверка" на склоне крутизны 24°

На каждой из контрольных высот при заводских и рекомендованных испытателями регулировках двигателей определялись динамические, разгонные характеристики и максимальные скорости машин, снимались их экономические и температурные характеристики, а также определялись максимально преодолеваемые подъемы,

спуски, косогоры по крутизне и протяженности. Решался и ряд других задач.

С уменьшением плотности воздуха массовый заряд топливовоздушной смеси, подаваемой в цилиндры, уменьшается, что закономерно обуславливает уменьшение мощности двигателя. Вместе с тем, уменьшается сопротивление на выхлопе. При исследовании динамических характеристик танков и самоходных установок была экспериментально установлена зависимость мощности их двигателей от высоты.

## Уменьшение мощности двигателей от высоты местности

Марка двигателя	1...2 км	2...3 км	3...4 км
Дизель типа В-2	3...4 %	9...10 %	11...12 %
Бензиновый М-20Е	8...9 %	17...18 %	30...31 %

Таблица 1

Исследования зависимости времени разгона машин показали, что на высоте 1000 м танк Т-54 и АСУ-57 достигают скорости  $V = 28$  км/ч за 14 и 16 с, соответственно, на высоте 2000 м - за 15,2 и 11,2 с, на высоте 3200 м - за 18 и 15 с, на высоте 4000 м - за 20 и 28 с. Полученные данные свидетельствуют о сложном характере зависимости падения мощности от высоты.

В ходе памирской экспедиции сотрудниками бронетанкового полигона были проведены специальные стендовые испытания двигателей типа В-2. В частности, измерялась величина разрежения во всасывающих коллекторах двигателей. Выяснилось, что у двигателя танка Т-34 она оказалась в 2...3 раза большей, чем у дизеля В-54 танка Т-54. Затем были определены величины абсолютных давлений во всасывающем тракте на различных высотах и скоростных режимах двигателя. Испытаниями установлено, что увеличение угла опережения впрыска топлива в цилиндры дизеля с ростом высоты (уменьшением плотности воздуха) благотворно сказывается на качестве рабочего процесса и позволяет сдерживать падение мощности.

Важнейшим измеренным параметром в тракте выпускного коллектора являлась температура отработавших газов (ОГ). Начиная с высоты местности над уровнем моря 2500 м и выше, при работе танковых двигателей на предельных нагрузках вследствие снижения коэффициента избытка воздуха наблюдался дымный выхлоп и повышение температуры ОГ, что свидетельствовало о неполном сгорании топлива и уменьшении мощности двигателя. Максимальное значение температуры ОГ при преодолении подъемов составляло 600...650 °С у двигателей В-54 и 680...700 °С у В2-34.

Как и на этапе стендовых испытаний В2-34 выявилось, что увеличение угла опережения впрыска топлива при движении танков с постоянной скоростью обеспечивало увеличение коэффициента избытка воздуха и снижение температуры отработавших газов.

Далее оценивалось влияние высоты местности над уровнем моря на экономичность двигателей. Известно, что индикаторная мощность двигателя  $N_i$  (мощность, развиваемая внутри цилиндров) безнаддувного четырехтактного дизеля прямо пропорциональна плотности воздуха. Если расход топлива  $G_T$  с изменением высоты местности над уровнем моря принять постоянным (при всех прочих равных условиях: частоте вращения коленвала, нагрузке, температуре окружающей среды и т.д.), то по мере увеличения высоты и соответствующего снижения индикаторной мощности будет происходить ухудшение индикаторной эконо-

мичности, поскольку удельный расход топлива увеличивается:

$$g_i = G_T / N_i$$

Таким образом, с повышением высоты местности у двигателей внутреннего сгорания без наддува существенно понижается мощность и ухудшается экономичность.

При экспериментальном снятии характеристик экономичности измерялись расходы топлива и время движения по мерному участку на всех передачах, где это позволяла высота местности. Результаты измерений для двигателя В-54 приведены в табл. 2.

Результаты испытаний свидетельствовали, что повышения экономичности двигателей типа В-2 можно было добиться, если угол опережения впрыска топлива корректировать в зависимости от высоты над уровнем моря. Так, до  $H = 2500$  м наиболее целесообразной являлась заводская установка -  $31^\circ$  до верхней мертвой точки (ВМТ); на  $H = 2500...3500$  м угол следовало увеличить до  $33...34^\circ$ ; а при  $H = 3500$  м и выше - до  $35...36^\circ$ .

Еще одним фактором, ограничивающим маневренность БТТ в горных условиях (помимо мощности двигателя и дорожно-грунтовых условий), является эффективность системы охлаждения двигателя. Система охлаждения должна обеспечивать длительную работу силовой установки на всех передачах и скоростях движения машины, допускаемых без перегрева и переохладения двигателя. При этом перегревом двигателя считалось такое тепловое состояние, при котором температура охлаждающей жидкости, выходящей из рубашки двигателя, превышала  $105^\circ\text{C}$  для танков и  $100^\circ\text{C}$  для АСУ и БТР. Двигатель считался переохлажденным, если температура жидкости опускалась ниже  $60^\circ\text{C}$ .

При оценке работы системы охлаждения определялась также температура масла на выходе из двигателя, которая в большинстве случаев оказывалась ниже температуры охлаждающей жидкости и лишь иногда превышала ее на  $2...3^\circ\text{C}$ . С учетом того, что максимально допустимая температура масла составляла  $110^\circ\text{C}$ , лимитирующей работу двигателя оказалась температура охлаждающей жидкости.

В ходе испытаний было установлено, что с подъемом на высоту в жидкостном насосе системы охлаждения возникали кавитационные явления. Начало кавитации определялось по снижению производительности насоса. В зависимости от вида охлаждающей жидкости, ее температуры и абсолютного давления на входе в насос, кавитация возникала на разных высотах.

Для двигателя В-54 кавитационные характеристики насоса и его кавитационный запас определялись экспериментально. Была построена зависимость объемной подачи насосом охлаждающей жидкости от абсолютного давления на входе в насос при постоянной частоте вращения коленчатого вала двигателя и постоянной температуре входящей охлаждающей жидкости.

