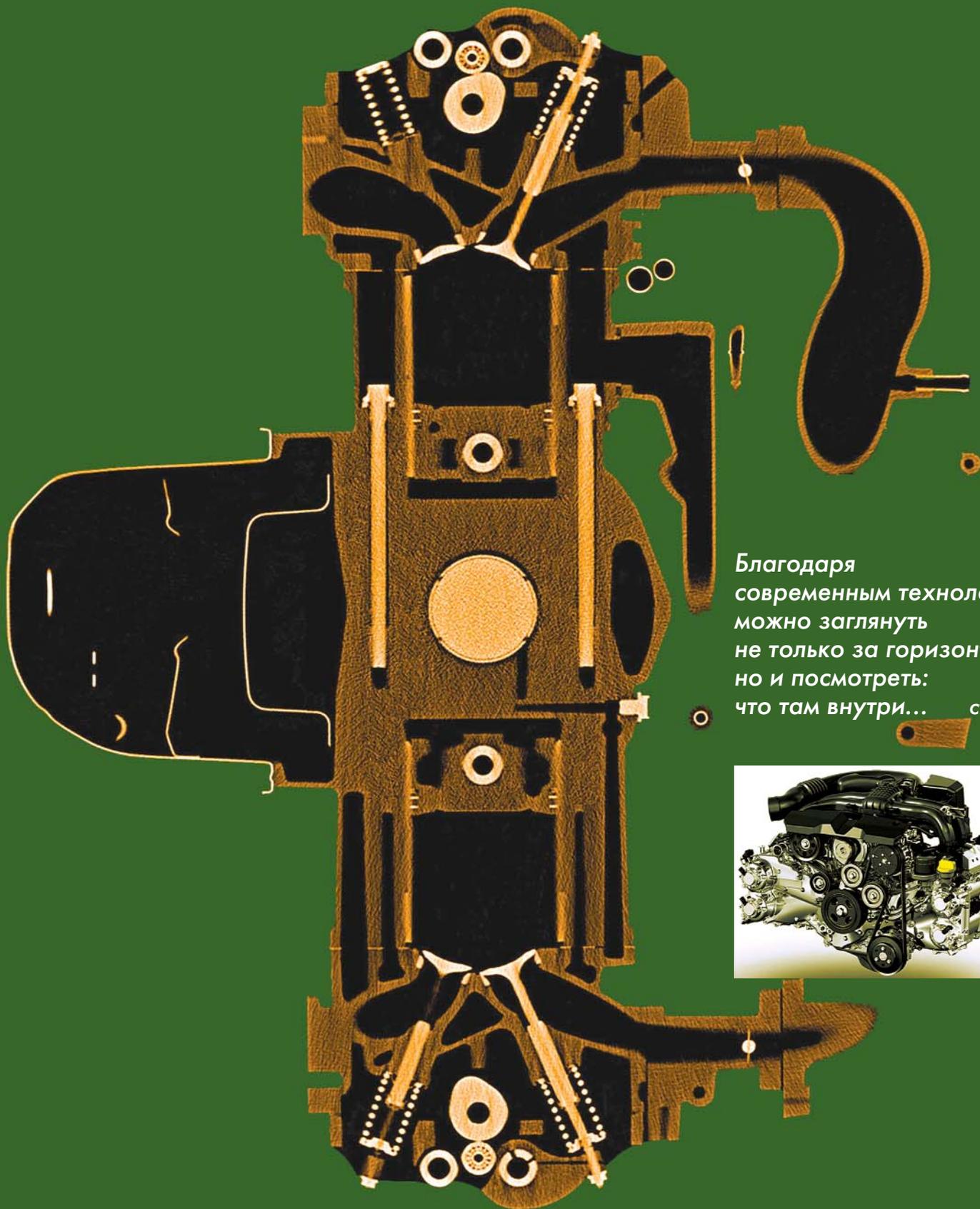


# Двигатель

Научно-технический журнал

№ 3 (87 + 243) 2013



Благодаря современным технологиям можно заглянуть не только за горизонт, но и посмотреть: что там внутри... стр. 18





Научно-техническое издание по освещению проблем в промышленности



Медаль АМКЭС "Преодоление"



## Редакционный совет

- Агульник А.Б., д.т.н.,**  
декан факультета авиационных двигателей МАИ
- Бабкин В.И., к.т.н.,**  
ген. директор ГНЦ "ЦИАМ им. П.И. Баранова"
- Багдасарьян Н.Г., д.филос.н.,**  
профессор МГУ им. М.В. Ломоносова,  
МГТУ им. Н.Э. Баумана
- Богуслав В.А., д.т.н.,**  
Президент АО "МОТОР СИЧ"
- Воронков Ю.С., к.т.н.,**  
зав. кафедрой История науки РГГУ
- Григорян Г.Г., д.т.н.,**  
гл. научный сотрудник ФГУК "Политехнический музей"
- Губертов А.М., д.т.н.,**  
зам. директора ФГУП "Исследовательский центр им. М.В. Келдыша"
- Дическул М.Д.,**  
зам. управляющего директора ОАО "УК "ОДК"
- Дмитриев В.Г., д.т.н.,**  
вице-президент корпорации "Иркут"
- Иноземцев А.А., д.т.н.,**  
ген. конструктор ОАО "Авиадвигатель"
- Каблов Е.Н., академик РАН,**  
ген. директор ГНЦ "ВИАМ"
- Каторгин Б.И., академик РАН**
- Коржов М.А., к.т.н.,**  
руководитель проекта "Двигатель" ОАО "АвтоВАЗ"
- Кравченко И.Ф., д.т.н.,**  
ген. конструктор ГП "ИВЧЕНКО-ПРОГРЕСС"
- Крымов В.В., д.т.н.**
- Кутенев В.Ф., д.т.н.,**  
зам. ген. директора ГНЦ "НАМИ" по научной работе
- Кухаренок Г.М., к.т.н.,**  
зав. каф. ДВС Белорусского национального ТУ
- Лобач Н.И.,**  
ген. директор ПО "Минский моторный завод"
- Новиков А.С., д.т.н.**  
зам. ген. директора ГНЦ "ЦИАМ им. П.И. Баранова"
- Пустовгаров Ю.Л.,**  
президент Торгово-промышленной палаты Республики Башкортостан
- Рачук В.С., д.т.н.,**  
ген. конструктор, ген. директор ФГУП "КБ Химвтоматики"
- Ружьев В.Ю.,**  
первый зам. ген. директора Российского Речного Регистра
- Рыжов В.А., д.т.н.,**  
главный конструктор ОАО "Коломенский завод"
- Ситнов А.П.,**  
президент, председатель совета директоров ЗАО "Двигатели "ВК-МС"
- Скибин В.А., д.т.н.,**  
научный руководитель ГНЦ "ЦИАМ им. П.И. Баранова"
- Смирнов И.А., к.т.н.,**  
ген. конструктор КБХМ - филиала ФГУП "ГКНПЦ им. М.В. Хруничева"
- Ставровский М.Е., д.т.н.,**  
проректор по научной работе РГТУ имени К.Э. Циолковского (МАТИ)
- Троицкий Н.И., к.т.н.,**  
доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана
- Фаворский О.Н., академик РАН,**  
член президиума РАН
- Чуйко В.М., д.т.н.,**  
президент Ассоциации "Союз авиационного двигателестроения"
- Зайков Г.В.,**  
ген. директор ГП "НПК газотурбостроения "ЗОРЯ"-МАШПРОЕКТ"

## РЕДАКЦИЯ

### Главный редактор

Александр Иванович Бажанов  
член-корреспондент  
Международной инженерной академии

### Заместитель главного редактора

Дмитрий Александрович Боев

### Ответственный секретарь

Александр Николаевич Медведь, к.т.н.