При абсолютном давлении на входе в насос, меньшем  $12\ 200\text{ кгс/м}^2$ , подача воды насосом снижалась, т.е. возникала кавитация. Допустимым считалось снижение объемной подачи воды жидкостным насосом на  $10\%$ , что практически не влияло на теплопередачу радиатора. Такое снижение подачи воды происходило при абсолютном давлении на входе в насос, равном примерно  $11\ 350\text{ кгс/м}^2$ .

Как известно, системы охлаждения двигателей БТТ являются закрытыми. В таких системах в заливной горловине радиатора или в расширительном бачке устанавливают паровоздушный клапан. На двигателе В-54 затяжка пружины парового клапана обеспечивала его открытие при избыточном давлении  $0,6...0,8\text{ кгс/см}^2$ . В ходе экспериментов удалось установить, что на высоте  $4000$  м при температуре воды на выходе из рубашек двигателя  $105^\circ\text{C}$  и давлении открытия парового клапана  $0,8\text{ кгс/см}^2$  объемная подача воды насосом снижалась всего на  $11\%$ , т.е. система охлаждения функционировала нормально. Однако в том случае, если паровой клапан был оттарирован на  $0,6\text{ кгс/см}^2$ , то при тех же условиях подача воды насосом практически прекращалась. Испытатели рекомендовали промышленностью увеличить минимальное давление открытия парового клапана до  $0,9\text{ кгс/см}^2$ , что обеспечивало удовлетвори-

**Зависимость экономичности двигателя В-54 от высоты и скорости движения танка на различных передачах**

Передача	V, км/ч	Расход топлива, л/км, на H, м		Увеличение расхода топлива на H=4 км по сравнению с H=1 км, %
		1000	4000	
1	6	3,5	3,85	10
	8	4,7	5,75	22,4
2	12	2,05	2,55	24,4
	16	2,55	3,55	39,0
3	16	1,75	2,40	37,0
	22	2,20	3,25	47,5
4	22	1,50	2,25	50,0

Таблица 2

тельную работу насоса системы охлаждения на всех высотах.

Еще до испытаний в горах было известно, что танк Т-54 даже на равнинной местности ( $H = 0$ ) при температуре атмосферного воздуха  $45^\circ\text{C}$  не способен длительно двигаться на пятой передаче из-за перегрева двигателя. Поэтому для обеспечения полного использования скоростей на пятой передаче на высотах до  $2000$  м испытатели рекомендовали увеличить максимально допустимую температуру охлаждающей жидкости до  $110^\circ\text{C}$ , минимальное давление открытия парового клапана - до  $1,1\text{ кгс/см}^2$ , а также улучшить качество пайки радиаторов.

После окончания памирской экспедиции двигатели машин, участвовавших в ней, были подвергнуты повторным стендовым испытаниям. Выяснилось, что мощность и экономичность двигателей В-54 и В2-34 после работы в горах изменились не слишком сильно, однако расход масла у двигателя В2-34 увеличился до  $14\text{ кг/ч}$ , что сочли недопустимым. Для двигателей ГАЗ-40 оказалось типичным небольшое понижение мощности. Двигатели М-20Е максимальную мощность не снизили.

На основании стендовых испытаний двигателей и оценки состояния их деталей после эксплуатации в высокогорной местности были сделаны следующие выводы:

- двигатели В-54, ГАЗ-40 и М-20Е имеют удовлетворительное техническое состояние и могут быть допущены к дальнейшей эксплуатации;
- двигатели В2-34 и ЗиС-123 находятся в неудовлетворительном техническом состоянии. В2-34 имеет значительные износы деталей цилиндропоршневой и кривошипно-шатунных групп вследствие недостаточной очистки воздуха. Двигатель ЗиС-123 помимо аналогичных с В2-34 износов деталей имел частичные обрывы юбок на третьем и четвертом поршнях.

По мнению автора, результаты и рекомендации первых и единственных такого рода испытаний силовых установок бронетанковой техники на высотах  $4500...4600$  м продолжают представлять интерес и в наши дни.

Для современной и перспективной бронированной техники с более мощными двигателями и более плотными компоновками моторно-трансмиссионных отделений обеспечение возможности ее применения на высотах до  $4500$  м над уровнем моря является одним из наиболее жестких требований. Разработчики стремятся не допустить существенных потерь мощности, ухудшения экономичности, сохранить работоспособность цилиндропоршневой группы, ограничить опасную для выпускной трассы двигателя температуру отработавших газов, исключить кавитацию в жидкостных насосах систем охлаждения... Для высокогорных условий - это проблемы сегодняшнего дня.



Танк Т-54 в процессе испытаний в горах

# СОВЕТСКИЕ АТОМНЫЕ ПОДВОДНЫЕ ЛОДКИ ВТОРОГО ПОКОЛЕНИЯ

**Александр Маринин**

В период с 1956 по 1967 г. судостроительная промышленность Соединенных Штатов Америки сумела реализовать грандиозную программу развертывания нового элемента стратегической триады - атомного подводного флота, включавшего 41 лодку с 656 баллистическими ракетами на борту. Одновременно быстрыми темпами строились противолодочные подводные атомоходы, так называемые "убийцы" подлодок вероятного противника. Качественно менялся и надводный флот США. В его состав вступали все более мощные авианосцы, способные доставлять в нужную точку океана сотни боевых самолетов. Для прикрытия этих плавучих аэродромов от атак из-под воды и с воздуха на воду спускались все новые крейсера, эсминцы и фрегаты. Накапливавший экономическую и военную мощь Советский Союз не мог безучастно наблюдать за нарастанием угрозы с морских направлений. Так сложилось, что в тот период отечественным конструкторам и судостроителям пришлось быстрыми темпами догонять "супостата". В качественном отношении советские подлодки первого поколения уступали американским. Особенно сильно это отставание ощущалось в отношении баллистического ракетного вооружения, возможностей гидроакустического оборудования, а также в отношении шумности. Необходимо было срочно "преодолеть высшую технику", как сказал классик.

И вот тут плановая советская экономика в очередной раз продемонстрировала свои сильные стороны. В 1967 г. в строй вступили первые подлодки второго поколения всех трех классов - с баллистическими ракетами, с крылатыми ракетами и многоцелевые торпедные. Началось быстрое насыщение Северного и Тихоокеанского флотов новыми субмаринами. В 70-е годы на отечественных верфях было спущено на воду втрое больше атомных подводных лодок, чем в США. К их постройке кроме крупнейших производственных объединений Северодвинска и Комсомольска-на-Амуре были подключены еще два ленинградских предприятия и завод в Горьком. Ремонт, модернизацию и переоборудование атомных лодок кроме судоремонтных заводов в Северодвинске и Большом Камне, мощности которых увеличились, стал выполнять новый судоремонтный завод "Нерпа". Ремонт атомных лодок занимались также заводы ВМФ в районах Мурманска, Петропавловска-на-Камчатке и Владивостока.

## Подводные лодки с баллистическими ракетами

Проектирование атомных подводных лодок второго поколения с баллистическими ракетами началось еще в конце 50-х годов. Главной целью считалось увеличение боекомплекта ракет на борту лодки. Первоначально лодку проекта 667 планировалось вооружить ракетами Р-21 комплекса Д-4. В ЦКБ-18 (главный конструктор А.С. Кассациер) в 1960 г. разработаны эскизный и технический проекты. Подводный ракетноносец должен был нести восемь ракет в горизонтальных спаренных контейнерах (как на лодке проекта 675), которые перед пуском (в подводном положении) поворачивались на 90°. Очевидцы рассказывали о произошедшем при демонстрации модели этой лодки первому секретарю ЦК КПСС Н.С. Хрущеву скандале: механизм поворота заклинило, и ракетные контейнеры застыли в промежуточном положении. Хрущев, якобы, с укоризной заметил: *"Если у вас сломалась даже эта игрушка, то чего можно ожидать от настоящей лодки?"*

Ракеты Р-21 были слишком велики для вертикального размещения в корпусе корабля, недаром на лодках первого поколения их пришлось частично прятать в ограждениях огромных рубок. Положение спасла малогабаритная одноступенчатая ракета Р-27, спроектированная в СКБ-385 под руководством В.П. Макеева в инициативном порядке. При вдвое большей максимальной дальности пуска (2500 км) по сравнению с Р-21 ее удалось втиснуть в шахту, объем которой составлял всего 40 % от объема шахты ракеты-предшественницы. Компоненты топлива (несимметричный диметилгидразин и азотный тетраоксид) заправлялись в ракетные баки непосредственно на заводе-изготовителе, а затем производилась так называемая "ампулизация" баков. Такое решение революционным образом упрощало эксплуатацию ракет с ЖРД: ведь на лодках первого поколения заправка ракет производилась перед пуском! Другим достоинством ракеты считалась возможность применения ее модификации Р-27К для поражения крупных надводных целей с использованием (впервые в мировой практике) пассивной радиолокационной системы наведения (впрочем, такие ракеты на вооружение приняты не были).

После внесения в 1962 г. коренных изменений в ЦКБ-18 был разработан технический проект новой лодки (проект 667А, шифр "Навага", главный конструктор С.Н. Ковалев). В новой конструкции в качестве основного оружия предусматривались 16 ракет Р-27 комплекса Д-5 в двух рядах вертикальных шахт, подобно тому, как

это было сделано на американских атомных подлодках с ракетами на борту (ПЛАРБ). Кстати, за внешнее сходство с ними, среди наших моряков впоследствии стало популярным насмешливо-неофициальное наименование лодок этого проекта - "Иван Вашингтон" (как известно, первая американская ПЛАРБ называлась "Джордж Вашингтон").

Параллельно с созданием ракет на жидком топливе с 1958 г. в ленинградском КБ "Арсенал" началась разработка первых твердотопливных ракет комплекса Д-6. Однако испытания не принесли положительных результатов и в 1961 г. все работы по Д-6 были прекращены. Позже, на основе опыта, накопленного специалистами "Арсенала", началось создание твердотопливных ракет РТ-15М комплекса Д-7 в СКБ В.П. Макеева. Однако и эти работы прекратили, поскольку стартовая масса отечественной ракеты получилась равной 50 т, что втрое превосходило показатель американского аналога. Уровень отечественного ракетостроения того времени не позволил создать твердотопливную ракету, сравнимую по эффективности с американской ракетой "Поларис", и на вооружение была принята жидкостная ракета Р-27 комплекса Д-5.

Следует отметить, что классическая схема подводного ракетноносца и боекомплект ракет, впервые реализованные в американском флоте, были повторены советскими, английскими, а позднее и французскими судостроителями. Однако отечественные подводные ракетноносцы имели целый ряд отличий от американских "прототипов". Во-первых, они были двухкорпусными. Во-вторых, для повышения надежности конструкторы избрали двухвальную схему. В состав главной энергетической установки мощностью 52 000 л.с. входили два водо-водяных реактора ВМ-2-4 и два турбозубчатых агрегата ГТЗА-635. Вспомогательная энергоустановка включала два дизель-генератора ДГ-460, две группы аккумуляторных батарей и два гребных реверсивных электродвигателя подкрадывания ПГ-153. По сравнению с атомными ракетноносцами первого поколения лодка проекта 667А имела большую глубину погружения и значительно более совершенное вооружение и оборудование. Чтобы подчеркнуть качественные отличия новой лодки от предшественниц, для нее даже придумали специальное название - ракетный подводный крейсер стратегического назначения (РПКСН).

Головная подводная лодка была передана ВМФ 5 ноября 1967 г. на Северном машиностроительном предприятии. В 1967-

1974 г. в Северодвинске и на заводе им. Ленинского комсомола в Комсомольске-на-Амуре построили самую большую в истории отечественного кораблестроения серию атомных лодок - 34 единицы. С завершением постройки этой серии подводных ракетоносцев в СССР, хотя и на несколько лет позже, чем в США, была создана морская стратегическая система, сопоставимая с американской системой "Поларис". Она была способна решить задачу нанесения гарантированного ущерба вероятному противнику в ответном ударе. Роль морской составляющей отечественной стратегической системы резко повысилась. При всем том, правда, по отдельным характеристикам как ракет (точность, дальность и др.), так и их носителей отечественная система уступала американской.