### Финансовый директор

Юлия Валерьевна Дамбис

### Редакторы:

Александр Аркадьевич Гомберг,  
Андрей Иванович Касьян, к.т.н.  
Юрий Романович Сергей, к.т.н.

### Литературный редактор

Иван Петрович Сидоров

### Художественные редакторы:

Александр Николаевич Медведь  
Владимир Николаевич Романов

### Техническая поддержка

Ольга Владимировна Лысенкова, к.пед.н.

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

А.В. Артамонова, А.И. Бажанова,  
Д.А. Боева, А.В. Ефимова,  
А.Н. Медведя, В.Н. Романова и др.

### Адрес редакции журнала "Двигатель":

111116, Россия, Москва,  
ул. Авиамоторная, 2.

Тел./Факс: (495) 362-3925.

dvigatell@yandex.ru

boeff@yandex.ru

aib50@yandex.ru

www.dvigately.ru

Электронная версия журнала (2006-2012 гг.) размещается также на сайте Научной электронной библиотеки [www.elibrary.ru](http://www.elibrary.ru) и включена в индекс РИНЦ

### УЧРЕДИТЕЛЬ И ИЗДАТЕЛЬ

ООО "Редакция журнала "Двигатели" ©  
генеральный директор Д.А. Боев  
зам. ген. директора А.И. Бажанов

Ответственность за достоверность информации и наличие в материалах фактов, не подлежащих разглашению в открытой печати, лежит на авторах публикаций.  
*Мнение редакции не всегда совпадает с мнением авторов.*

Перепечатка опубликованных материалов без письменного согласия редакции не допускается. Ссылка на журнал при перепечатке обязательна.

Журнал "Двигатель", рекомендован экспертными советами ВАК по техническим наукам, по истории, экономике, философии, социологии и культурологии в числе журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертации на соискание ученой степени доктора и кандидата наук. Индекс 28377 в общероссийском каталоге 2008 г.

Научно-технический журнал "Двигатель" © зарегистрирован в ГК РФ по печати.

Рег. № 018414 от 11.01.1999 г.

15-й (107-й) год издания.

Отпечатано

ЗАО "Фабрика Офсетной Печати" Москва.

Тираж 5 000 экз.

Периодичность: 6 выпусков в год.

Цена свободная.

# СОДЕРЖАНИЕ

- 2 Роль науки в решении практических задач авиационного двигателестроения**  
В.И. Бабкин
- 8 Контракт на поставку ПС-90А76**
- 10 Контракты жизненного цикла ВВТ: запчасти или конечный результат?**  
В.Б. Стрекоз, Ю.А. Назаренко
- 13 Юбилей друга**
- 14 Двигатель CFM56. О нем и о том, что вокруг него...**  
О.Ю. Бондарев, Ю.А. Тарасенко
- 18 Состояние и перспективы промышленной рентгеновской компьютерной томографии**  
И.А. Вайнберг, Э.И. Вайнберг
- 24 Исследование возможности использования керамических авиационных подшипников скольжения нового поколения в конструкциях опор роторов газотурбинных двигателей**  
В.Ю. Критский, А.И. Зубко
- 28 Гомеостатическое модельное проектирование как способ обеспечения техногенной безопасности при создании и эксплуатации объектов новой техники**  
А.А. Сперанский
- 34 История и теория закономерности развития сложных технических объектов**  
С.В. Кувшинов
- 40 Современные направления повышения всасывающей способности насосов ЖРД**  
В.Ю. Пиунов, Р.И. Константинов, А.Л. Кузнецов, Ю.Н. Фабрин, И.Ю. Холопова
- 42 Интерактивная фотореалистичная визуализация 3D-моделей**
- 44 Турбулентность. Фундаментальное уравнение сверхзвуковой газовой динамики и новый метод профилирования сопел ЖРД**  
Ю.М. Кочетков
- 48 Проблематичное начало и драматический конец разработки ракеты-носителя Н1**  
В.Ф. Рахманин
- 56 Ледоколы России. Освоение просторов Российской Арктики**  
В.С. Шитарёв



# РОЛЬ НАУКИ В РЕШЕНИИ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ АВИАЦИОННОГО ДВИГАТЕЛЕСТРОЕНИЯ

Владимир Иванович Бабкин, Генеральный директор ФГУП "ЦИАМ им. П.И. Баранова", к.т.н.

*Требования к современному авиационному двигателю возрастают по мере усложнения конструкции и каждое следующее поколение включает всё большую научную проработку новой конструкции. Возрастает роль ЦИАМ, как института, занимающегося научным заделом новых разработок.*

*Requirements to the modern aviation engine increase in process of complicating of a construction and each following generation powers up the increasing scientific study of a new construction. Role CIAM, as the institute occupied in a scientific reserve of new workings out increases.*

*Ключевые слова: авиационный двигатель, научно-технический задел, критические технологии, поколение, уровень готовности технологий, опережающие научно-технические решения.*

*Keywords: the aviation engine, a scientific and technical reserve, critical techniques, generation, level of readiness the techniques, anticipating scientific and technical decisions.*

Современный авиационный двигатель превратился в уникальное изделие машиностроения, аналогов которому по уровню напряжений и тепловому состоянию практически нет. Для того чтобы добиться этого потребовалось создание системы и широкое развертывание научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, направленных на поиск новых технических решений и технологий, обеспечивающих быстрое реагирование на конъюнктуру рынка.

Двигатель создается в 1,5...2 раза дольше планера и авиационного оборудования. И для того, чтобы новый двигатель "попал" на новый самолет, требуется опережающая отработка прорывных технических решений и технологий. Такой подход соответствует современной методологии создания и модернизации авиадвигателей, направленной на существенное повышение роли научно-технического задела по критическим технологиям, узлам и системам перспективных двигателей и увеличение объемов их

опережающей экспериментальной отработки на стадии НИР.