Осенью 1969 г. подводная лодка К-140 проекта 667А впервые в мире осуществила восьмиракетный подводный залп. Успехи отечественного атомного подводного кораблестроения в немалой степени способствовали заключению с США в 1972 г. "Временного соглашения о некоторых мерах в области ограничения стратегических наступательных вооружений" ОСВ-1, а позже и договора ОСВ-2.

Из-за относительно небольшой дальности пуска ракет лодкам проекта 667А приходилось выходить на боевое патрулирование непосредственно к побережью США. Зафиксированы неоднократные случаи столкновений наших ПЛАРБ, которым американцы дали наименование Yankee, с многоцелевыми лодками вероятного противника, осуществлявшими слежение. По одной из версий, затонувшая у восточного побережья США 3 октября 1986 г. лодка К-219 стала жертвой очередного столкновения: в результате удара разгерметизировались баки одной из ракет, которая затем воспламенилась.

Благодаря технической целесообразности и перспективности решений, положенных в основу создания ракетоносца проекта 667А и его ракетного комплекса, стала возможной поэтапная модификация ПЛАРБ второго поколения. Прежде всего, речь шла об оснащении лодок все более совершенными ракетными комплексами с улучшенными характеристиками. Часть лодок проекта 667А в 1972-1983 гг. вооружили ракетным комплексом Д-5У с баллистической ракетой Р-27У, имеющей увеличенную до 3000 км дальность и моноблочную или разделяющуюся (пока еще без индивидуального наведения) боевую часть (проект 667АУ). Лодки оснащались новым ракетным комплексом частично в ходе постройки, частично в ходе модернизации.

Одна из ПЛАРБ в 1976 г. в ходе модернизации на заводе "Звездочка" была оснащена первым принятым в СССР на вооружение (точнее - в опытную эксплуатацию, которая продолжалась 10 лет) твердотопливным ракетным комплексом Д-11 с двухступенчатой ракетой Р-31 (главный конструктор П.А. Тюрин) с дальностью стрельбы до 3900 км. После переоборудования лодка проекта 667АМ стала нести только 12 ракет из-за их большей массы и габаритов. В процессе испытаний и практических стрельб лодка успешно отстреляла три боекомплекта, но в силу ряда причин в большую серию Р-31 так и не пошла.

СССР, создавая морскую стратегическую систему, к концу 60-х годов по потенциалу стал приближаться к США. В ответ ВМС США реализовали массивную программу перевооружения атомных лодок ракетами "Посейдон" с разделяющимися головными частями индивидуального наведения (1970-1974 гг.). Не оставшись в долгу, советские кораблестроители установили на подводной лодке проекта 667Б стратегические баллистические ракеты Р-29 комплекса Д-9, обладавшие межконтинентальной дальностью - до 9000 км (втрое больше, чем у Д-6 с ракетой Р-27У). Создание такой ракеты позволило резко снизить уязвимость отечественных РПКСН, поскольку пуск

можно было производить из районов, контролируемых собственными силами противолодочной обороны, и даже непосредственно от причала базы. Заметим, что американские "Посейдоны" имели меньшую дальность пуска (около 4800 км).

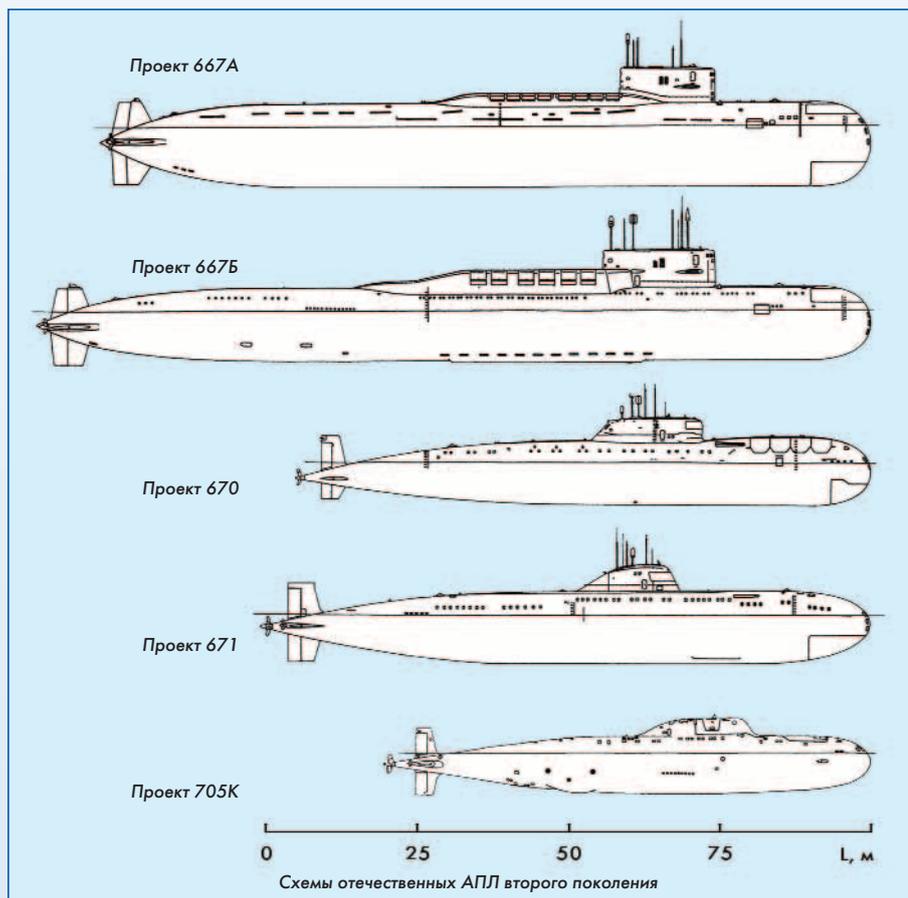
Разработка комплекса с двухступенчатой баллистической ракетой Р-29 началась в 1963 г. В этом же году был разработан аванпроект, в котором рассматривались варианты лодки с дизель-электрической и атомной энергетическими установками и различным боекомплектом ракет (ЦКБ-16, главные конструкторы А.С. Смирнов, Н.Ф. Шульженко). По результатам разработки в 1964 г. было принято решение модернизировать для испытаний ракетного комплекса одну из атомных лодок проекта 658. Испытания опытной лодки, переоборудованной на Северном машиностроительном предприятии, начались в 1970 г. На ПЛАРБ водоизмещением около 5000 т разместили шесть ракет Р-29 в диаметральной плоскости в двух отсеках. Успешное завершение испытаний проложило путь к широкому развертыванию комплекса Д-9 на новых РПКСН.