Разработка новых конкурентоспособных двигателей - затратный процесс. В связи с ужесточением предъявляемых требований, приводящих к усложнению авиационной техники, стоимость и продолжительность разработки авиационных двигателей от поколения к поколению непрерывно возрастали и для двигателей 5-го поколения доля средств, затрачиваемых на создание опережающего научно-технического задела, составляет ~ 60 % от стоимости разработки, а продолжительность - около 16 лет. Для двигателей 6-го поколения прогнозируется дальнейшее увеличение доли средств, затрачиваемых на создание НТЗ (до ~75 %) и увеличение продолжительности разработки примерно до 20 лет (рис. 1).

Для иллюстрации отметим, что, например, компания General Electric ежегодно затрачивает 1,2 млрд долларов на создание НТЗ. Для обеспечения внедрения разработанных технологий в этом году она открыла 3 завода по производству деталей из ком-



Рис. 1. Доля НТЗ в двигателях последних поколений

Таблица 1. Параметры газотурбинных авиадвигателей различных поколений

Поколения	(1965 1975 гг)	V (1985 1995 гг)	V (2000 2015 гг)	V (2025 2030 гг)
Схема	ТРДД ТРДФ	ТРДД ТРДДФ	ТРДД ТРДДФ	ТВВД ТРДД ДИП
$T_r \cdot K$	1450	1650	1850 1950	2100 2300
$m / \pi \cdot \text{ю.}$	0 2 / 15–20	4–6 / 25–35	8 12 / 35–45	>10 / >60
$C_R$ кг/кг ч	0 70 0 80	0 63–0 65	0 53–0 54	0 44–0 47
Шум / $NO_x$	Гл 2 /	Гл 3 / ИКАО1986	10 EPN дБ (Гл 4) / 40% (2008)	30–40 EPN дБ (Гл 4) / 60 80% (2008)
Ресурс ть с п ц х ч / г ч	5	25/15	40/20	50/25

НИЭР материалъ технологии узлъ газогенераторъ демонстрационнь е двигатели  
ОКР прочностная доводка двигателя и узлов Государственнь е Испъ тания сертификация

позиционных материалов на различных матрицах и планирует инвестировать в ближайшие 5 лет 3,5 млрд долларов на ввод в действие производств деталей из керамических композитов и деталей, производимых с помощью аддитивных технологий.

Общепринятая современная методология создания авиационных двигателей предусматривает проведение научно-исследовательских и экспериментальных работ, начиная от формирования идей по прорывным технологиям (уровень готовности технологии "TRL" = 1) до их проверки на демонстрационном газогенераторе и/или двигателе-прототипе на стендах в условиях близких к реальным условиям эксплуатации (уровень готовности технологии TRL = 6). Только получив экспериментальное подтверждение целесообразности применения технологий в составе демонстрационного газогенератора и/или двигателя (TRL > 6) она может быть рекомендована для применения в двигателе конкретного назначения (рис. 2).

В зависимости от сложности прорывных технологий продолжительность их разработки может составлять около 10 - 15 лет.

К сожалению, в России по ряду причин такая современная методология пока не имеет нормативно-правового статуса и одна из задач Института состоит в ее утверждении в качестве нормативной базы.

Главной задачей ФГУП "ЦИАМ им. П.И. Баранова" является разработка новых технологий в результате выполнения НИОКР, обеспечивающих будущую конкурентоспособность авиационной техники.

Сегодня отечественное авиадвигателестроение приступило к

созданию двигателей 5-го поколения. В связи с этим тематические работы института ориентированы, прежде всего, на создание научно-технического задела в области разработки конкретных технических решений (технологий) для перспективных базовых двигателей гражданского и военного назначения (гражданской и военной авиации).

За последние годы Институт вышел на мировой уровень по моделированию рабочего процесса и узлов авиационных двигателей. По разработанным в Институте междисциплинарным математическим моделям высокого уровня, учитывающим нестационарное взаимодействие венцов, позволяющим проектировать узлы перспективных двигателей с определением генерации шума в его источнике и дальнем поле, срывные явления, особенности турбулентных течений, детальную химическую кинетику, механику развития трещин, поведение конструкций при сложных условиях нагружения - разработаны узлы двигателей 5-го поколения. Проведены испытания деталей, ступеней и моделей узлов с верификацией расчетных методов. Эти работы позволили приступить ОКБ совместно с Институтом к изготовлению натурных демонстрационных узлов и газогенератора.

К перспективным базовым двигателям гражданской назначения предъявляются жесткие требования по улучшению топливной экономичности, уменьшению уровня шума и выбросам вредных веществ. Удовлетворение этим требованиям может быть обеспечено только при повышении параметров рабочего процесса (суммарной степени повышения давления, температуры газа перед



Рис. 2. Уровни готовности технологий

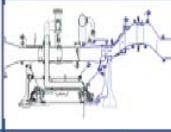
<p>❑ Малошумный вентилятор</p>		<p><math>U_k=367</math> м/сек; <math>\pi_B^*=1,4</math>;  <math>\eta_{ад}^*=0,91</math>; Шум - -6 дБ  <math>G_B/F_{лоб}=200</math> кг/с·м<sup>2</sup></p>
<p>❑ Лопатка РК из полимерного композиционного материала</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Снижение массы на 50%</li> <li>▪ Испытана на разгонном стенде</li> </ul>
<p>❑ Высокоэффективный 7-ступенчатый КВД</p>		<p>Высоконагруженный КВД с НУ и системой рег. РЗ  <math>\pi_k^*=14</math>, <math>\eta_k^*=0,88</math>, <math>\Delta K_y=20\%</math></p>
<p>❑ Малоэмиссионная камера сгорания</p>		<p><math>T_r &gt; 1950</math> К, <math>\sigma_{кс} \geq 0,95</math>, запас по <math>NO_x \geq 30\%</math> (ИКАО 2008)</p>
<p>❑ Одноступенчатая ТВД</p>		<p>Высоконагруженная ТВД:  <math>\pi_T^*=4.65</math>, <math>\eta_{ад}^*=0,88</math>,  <math>U/C_{ад}=0,5</math>, <math>\rho=0,52</math></p>
<p>❑ Лопатка РК высокотемпературной ТВД</p>		<p>Конвективно-пленочное охлаждение  <math>\theta_{охл}=0,5 \div 0,55</math>, <math>T_r \geq 1850</math>К</p>
<p>❑ Высокоэффективное ЗПК</p>		<p>Активно-реактивный глушитель          Шум - -2 дБ</p>

Рис. 3. НТЗ ЦИАМ в обеспечении создания базового двигателя (4-5 уровень готовности технологий)

турбиной и степени двухконтурности) с одновременным применением технических решений (технологий), к которым относятся:

- малошумный высокоэффективный одноступенчатый вентилятор;
- облегченная лопатка рабочего колеса вентилятора, в частности из полимерного композиционного материала с накладкой из титанового сплава на передней кромке;
- высокоэффективный малоступенчатый высоконагруженный компрессор высокого давления;
- жаровая труба и фронтные устройства для малоэмиссионной кольцевой камеры сгорания;
- высоконагруженная одноступенчатая турбина высокого давления;
- высокотемпературные лопатки соплового аппарата и рабочего колеса с улучшенной системой конвективно-пленочного охлаждения для высокоэффективной турбины высокого давления;
- конструкция звукопоглощающих панелей и активно-реактивных глушителей шума, обеспечивающих уменьшение уровня шума вентилятора на ~2 дБ.