В 1965 г. началась работа над собственно атомной подводной лодкой с ракетным комплексом Д-9, которая сменила в постройке лодку проекта 667А. Головная ПЛАРБ проекта 667Б (шифр "Мурена") была передана флоту в 1972 г. на Северном машиностроительном предприятии. В 1972-1977 гг. в Северодвинске и Комсомольске-на-Амуре построили 18 лодок этого типа. Для размещения на лодке водоизмещением около 9000 т более крупных и тяжелых ракет боезапас корабля по сравнению с лодкой проекта 667А пришлось уменьшить на четверть. За ограничением выдвигных устройств у лодки проекта 667Б появился характерный "горб". Главная энергетическая установка была несколько модернизирована по сравнению с кораблями проекта 667А (в частности, были установлены два реактора ВМ-4Б и более мощные электродвигатели экономического хода). Впервые на отечественных подлодках для управления ракетной стрельбой была применена цифровая вычислительная система. РПКСН проекта 667Б мог выпустить все 12 ракет одним залпом, а затем нырнуть на глубину 320 м.

Головной корабль этого типа К-289 был принят флотом в 1972 г. Его командир В.П. Фролов первым в СССР получил "штатное" звание контр-адмирал - прежде командир любого, даже самого мощного корабля не мог претендовать на воинское звание выше капитана 1 ранга. Это стало своеобразным признанием потрясающих боевых возможностей РПКСН проекта 667Б. К примеру, зимой 1982-1983 гг. одна из лодок несла боевую службу подо льдами... Белого моря, где была абсолютно защищена от любых воображаемых ударов противника, оставаясь в постоянной го-



Атомная подлодка проекта 667Б



товности к ракетному залпу по заокеанским территориям. В 1984 г. лодка проекта 667Б на глубине около 200 м столкнулась с подводной частью айсберга, но сумела благополучно вернуться на базу (это было открытие: прежде все гидрографические справочники утверждали, что глубина "подошвы" самых крупных айсбергов не превышает 160 м).

В развитии серии "букашек" (так, не слишком уважительно, прозвали проект 667Б на флоте, а американцы присвоили им шифр Delta) в 1975 г. в Северодвинске были переданы ВМФ четыре подводных корабля проекта 667БД (по западной классификации - Delta-2). Их основным отличием от предыдущей серии явилось увеличение боезапаса ракет комплекса Д-9 до 16 единиц (путем врезки дополнительного ракетного отсека). С постройкой лодки этого типа мировое подводное кораблестроение преодолело определенный рубеж - впервые надводное водоизмещение ПЛАРБ превысило 10 000 т. Мощность главной энергетической установки увеличилась до 55 000 л.с., но максимальная скорость лодки все же уменьшилась на 1 узел. Доработанный ракетный комплекс (Д-9Д) лодки обеспечивал высокую точность доставки головной части (круговое вероятное отклонение менее 1 км) при дальности пуска 9100 км. Все отечественные подводные ракетноносцы, начиная с проекта 667БД, строились в Северодвинске.

### Подводные лодки с крылатыми ракетами

В середине 1960-х годов, завершив постройку атомных и дизель-электрических подводных лодок первого поколения с противокорабельными крылатыми ракетами большой дальности, судостроительная промышленность СССР перешла к постройке лодок второго поколения. Основные мощности предприятий Северодвинска и Комсомольска-на-Амуре переключились на реализацию стратегической программы ПЛАРБ, а постройка атомных лодок с крылатыми ракетами сосредоточилась в основном в Горьком.

Разработка крылатых ракет для этих лодок началась под руководством В.Н. Челомея еще в конце 50-х годов. Первой из них была противокорабельная ракета "Аметист", которая в отличие от ракет предыдущего поколения имела твердотопливный двигатель

и подводный старт, но существенно меньшую дальность стрельбы (до 80 км) при околозвуковой скорости полета. Кроме того, ракета имела только автономную систему наведения. Бросковые (отработка пуска) и летно-конструкторские испытания комплекса "Аметист" проводились в 1964-1966 гг. на переоборудованных лодках проектов 613А и 613АД. Комплекс был принят на вооружение в 1967 г.

Для вооружения ракетами "Аметист" параллельно проектировались атомные лодки проектов 670 и 661. Создание подводной лодки второго поколения проекта 670 (шифр "Скат", на Западе им присвоили наименование Charlie) с крылатыми ракетами (ПЛАРК) было поручено горьковскому СКБ-112 (главный конструктор В.П. Воробьев). Там же, на заводе "Красное Сормово", в 1967-1972 гг. построили 11 лодок этого типа. Это были первые атомные лодки, построенные в Горьком. Водоизмещение лодки проекта 670 составляло около 3570 т. Корабль имел такой же, как на атомных лодках первого поколения, боекомплект (8 единиц), но ракеты на нем компактно размещались в носовой части в контейнерах, смонтированных под углом к горизонту. Пуск ракет производился из-под воды. Полет ракеты проходил на малой высоте порядка 50...60 м, что затрудняло ее перехват средствами ПВО.

Первая отечественная однореакторная атомная лодка имела обтекаемую форму, большую скорость и глубину погружения, значительно более совершенное вооружение и оборудование, а также лучшую защищенность по сравнению с лодками проекта 675. Главная энергетическая установка мощностью 15 000 л.с., унифицированная с установкой многоцелевой лодки проекта 671, включая реактор ВМ-4 и турбозубчатый агрегат ГТЗА-631. Вспомогательная энергоустановка работала на водометные движители, что позволяло почти бесшумно двигаться со скоростью до 5 узлов. Как и на других атомоходах второго поколения, применялась система генерирования электроэнергии на переменном токе напряжением 380 В и частотой 50 Гц.

Ракетным комплексом "Аметист" была вооружена также атомная лодка проекта 661 (шифр "Анчар"), разработка которой началась в 1958 г. в ЦКБ-16 (главные конструкторы Н.Н. Исанин и Н.Ф. Шульженко). Это была первая в мире атомная подводная лодка с титановым корпусом. Благодаря применению титана удалось уменьшить размеры и водоизмещение лодки. Значительно уменьшался один из важнейших демаскирующих факторов подлодки - изменение напряженности магнитного поля, создаваемое ее корпусом.

Другим важнейшим отличием лодки стало применение мощнейшей атомной энергетической установки (80 000 л.с.) с двумя реакторами В-5Р и турбозубчатыми агрегатами ГТЗА-518. На испытаниях лодка проекта 661 продемонстрировала самую высокую скорость хода по сравнению со всеми существовавшими отечественными и иностранными атомными лодками - 44,7 узла. Этот рекорд вряд ли будет превзойден и в обозримой перспективе. Для создания лодки ЦНИИ-45, ЦНИИ-48 и другим институтам отрасли пришлось провести большой объем научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ. Лодка водоизмещением около 5200 т была вооружена 10 крылатыми ракетами "Аметист", расположенными в контейнерах в носовой части вне прочного корпуса под углом к горизонту. Кроме того, она несла 4 торпедных аппарата и 12 торпед.

Строительство лодки началось в Северодвинске в 1962 г. Закладка состоялась 28 декабря 1963 г. в цехе 42, который был до-

оснащен для работы с титановыми сплавами. Первоначально планировалась постройка серии лодок, однако лишь одна опытная лодка была передана флоту 31 декабря 1969 г. Заводу-изготовителю пришлось освоить множество абсолютно новых технологий, связанных с обработкой титана и изготовлением крупных конструкций из этого материала, что впоследствии благотворно сказало на сроках постройки других титановых подлодок. На Западе лодка проекта 661 получила обозначение Рага. Однажды лодка осуществляла слежение за американским авианосцем "Саратога", который попытался оторваться от нее, развив скорость около 30 узлов. Советская лодка не только не отстала, но и легко опередила "удивший" авианосец, который вскоре вынужден был признать бесперспективность соревнования и сбавить ход. Несмотря на выдающиеся тактико-технические элементы, лодку не стали строить серийно из-за высокой стоимости и большой шумности энергетической установки. Руководство ВМФ сделало ставку на модернизацию лодок проекта 670, благо для этого были все основания.

В 1962-1963 гг. началась разработка ракетного комплекса П-120 "Малахит". Основные отличия новой твердотопливной ракеты с подводным стартом от ракеты комплекса "Аметист" состояли в увеличенной в полтора раза дальности стрельбы и применении более совершенной системы управления. Ракета была размещена на атомной лодке проекта 670М (шифр "Чайка", западное обозначение Charlie 2), работа над которым началась в 1967 г. (ЦКБ "Лазурит", главные конструкторы В.П. Воробьев, А.Г. Лещев). Лодка имела более совершенные по сравнению с лодкой проекта 670 оборудование и радиоэлектронное вооружение. При сохранении боекомплекта ракет водоизмещение лодки возросло до 4300 т. В 1973-1980 гг. на заводе "Красное Сормово" было построено шесть таких кораблей.

Ракетным комплексом "Малахит" планировалось вооружить также атомные лодки проекта 686 (705А), разрабатывавшиеся в середине 60-х годов (СПМБМ, главные конструкторы Г.Я. Светаев, А.К. Назаров). Однако продолжения эта разработка не получила. Таким образом, в течение более десяти лет (1969-1979 гг.) в состав флота вступали новые атомные лодки с противокорабельными ракетами только и радиоэлектронное вооружение. В середине 80-х годов делались попытки перевооружения лодок проектов 670 и 670М более совершенным оружием, но реально была перевооружена только одна (установлен ракетный комплекс "Оникс").

**Многоцелевые торпедные подводные лодки**

Торпеды оставались одним из основных видов вооружения подводных лодок. Во второй половине 60-х - первой половине 70-х годов развивались как противолодочные, так и противокорабельные торпеды. Наряду с совершенствованием ранее созданных образцов, были разработаны принципиально новые торпеды. На базе противолодочных торпед (СЭТ-53 и СЭТ-65) созданы первые отечественные телеуправляемые торпеды. Продолжалось совершенствование малогабаритных торпед. В конце 60-х годов на вооружении атомных лодок появились первые отечественные противолодочные ракеты "Вьюга", подобные американским раке-

там "Саброк". В 70-х годах поступили на вооружение первые универсальные торпеды для борьбы как с надводными, так и с подводными целями. Современные подводные лодки вооружены универсальными 533-мм электроторпедами, дальнеходными тепловыми торпедами, скоростными подводными ракетами, не имеющими аналогов в зарубежных флотах, и ракето-торпедами, головными частями которых являются малогабаритные торпеды или ядерные заряды.

К проектированию торпедных атомных подводных лодок второго поколения организации судостроительной промышленности приступили в конце 50-х годов. Разрабатывались лодки проектов 671, 705, 669, 672 и 673. Проектирование трех последних типов лодок было вскоре прекращено, а проекты 671 и 705 передали в производство.

Разработка атомной лодки проекта 671 (шифр "Ерш", по западной классификации Victor) была поручена СКБ-143, которое в 1959-1961 гг. спроектировало корабль водоизмещением около 3500 т (главный конструктор Г.Н. Чернышев). Строительство лодок этого типа велось на Адмиралтейском заводе в Ленинграде. В 1967-1974 гг. флот получил 15 атомных подводных лодок этого проекта.

По сравнению с лодками первого поколения корабли проекта 671 имели большую скорость хода и глубину погружения, более совершенные оружие, радиоэлектронное вооружение и оборудование. В отличие от первых многоцелевых подводных лодок они, подобно ПЛАРК проекта 670, оснащались одновальной атомной энергетической установкой. Однако, чтобы дать подводному кораблю возможность преследования скоростных надводных и подводных целей, мощность установки увеличили вдвое (31 000 л.с.) благодаря применению двух унифицированных реакторов ВМ-4 и турбозубчатого агрегата ГТЗА-615. Три последних лодки этого типа (проект 671В) были впервые вооружены противолодочными ракетами РПК-2 "Вьюга", запускаемыми из торпедных аппаратов. По сравнению с американским аналогом - лодкой типа "Стерджен" отечественные подлодки проекта 671 имели более высокую подводную скорость и глубину погружения при одинаковом боекомплекте, но уступали в отношении шумности и дальности обнаружения гидроакустического комплекса.