Все эти технические решения были разработаны, спроектированы, изготовлены (в том числе и с привлечением серийных заводов) и испытаны в ФГУП "ЦИАМ им. П.И. Баранова" (рис. 3).

Особую актуальность при создании двигателей нового поколения приобретает вопрос внедрения новых материалов, и прежде всего - композиционных.

При применении углепластиковых лопаток, особенно в сочетании с углепластиковым корпусом вентилятора, обеспечивается существенное снижение массы и повышение надежности. Углепластиковые лопатки являются практически необрываемыми, поэтому применение таких лопаток является практически единственно возможным решением для двигателей с открытым ротором вентилятора (без корпуса, который защищает летательный аппарат от фрагментов лопаток). По данным General Electric, вентилятор с лопатками и корпусом из углепластика двигателя LEAP легче металлического на 225 кг.

В ЦИАМ достигнуты определенные успехи в разработке тех-

нологии создания углепластиковых лопаток вентилятора. Применение таких лопаток позволит снизить массу ротора вентилятора двигателя ПД-14 более чем на 30 % по сравнению с вентилятором с пустотелыми титановыми лопатками [журнал "Двигатель" № 6 за 2011 г., стр.2-9, примечание редакции].

По двигателям военного назначения ФГУП "ЦИАМ им. П.И. Баранова" принимает активное участие в работах по ТРДДФ для ПАК ФА и поршневого двигателя для беспилотного летательного аппарата. В частности, по ТРДДФ для ПАК ФА институтом совместно с ОКБ отрасли создан экспериментально обоснованный научно-технический задел по:

- малоступенчатый высоконагруженный вентилятору и КВД с низкой массой;
- основной высокотемпературной камере сгорания;
- высокотемпературной одноступенчатой ТВД;
- легкой форсажной бесстабилизаторной камере сгорания;
- цифровой САУ с полной ответственностью (FADEC).

По поршневому двигателю для БПЛА проведены работы по:

- обоснованию облика и основных данных;
- разработке ТЗ на узлы и системы;
- созданию и испытанию экспериментальных узлов и систем;
- созданию двигателя-демонстратора в классе мощности 90 л.с.;
- разработке ТЗ на ОКР.

В последние годы в ФГУП "ЦИАМ им. П.И. Баранова" проведен большой объем исследований по двигателям, предназначенным для применения в составе силовых установок высокоскоростных летательных аппаратов.

В частности, проведена реконструкция стенда Ц-16ВК, позволившая проводить испытания крупномасштабных моделей гиперзвуковых летательных лабораторий с интегрированным гиперзвуковым прямоточным воздушно-реактивным двигателем. На одной из моделей ГЛЛ с ГПВРД впервые в Европе получена положительная эффективная тяга.

В области работ по малообъемным прямоточным воздушно-реактивным двигателям и ракетно-прямоточным двигателям проведены работы по:

- созданию высокоэнергетических маршевых твердых топлив для РПД и ПВРД;
- разработке узлов воздушного и газового тракта ИРПДТ (ВЗУ, переходный канал, регулятор расхода твердого топлива, камера сгорания);
- разработке двухконтурной камеры сгорания ПВРДТ с высокой полнотой сгорания для малоразмерной ЗУР;
- созданию работоспособных стендовых РПДТ и ПВРДТ для ракет класса "воздух-воздух", ЗУР и АРС;
- созданию ПВРДТ, обеспечивающих двукратное увеличение высоты и дальности полёта ЗУР;
- разработке методов математического моделирования РПДТ и ПВРДТ с учётом интеграции "ракета-двигатель-топливо".

Учитывая продолжительность разработки технологий и планируемые сроки создания двигателей 5-го поколения необходимо в кратчайшие сроки организовать работу так, чтобы устранить технологическое отставание, которое образовалось в последние два десятилетия, и одновременно развернуть работы по созданию научно-технического задела в обеспечение разработки двигателей уровня совершенства 2025 - 2030 гг.

К двигателям гражданского назначения с уровнем совершенства, соответствующим 2025 - 2030 гг., предъявляются высокие требования, как по топливной эффективности, так и по экологическим показателям. Так, например, среди них:

- уменьшение удельного расхода топлива на 25...30 %;
- обеспечение запаса по уровню эмиссии NO<sub>x</sub> в 80 % относительно норм САЕР6 ИКАО;
- уменьшение уровня шума двигателя на 15...20 EPN дБ относительно норм Главы 4 ИКАО;
- уменьшение стоимости послепродажного обслуживания и

производства на 30...40 %.

Достигнуть этих показателей можно только путем повышения параметров рабочего процесса, совершенствованием термодинамического цикла, применения новых конструктивно-технических решений, конструкционных материалов и технологий, а также интеллектуальной системы управления совмещенной с системой диагностики, контроля и управления техническим состоянием двигателя и интеграции силовой установки с планером летательного аппарата.

В качестве схемных решений для достижения поставленных целей учитываются:

- ТРДД с высоким и сверхвысоким значением степени двухконтурности с прямым или редукторным приводом однорядного или двухрядного вентилятора;
- турбовинтовентиляторные двигатели ("открытый" ротор);
- ТРДД с промежуточным охлаждением и регенерацией тепла;
- распределенные силовые установки; двигатели с гибридным приводом движителя (газотурбинный + электрический привод); двигатели с пульсирующей детонационной камерой сгорания и т.д.

Кроме того, рассматриваются "электрический" двигатель с отсутствием отбора воздуха из тракта и электроприводными исполнительными механизмами системы автоматического управления, стартером-генератором на валу каскада высокого давления и генератором на валу каскада низкого давления и "интеллектуальный" двигатель, система диагностики которого обеспечивает управление техническим состоянием и эксплуатацию двигателя с допустимым уровнем повреждений.

Для реализации таких схем двигателей потребуется разработать ряд новых технических решений и технологий, которые будут разрабатываться в рамках Комплексных научно-технических проектов и Программ научных исследований и разработки технологий, включенных в Национальный план развития науки и технологий в авиастроении и Государственную программу развития авиационной промышленности до 2025 г. (рис. 4).



Рис. 3. НТЗ ЦИАМ в обеспечение создания базового двигателя (4-5 уровень готовности технологий)



Рис. 5. ГЛЛ ЦИАМ

В целях сохранения и развития авиадвигательной отрасли промышленности необходимо коренное обновление экспериментальной и технологической базы.