Проект 671 лег в основу последующих улучшенных модификаций атомных лодок, постройка которых продолжалась до самого последнего времени. "Викторы" отличались яркой, насыщенной событиями биографией, обусловленной частыми заходами в Средиземное море, Персидский залив, Индийский океан и предпринимаемыми время от времени дальними переходами с одного морского театра на другой. Вероятно, наиболее широкую известность получил инцидент с лодкой К-314 (командир капитан 1 ранга А.М. Евсеев), которая при всплытии в Японском море на перископную глубину столкнулась с американским авианосцем "Китти Хок" и сделала в его корпусе пробоину длиной почти 40 м.

Для повышения боевых возможностей отечественных подлодок в борьбе с крупными надводными целями, такими как ударные авианосцы, в начале 60-х годов началась разработка уникальных не имеющих в мире аналогов дальнеходных торпед калибра 650 мм. Они были способны преодолевать 50-километровую дис-

**Основные ТТХ атомных подводных лодок второго поколения**

Характеристики	Проект 667А	Проект 667Б	Проект 670	Проект 671РТ	Проект 705К
Водоизмещение нормальное, т	7760	8900	3624	4673	2300
Длина наибольшая, м	128	139	95,6	101,8	81,4
Ширина наибольшая, м	11,7	11,7	9,6	10,8	10
Рабочая глубина погружения, м	320	320	240	320	350
Автономность, суток	70	70	60	60	50
Скорость подводного хода, узлов	28	26	26	31,7	41
Экипаж, чел.	114	120	86	88	32
Вооружение:					
торпедные аппараты	2x400 мм	2x400 мм	2x400 мм	2x650 мм	6x533 мм
ракеты	4x533 мм	4x533 мм	4x533 мм	4x533 мм	-
	16xР-27	12xР-29	8x"Аметист"	-	-

танцию со средней скоростью 50 узлов, доставляя к цели полтонны мощного взрывчатого вещества. Для вывода из строя авианосца, по расчетам должно было хватить попадания одной - двух торпед. В 1963 г. началось проектирование подводной лодки проекта 671РТ (главный конструктор Г.Н. Чернышев), вооружение которой состояло из двух 650-миллиметровых и четырех 533-миллиметровых торпедных аппаратов. Последние обеспечивали пуск не только торпед, но и противолодочных ракет "Вьюга". Боевые возможности лодки заметно возросли благодаря оснащению ее боевой информационно-управляющей системой "Ладога". Водоизмещение лодки возросло до 4300 т. В 1972 г. головную лодку передали флоту. Серийная постройка лодок этого типа (7 единиц) осуществлялась на горьковском заводе "Красное Сормово" и ленинградском Адмиралтейском заводе.

В 1977 г. флот пополнился головной атомной лодкой проекта 671РТМ (шифр "Щука", западное название Victor III), основным отличием которой от лодок предыдущих типов являлись улучшенные характеристики защищенности и мощное гидроакустическое вооружение (главный конструктор Г.Н. Чернышев, а затем Р.А. Шмаков). Для интенсификации программы многоцелевых атомных лодок к постройке помимо Адмиралтейского объединения был подключен завод в Комсомольске-на-Амуре, закончивший строительство атомных лодок с баллистическими ракетами. Одним из важнейших элементов вооружения модернизированного атомохода стал противолодочный ракетный комплекс ВА-111 "Шквал". Его уникальная по боевым свойствам подводная ракета развивает скорость 200 узлов при дальности хода 11 км.

Постройка серии лодок проекта 671РТМ (26 единиц) продолжалась до 1992 г. Они стали самыми распространенными кораблями среди отечественных многоцелевых атомных лодок. Всего с 1967 г. по проектам 671, 671РТ и 671РТМ было построено 48 кораблей. По оценкам специалистов, подводные лодки проекта 671РТМ и их американские современницы типа "Лос-Анджелес" (всего построено 62 лодки этого типа) были приблизительно эквивалентными кораблями по комплексу боевых характеристик.

Параллельно с постройкой многоцелевых ПЛА второго поколения осуществлялась программа создания противолодочных атомных лодок пр. 705 (главные конструкторы В.Н. Перегудов, М.Г. Русанов, В.В. Ромин под общим научным руководством академика А.П. Александрова). В 1961-1963 гг. в СКБ-142 выполнили эскизный и технический проекты. Планировалось создать большую серию комплексно автоматизированных высокоскоростных (около 40 узлов) атомных лодок малого (менее 2500 т) водоизмещения с экипажем втрое меньшей численности, чем на других лодках второго поколения. Кроме нового вооружения (автоматизированный 533-миллиметровый торпедно-ракетный комплекс) и оборудования на лодке была применена атомная энергетическая установка с жидкометаллическим теплоносителем, а также титановый сплав для корпусных конструкций и оборудования. Попытка объединить в одном проекте многие разноплановые научно-технические достижения осложнила создание лодки. Строительство опытной лодки, начатое на заводе "Судомех" (в 1966 г. переименован в Ново-Адмиралтейский) в Ленинграде в 1964 г., было закончено только в 1971 г.

Ее испытания из-за аварий пришлось прервать, а в 1974 г. опытный корабль утилизировали. На этапе опытной эксплуатации выявились серьезные дефекты паропроизводящей установки ОК-550 с жидкометаллическим реактором.

Неудача с головным кораблем затормозила реализацию программы, но не остановила ее. Идею создания столь необычной, поистине революционной лодки энергично поддерживал Д.Ф. Устинов. В конце 70-х - начале 80-х годов в Ленинграде и Северодвинске была построена серия из шести атомных лодок усовершенствованного проекта 705К с паропроизводящей установкой БМ-40А, разработанной ОКБ "Гидропресс". Впервые в мире лодка была оснащена всплывающей камерой для спасения всего экипажа с глубин, вплоть до предельной. Новые ПЛА, получившие у наших моряков прозвище "автоматы", а на Западе - наименование Alfa, вызывали большой интерес по обе стороны "железного занавеса". Располагая отличными разгонными характеристиками (достоинство, обусловленное использованием реактора с жидкометаллическим теплоносителем) и максимальной скоростью 41 узел, лодка проекта 705К могла легко уклоняться от торпед противника.