В области создания двигателей для перспективных дозвуковых и сверхзвуковых ЛА требуется модернизация двигательных стендов ЦИАМ Ц-1А (исследование двигателей размерности ПД-14), Ц-4Н (для двигателя ПАК ФА), Ц-17Т (ракетные двигатели); УВ-3К (двигатели с тягой до 5 тс), У-10М (климатические испытания), У-335, У-336 (двигатели БПЛА) и др. В долгосрочной перспективе необходимо создание комбинированного эталонного открытого стенда для проведения испытаний ТРДД сверхвысокой степени двухконтурности и ТВВД ("открытый ротор"), испытаний авиационных двигателей при попадании на вход посторонних частиц с аэродромных покрытий, кусков льда и птиц в условиях взлета и посадки, а также комплекса испытаний по ИК заметности и боевой живучести.

Требуется модернизация ряда установок, позволяющих проводить исследования работы силовых установок в гиперзвуковых областях полета, а в среднесрочной и долгосрочной перспективе - последовательный ввод в эксплуатацию высотного гиперзвукового стенда Ц-110 с диаметром выходного сечения аэродинамического сопла не менее 3 м для испытаний полноразмерных ГПВРД в интеграции с ГЛА. Представляется весьма целесообразным в среднесрочной и долгосрочной перспективах создание гиперзвуковых летающих лабораторий (ГЛЛ) для испытаний демонстраторов высокоскоростных ВРД в условиях активного полета.

Для обеспечения готовности экспериментальной базы к проведению исследований и испытаний двигателей 5-го и 6-го поколений необходима модернизация существующих технологических систем ЦИАМ (высотно-компрессорных и холодоильно-осушительных станций, систем охлаждения, энергоснабжения и др.), направленная на расширение диапазона предельных параметров стендов и внедрение энергосберегающих технологий. Параллельно должны решаться вопросы модернизации самих высотных стендов, создания модельных стендов и установок для отработки критических технологий, верификации расчетных методов и т.д., развития экспериментальной базы прочностных исследований и оснащения стендов высокоточными системами измерения, в том числе бесконтактными.

Требуется решения также вопрос финансирования содержания инфраструктуры крупнейшей в Европе уникальной экспериментальной базы НИЦ ЦИАМ, представляющей собой национальное достояние.

Для обеспечения ускоренного развития инновационной инфраструктуры высокотехнологичной отрасли - авиадвигателестроения - ведущая роль принадлежит государственному сектору науки в лице государственных научных центров (ГНЦ) (ЦИАМ, ЦАГИ, ВИ-АМ). В настоящее время ГНЦ, обладающие высоким научным потенциалом, научными школами и уникальной экспериментальной

базой - единственная существующая система по созданию и переводу научных и инженерных достижений фундаментального и прикладного характера в конкурентоспособную инновационную продукцию при тесной кооперации с предприятиями отрасли.

В частности, существующую высотную базу ЦИАМ необходимо активно использовать при создании двигателей 5-го поколения ПД-14 и изделия 30 (испытания в термобарокамере газогенераторов и двигателей с имитацией полетных условий во всей эксплуатационной области, прочностные испытания дисков лопаточных машин на разгонных стендах и др.), поскольку именно эта стендовая база в полном объеме обеспечивает имитацию работы газогенератора и двигателя на большинстве основных режимов, чего нельзя сказать о стендах ОКБ.

Государственные научные центры ЦАГИ, ЦИАМ, ВИАМ, ГосНИИАС и др., определяющие приоритетные направления перспективных научных исследований, разрабатывающие и координирующие комплексные и специализированные программы, а также планы по развитию авиационной техники, выступали и продолжают выступать в настоящее время, в роли организаций, формулирующих государственные интересы в области экономической и военной безопасности. В связи с этим необходимо шире привлекать ГНЦ к разработке и корректировке федеральных и комплексных целевых программ.

Принципиальное значение имеет обязательное участие головного института двигателестроительной подотрасли - ЦИАМ, который в настоящее время является единственной государственной организацией, обладающей необходимым научным потенциалом и уникальной экспериментальной базой - как в непосредственном проведении ОКР при широком использовании экспериментальной базы института, так и в экспертизе работ, проводимых ОКБ по гос. контрактам.

Учитывая сжатые сроки создания двигателей нового поколения, необходимо обязательное согласование с ЦИАМ программ и планов-графиков инженерных и сертификационных испытаний, программ работ по доведению критических для создания двигателя технологий до 6-го уровня готовности. Невыполнение этого приведет к значительным потерям информации, задержкам обоснованной коррекции конструкции двигателя и увеличению сроков и стоимости его разработки.

В ЦИАМ проводятся также работы по сопровождению эксплуатации серийных двигателей. При институте работают Межведомственные рабочие группы по анализу и выработке рекомендаций в обеспечение эффективной эксплуатации двигателей на протяжении заявленного ресурса и срока службы.

Именно такое построение взаимодействия науки и практики обеспечило устойчивость системы авиационной науки в период экономических кризисов. Нацеленность на научное решение практических задач - способ, которым, взаимодополняясь, сосуществуют наука и практика авиационного двигателестроения в России. **П**

#### Литература

1. Энциклопедия Машиностроение. Том IV-21, книга 3. Авиационные двигатели. М., Маш. А, 2010.
2. Иностранные авиационные двигатели (по материалам зарубежных публикаций). Справочники ЦИАМ.
3. Пассажирская авиация: пути развития в XXI веке. Бабкин В.И., Цховребов М.М., Шкадов Л.М., доклад на II Канадском симпозиуме, Ванкувер, 1991.
4. Работы ведущих авиадвигателестроительных компаний в обеспечение создания перспективных авиационных двигателей. Под ред. Скибина В.А., Солонина В.И. ЦИАМ, М., 2010 г.
5. Работы ведущих авиадвигателестроительных компаний по созданию перспективных авиационных двигателей (аналитический обзор). Под редакцией Скибина В.А., Солонина В.И. ЦИАМ, Москва, 2004 г.

# МАКС

## 2013

ОРГАНИЗАТОР

ГЕНЕРАЛЬНЫЙ ПАРТНЕР



**МАКС-2011**  
ЦИФРЫ  
И ФАКТЫ



**40**  
стран



**550 000**  
посетителей



**91** вид техники в воздухе;  
**484** полета



**Более 150 000 м<sup>2</sup>**  
выставочной площади

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ  
АВИАЦИОННО-КОСМИЧЕСКИЙ  
САЛОН**

**27 АВГУСТА – 1 СЕНТЯБРЯ**

**ЖУКОВСКИЙ, АЭРОДРОМ «РАМЕНСКОЕ»**

**[WWW.AVIASALON.COM](http://WWW.AVIASALON.COM)**

- все новинки и достижения авиационно-космической отрасли;
- высокий уровень организации и представительства;
- обширная деловая и научная программа (Международный авиационный конгресс, конференции, симпозиумы);
- возможности для многоуровневых контактов, развития производственной кооперации, поиска бизнес-партнеров;
- продвижение продукции на внутреннем и международном рынках;
- уникальная летная программа.



**ВСЕГДА  
НА ВЫСОТЕ**

ГЕНЕРАЛЬНЫЙ  
СПОНСОР



ГЕНЕРАЛЬНЫЙ  
СПОНСОР



ОФИЦИАЛЬНЫЙ  
СПОНСОР



СТРАТЕГИЧЕСКИЙ  
ПАРТНЕР



ОФИЦИАЛЬНЫЙ  
АВТОМОБИЛЬ



ОФИЦИАЛЬНЫЙ  
СТРАХОВЩИК



ГЕНЕРАЛЬНЫЕ  
ИНФОРМАЦИОННЫЕ  
ПАРТНЕРЫ



газета.ru

# КОНТРАКТ НА ПОСТАВКУ ПС-90А76



Объединенная авиастроительная корпорация (ОАК) и Объединенная двигателестроительная корпорация (ОДК), входящая в Госкорпорацию Ростех заключили контракт на поставку двигателей ПС-90А76 для самолетов Ил-76МД-90А (Ил-476). Речь идет о 39 машинах, которые ОАК поставит Министерству обороны РФ в рамках прошлогодних договоренностей между сторонами. Передача самолетов заказчику начнется в 2014 г., однако отгрузка первых двигателей ОАК запланирована на конец 2013 г. Всего в рамках контракта между корпорациями будет поставлено 156 двигателей. Сумма контракта составляет более 30 млрд рублей.

Документ подписали президент Объединенной авиастроительной корпорации Михаил Погосян и генеральный директор Объединенной двигателестроительной корпорации Владислав Масалов.

*"Мы расширяем сотрудничество с ОДК - одним из наших ключевых партнеров в работе по выполнению государственной программы вооружений, - сказал Президент ОАО "ОАК" Михаил Погосян. - Контракт, подписанный сегодня, позволит ОДК выйти на крупную серию и в производстве двигателей гражданской линейки".*

*"Контракт, подписанный сегодня, позволит ОДК начать производство крупной серии двигателей для гражданской авиации, - заявил на церемонии подписания генеральный директор ОДК Владислав Масалов. - Благодаря договоренностям с ОАК мы сможем в том числе эффективнее выстраивать долгосрочное сотрудничество с нашими поставщиками агрегатов, комплектующих, сырья".*

Сертифицированный в 2003 г. двигатель ПС-90А-76 значительно улучшает эксплуатационные характеристики самолетов Ил-76МД-90А. Двигатель соответствует не только действующим, но и перспективным нормам и требованиям ИКАО по шуму и эмиссии вредных веществ, что позволяет самолету работать в любой точке земного шара.

Программа полетов в рамках заводских испытаний модернизированного самолета Ил-76МД-90А успешно завершена. В ходе их проведения были подтверждены летно-технические характеристики нового самолета, которые на 15...17 % процентов превосходят характеристики самолета Ил-76МД. В настоящее время самолет приступил к выполнению полетов по программе государственных испытаний Министерства обороны России.

Серийное производство самолета разворачивается на вошедшем в ОАО "ОАК" авиазаводе ЗАО "Авиастар-СП" в Ульяновске. В

настоящее время и завод и сотни заводов-поставщиков комплектующих выполняют заказ ОАО "ОАК-ТС" по выпуску первой установочной партии самолетов Ил-76МД-90А.

*"Данное соглашение практически завершает нашу работу с поставщиками систем и компонентов в рамках выполнения контракта на поставку 39 самолетов Ил-76МД-90А, - сказал после подписания генеральный директор ОАО "ОАК-Транспортные самолеты" Сергей Вельможкин. - Это позволяет нам двигаться вперед - первые серийные самолеты уже находится в цехе окончательной сборки завода Авиастар-СП".*

Двигатель ПС-90А-76 позволяет по сравнению с Д-30КП-2 на 17...19 % снизить расход топлива, на 25 % (800...1000 км) увеличить дальность полета. Ещё на 15 % (до 60 т) благодаря пермским двигателям увеличена коммерческая нагрузка самолета.

К настоящему времени серийно изготовлено 74 двигателя ПС-90А-76, которые работают на крыле самолетов Ил-76ТД-90, Ил-76МФ, А-50 (самолет дальнего радиолокационного обнаружения и управления на базе Ил-76) в авиакомпаниях четырех стран мира (Россия, Азербайджан, Индии и Иордании). За это время двигатель на практике подтвердил свои высокие эксплуатационные характеристики. Суммарная наработка парка ПС-90А-76 вплотную приблизилась к 190 тыс. ч. Лидерный двигатель по состоянию на 1 июля 2013 г. наработал 10 646 ч (2889 полетных циклов) без ремонта.

Всего выпущено более 400 двигателей семейства ПС-90А. 345 моторов в данный момент находятся в эксплуатации. Суммарная наработка парка составила 3,2 млн ч. **П**

ОАО "Управляющая компания "Объединенная двигателестроительная корпорация" - дочерняя компания ОАО "ОПК "ОБОРОНПРОМ". В структуру ОДК интегрированы более 85 % ведущих предприятий, специализирующихся на разработке, серийном производстве и сервисном обслуживании газотурбинной техники, а также ключевые предприятия - комплектаторы отрасли. Одним из приоритетных направлений деятельности ОДК является реализация комплексных программ развития предприятий отрасли с внедрением новых технологий, соответствующих международным стандартам.

Объединенная авиастроительная корпорация (ОАО "ОАК") создана Указом Президента РФ 20 февраля 2006 г. На сегодняшний день уставный капитал корпорации составляет 188,9 млрд рублей. В собственности Российской Федерации находятся 84,33 % акций.

В состав ОАО "ОАК" входят: ОАО "Компания "Сухой"; ОАО "Корпорация "Иркут"; ОАО "ОАК - Транспортные самолеты"; ОАО "Ил"; ОАО "Нижегородский авиастроительный завод "Сокол"; ОАО "Туполев"; ОАО "Ильющин Финанс Ко."; ОАО "Финансовая лизинговая компания"; ЗАО "Авиастар-СП"; ОАО "ВАСО"; ОАО "РСК "Миг"; ОАО "КАПО им. С.П. Горбунова"; ОАО "ЭМЗ им. В.М. Мясищева"; ОАО "ЛИИ им. М.М. Громова".