Как видно, по ряду характеристик лодки проекта 705К значительно превосходили современников, но оказались очень шумными. Не удалось разрешить и ряд эксплуатационных проблем (регенерация теплоносителя с удалением шлаков, непрерывное поддержание реактора в "теплом" состоянии и т.п.). Несмотря на это, создание лодок проекта 705 явилось большим достижением отечественной науки и техники и вызвало серьезный резонанс за рубежом.

В августе 1966 г. в ЦКБ-18 (главные конструкторы Н.А. Климов, а затем Ю.Н. Кормилицын) началось создание опытной многоцелевой титановой глубоководной атомной лодки проекта 685. Важнейшим показателем, характеризовавшим сложность поставленной задачи, являлась рабочая глубина погружения - 1000 м, что было примерно в 2,5 раза больше уровня, достигнутого на серийных лодках. Несмотря на уникальность, во всех других отношениях лодка задумывалась как полноценный боевой корабль, способный в случае успеха стать головным для серии. Применение титана позволило значительно уменьшить массу корпуса. Энергетическая установка была одновальной однореакторной с турбозубчатым агрегатом мощностью 43 000 л.с., обеспечивавшим лодке максимальную скорость 30 узлов. Вооружение лодки состояло из шести 533-миллиметровых торпедных аппаратов, приспособленных для пуска торпед, ракет-торпед и подводных ракет.

Подлодку К-278 проекта 685 заложили 22 апреля 1978 г. на Северном машиностроительном предприятии, а в 1983 г. передали в опытную эксплуатацию. Лодка совершила несколько походов, совершая погружения на рабочую глубину 1000 м, где, как выяснилось, она практически не обнаруживалась никакими средствами поиска. В 1988 г. атомоход получил название "Комсомолец". Уникальный эксперимент прервала трагическая гибель лодки в 1989 г.

В 70-х - начале 80-х годов разрабатывался еще ряд опытных многоцелевых атомных лодок - скоростных, глубоководных, малозумных, в том числе из нетрадиционных судостроительных материалов, включая стеклопластик, но все они по разным причинам не получили дальнейшего развития. **▲**

**Строительство атомных подводных лодок второго поколения в 1967-1981 годах**

Номер проекта	Год															
	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	Всего
667А(АУ)	2	4	6	9	9	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	34
667Б	-	-	-	-	-	1	2	6	4	3	2	-	-	-	-	18
667БД	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	4
670	1	-	3	3	2	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	11
670М								1		1	1		1	1	1	6
671	1	2	2	2	2	2	2	2	-	-	-	-	-	-	-	15
671РТ	-	-	-	-	-	1	-	1	1	2	-	2	-	-	-	7
671РТМ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	2	4	4	12
705К	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	2	-	2	6
Итого	4	6	11	14	13	9	5	10	9	6	5	4	5	5	7	113



# Линейные электроискровые станки **Sodick**



С августа 1976 года  
компания "СОДИК"  
произвела более 40 тысяч  
электроискровых станков;  
**6000** из них -  
электроискровые станки с  
линейными приводами!

"СОДИК" - это самый  
мощный научно-  
технический потенциал,  
самое большое  
в отрасли число  
действующих патентов!



## Новые рекорды Sodick:

Самая высокая в отрасли  
скорость  
электроискрового резания  
с использованием  
латунной проволоки  
Ø 0,2 и 0,25 мм.

Самая высокая в отрасли  
скорость резания на  
специальной проволоке.

Новая система  
зеркального выхаживания  
**SVC** в электроискровых  
прошивочных станках  
полирует поверхности  
в 2...4 раза быстрее.

**Линейные  
двигатели -  
будущее  
станкостроения!  
Будьте первыми!**

- ✓ **Линейные сервоприводы**
- ✓ **Линейные датчики 10 нано**

*Линейные датчики с дискретностью 10 нм  
(0,01 мкм) на всех прецизионных станках.  
Дискретность приводов 0,1 мкм.*

- ✓ **Керамическая рабочая зона**

### Стандарты новых технологий

- ✓ **Сверхмалый износ электрода**
- ✓ **Зеркальные поверхности**
- ✓ **Малый модифицированный слой**
- ✓ **Реальная производительность**

**Передовые ЭИ технологии для тех, кому  
недостаточно просто хороших станков:**

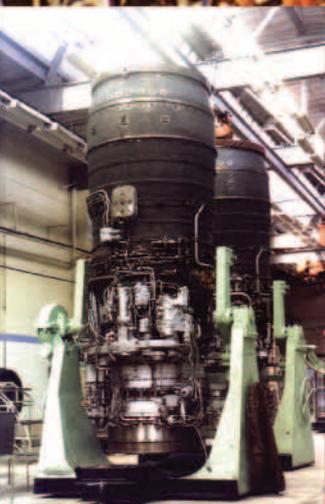
- ✓ **гарантия 2 года!**
- ✓ оперативная техническая поддержка (**24 часа без выходных**);
- ✓ самые лучшие станки не должны быть самыми дорогими - смотрите наши цены;
- ✓ лизинг на 3 года (менее 8 % в год);
- ✓ быстрая поставка (**сроки поставки большинства моделей от 1 дня до 2 недель**);
- ✓ бесплатное обучение и переобучение.



**Представительство в Москве:**  
тел.: (095) 725-3603, 214-9801 // факс: 214-1842  
[sodicom@sodick-euro.ru](mailto:sodicom@sodick-euro.ru)  
**Технический центр:**  
тел: (095) 786-9841, 964-2598 // факс: (095) 786-9842  
[tc@sodick-euro.ru](mailto:tc@sodick-euro.ru)



**ЗАО "Всеобщая страховая компания"**  
101990, Москва, Петроверигский пер., 4  
Тел./Факс: (095) 923-2102  
E-mail: [univic@caravan.ru](mailto:univic@caravan.ru)



**Всеобщая Страховая Компания**  
**Universal Insurance Company**