# **ЕДИНСТВО ВО МНОЖЕСТВЕ**



ОАО «Управляющая компания  
«Объединенная двигателестроительная корпорация»  
Россия, 121357, г. Москва, ул. Верейская, д. 29, стр. 141  
Тел./факс: (499) 558-01-26  
[www.uk-odk.ru](http://www.uk-odk.ru)



**ОБЪЕДИНЕННАЯ  
ДВИГАТЕЛЕСТРОИТЕЛЬНАЯ  
КОРПОРАЦИЯ**

# ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ВВТ: ЗАПЧАСТИ ИЛИ КОНЕЧНЫЙ РЕЗУЛЬТАТ?

**Валерий Борисович Стрекоз**, заместитель генерального директора ТАНТК им. Г.М. Бериева по эксплуатации и интегрированной логистической поддержке  
**Юрий Анатольевич Назаренко**, консультант по системам послепродажной поддержки эксплуатации авиационной техники

В предыдущей статье [1] мы в общих чертах рассмотрели зарубежный опыт применения стратегии сервисной поддержки систем ВВТ, ориентированной на конечный результат, или как ее называют в оригинале – Performance Based Lifecycle Product Support (PBL). С момента своего зарождения в конце 90-х – начале 2000 годов, эта концепция получила широкое распространение на Западе, непрерывно развивалась и к настоящему времени практически повсеместно признана предпочтительным подходом к сервисной поддержке как вновь создаваемых, так и уже эксплуатируемых систем вооружений и военной техники.

В этой статье мы остановимся на ключевых преимуществах PBL по отношению к повсеместно применяемой у нас транзакционной модели, рассмотрим применимость обеих моделей к тем или иным видам услуг и поговорим о том, каким образом на практике можно оценивать конечный результат сервисной поддержки.

## Блеск и нищета транзакционной модели

Для того, чтобы лучше понять преимущества PBL есть смысл внимательно присмотреться к альтернативе - упомянутой выше транзакционной модели договорных отношений между заказчиком и подрядчиком.

Транзакционная модель в самом общем виде предполагает конкретный и исчерпывающий перечень поставляемых заказчику товаров и/или работ, выполняемых подрядчиком по фиксированным расценкам. Размер платежа за поставленную продукцию и оказанные услуги калькулируется умножением объема осуществленной поставки и/или выполненных работ на фиксированную цену единицы каждого конкретного товара и каждого конкретного вида работы. При использовании этой модели заказчик должен жестко контролировать выполнение каждой зафиксированной работы и поступление каждой единицы приобретаемой продукции на склад. Очевидно, что эта чисто административная деятельность сама по себе никоим образом не влияет на важные для боевого подразделения результаты сервисной поддержки, но требует значительных усилий и немалых накладных расходов. Как на стороне заказчика, так и на стороне подрядчика. Плохо еще и то, что численность персонала, необходимого для выполнения таких функций прямо пропорционально количеству и интенсивности циклов выполнения, приемы и оплаты конкретных поставок или работ - договорных транзакций.

В случае транзакционной модели прибыль подрядчика включена в цену каждой транзакции. А это означает, что чем больше будет транзакций или, говоря языком сервисной поддержки - циклов поставок запасных частей и ремонта ВВТ, тем выше суммарная прибыль подрядчика. Парадоксально, абсурдно, но факт - промышленность оказывается экономически заинтересованной в том, чтобы техника больше простаивала в ремонтах, чаще отказывала и потребляла большее количество запасных частей! Разве это соответствует коренным интересам главных потребителей услуг сервисной поддержки - боевые подразделения?

Тем не менее, было бы ошибочным полагать, что транзакцион-

ная модель совсем не имеет никаких преимуществ перед концепцией PBL во всех случаях сервисной поддержки систем ВВТ. Характерным примером такой ситуации может быть случай, когда ожидается относительно небольшое количество транзакций за достаточно продолжительный период времени. В частности - когда речь идет об отдельных компонентах системы. При небольших количествах высоконадежных компонент экономически более эффективным может оказаться заключение специальных соглашений, в соответствии с которыми техническое обслуживание или ремонт инициируется только тогда, когда в нем возникает необходимость.

В случае PBL все услуги подрядчика могут быть тарифицированы по укрупненным группам работ, например - техническое обслуживание и/или материально-техническое обеспечение эксплуатации системы ВВТ. В противоположность этому, при использовании транзакционной модели приходится устанавливать отдельный тариф на каждый элемент каждой транзакции, например - на регламентное обслуживание заменяемой компоненты № 1, на восстановительный ремонт заменяемой компоненты № 2 и т.д. Таким образом, транзакционно-ориентированный контракт на сервисную поддержку крупной системы ВВТ требует привлечения значительных ресурсов. Как для инициализации, так и для мониторинга исполнения каждой транзакции. Концепция PBL здесь является более предпочтительной.

В некоторых случаях применения концепции PBL, особенно, когда речь идет о комплексной сервисной поддержке всей системы ВВТ, отдельные элементы соответствующих контрактов могут быть транзакционно-ориентированными. Например, когда в рамках таких контрактов наряду с регулярными сервисами предоставляются некоторые виды разовых услуг, стоимость которых наперед известна, а момент возникновения соответствующей потребности у заказчика - нет. К числу таких сервисов можно отнести проведение дополнительного курса обучения по стандартной программе, или привлечение эксперта-специалиста на условиях фиксированной часовой ставки для каких-либо специальных консультаций.

**Категории услуг и формы оплаты**

При подготовке PBL-контрактов принципиально важно с самого начала выработать удобную классификацию услуг по формам и способам оплаты. Из всего спектра контрактных сервисов необходимо выделить те, для которых имеет смысл установить регулируемую оплату в зависимости от достигнутого конечного результата. Для остальных - использовать традиционные формы оплаты. Весьма удобной в этом смысле может быть классификация, приведенная в Таблице 1.

Для услуг, оплачиваемых традиционными способами, важна определенность в объемах предоставляемых услуг или поставляемой продукции. Если объем работ заранее неизвестен, например, в случае серьезного повреждения техники по вине эксплуатанта, то обычно производится специальное предварительное обследование, позволяющее оценить их стоимость и сформировать дополнительное соглашение к основному контракту. Для таких случаев в основном контракте должны быть установлены расценки на исследовательские и оценочные работы. Например, в форме стоимости часа работы эксперта-оценщика.

На случай, если потребуется быстро выполнить непредвиденную мелкую работу без заключения дополнительного соглашения (например, устранить мелкое повреждение техники по вине эксплуатанта), имеет смысл зарезервировать в основном контракте специальный бюджет на непредвиденные обстоятельства и установить специальную процедуру его расходования. Оплата таких работ должна осуществляться без лишних формальностей - по выставленному счету. Разумеется - если сумма платежа остается в пределах заранее согласованного лимита.

К особой категории следует отнести услуги, предоставляемые на постоянной основе (т.н. абонентские), но прямо не влияющие на конечный результат и оплачиваемые по фиксированной ставке с установленной периодичностью. Например, ежегодно. К таким услугам следует относить лицензионные платежи за использование программного обеспечения и его обновления, доступ к технической документации и другим информационным ресурсам подрядчика. Фактически, в большинстве случаев, речь идет об оплате за право пользования объектами интеллек-

туальной собственности.

Ну и, разумеется, основным предметом PBL-контракта должны быть абонентские услуги с оплатой, регулируемой в зависимости от достигнутого конечного результата. К таким услугам следует относить сервисы, прямым конечным результатом которых является:

- Уровень исправности системы ВВТ;
- Уровень эксплуатационной надежности материальной части;
- Полная стоимость содержания системы ВВТ для заказчика;
- Среднее время простоя.

К сервисам этой категории обычно относятся различные формы технической поддержки заказчика, включая полевую; сервисный инжиниринг; снабжение запчастями; устранение конструктивно-производственных недостатков; выполнение наиболее сложных форм периодического ТО; средний и капитальный ремонт. Договорная цена на услуги этой группы формируется из расчетной оценки прямых затрат, накладных расходов и прибыли подрядчика, а структура регулярного платежа по заключенному контракту обычно включает:

- Постоянную (нерегулируемую) составляющую, как правило - в пределах расчетных прямых операционных затрат подрядчика;
- Рисковую (переменную) составляющую, как правило - в пределах расчетных накладных расходов и прибыли подрядчика.

Такой подход представляется вполне справедливым, поскольку невыполнение заданных показателей в большинстве случаев - следствие ошибок управленцев, а не рядовых исполнителей. Ну а оплата труда руководителей - это накладные расходы.

В качестве регуляторов рисков составляющей платежа может быть выбран один или несколько показателей конечного результата. Например - средний уровень исправности парка самолетов плюс средний налет на неисправность, приводящую к невыполнению полетного задания. При выборе нескольких показателей заказчик должен определиться с относительной значимостью каждого из них. С учетом назначения конкретной системы ВВТ и задач, решаемых боевым подразделением. Изначально расчетная сумма рисков составляющей должна быть распределена между показателями пропорционально их значимости, а в процессе выполнения PBL-контракта - вознаграждение подрядчика

**Категории и формы оплаты услуг**

**Таблица 1**

Категория услуг	Характеристика	Форма оплаты	Примеры
Этапные поставки/работы	Заранее согласованный объем, сроки и стоимость поставки и/или работы	Аванс + окончательный расчет по завершению этапа	Этапная поставка комплекта оборудования
Абонентские услуги с фиксированной оплатой	Прогнозируемая периодичность, объем и затраты прямого влияния на ПКР не оказывают	Периодические (календарные) выплаты фиксированной суммы (абонплаты)	Доступ к portalу технической поддержки. Пользование документацией и иной интеллектуальной собственностью. Периодические технические конференции и семинары
Абонентские услуги с регулируемой оплатой	Прогнозируемая периодичность, объемы и затраты прямо влияют на ПКР	Периодические (календарные) выплаты. Размер платежа зависит от достигнутых ПКР	Полевая техническая поддержка, снабжение запчастями, устранение КПН, выполнение отдельных периодических форм ТО и Ремонта
Разовые услуги по заявкам стандартные	Заранее согласованный объем, и стоимость и момент возникновения потребности неизвестен	Разовые выплаты по выставленному счету в пределах согласованных расценок	Курс обучения летного и/или технического состава по стандартной программе
Разовые услуги по заявкам нестандартные	Объем, стоимость и момент возникновения необходимости неизвестны. Наличие специально зарезервированного бюджета	Разовые выплаты по выставленному счету в пределах согласованного лимита на непредвиденные расходы	Командирование технического эксперта для консультаций на месте. Устранение мелких повреждений конструкции изделия
Обследование и оценка стоимости работ	Объем работ и момент возникновения необходимости неизвестен. Согласованы расценки на проведение исследовательских и оценочных работ	Разовые выплаты по выставленному счету в пределах согласованных норм и расценок	Обследование существенно поврежденного изделия и оценка стоимости работ по его восстановлению. Оценка стоимости специальной заказной доработки изделия



по каждому из них должно калькулироваться и оплачиваться отдельно. О принципах и пропорциях регулирования вознаграждения в зависимости от достигнутых результатов мы уже говорили в предыдущей статье [1].

### Конечный результат и его оценка

При выборе стратегии сервисной поддержки системы ВВТ, ориентированной на конечный результат, возникает естественный вопрос - каким образом можно измерить и оценить этот результат? Попробуем разобраться с этим вопросом на простом примере. Предположим, конечным результатом сервисной поддержки, важным для боевого подразделения, является исправность парка эксплуатируемой техники. Наиболее простым измеряемым показателем здесь может быть коэффициент исправности парка ( $K_{испр}$ ), рассчитываемый, как отношение количества единиц техники, находящейся в исправном состоянии ( $N_{и}$ ) к общей численности парка ( $N_{п}$ )

$$K_{испр} = N_{и} / N_{п}$$

Оценку этого показателя можно осуществлять на ежедневной основе с последующим осреднением накопленных данных за отчетный период - месяц или квартал. Полученное среднее значение можно использовать для расчета размера вознаграждения подрядчика.

В случаях, когда изначально допускается эксплуатация частично исправной боевой техники, имеет смысл применение другого подхода. В этом варианте коэффициент исправности определяется на ежедневной основе индивидуально для каждой единицы техники в парке заказчика по схеме, приведенной в таблице 2.

Так же, как и в первом случае, собранные и зафиксированные в специальных двухсторонних актах данные об уровне исправности техники подлежат осреднению за отчетный период и служат основанием для расчета с подрядчиком за оказанные услуги сервисной поддержки.

Приведенная в таблице 2 схема хорошо иллюстрирует стимулирующую роль показателей конечного результата, как для подрядчика, так и для заказчика сервисной поддержки. Так, подрядчик имеет конкретную мотивацию тем или иным способом сокращать время простоя техники на всех плановых формах планового ТО, строго придерживаться заявленных сроков выполнения непланового ТО, избегать задержек с поставками запчастей, вовремя выполнять доработки, быстро и точно диагностировать причины отказов и неисправностей. Во всех этих случаях коэффициенту исправности техники присваивается нулевое значение. С другой стороны, заказчик мотивирован максимально оперативно решать вопросы о выполнении доработок, не создавать препятствий подрядчику в доставке и оприходовании запчастей, не допускать нарушений правил эксплуатации, приводящих к отказам, неисправностям и повреждениям техники. Во всех этих случаях коэффициенту исправности присваивается значение "1", несмотря на то, что техника простаивает и не используется по назначению.

Ограниченный размер статьи не позволяет во всех деталях описать все возможные варианты измерения и оценки других показателей конечного результата. Несомненным представляется одно - приемка услуг подрядчика по показателям конечного результата намного проще и эффективнее, чем администрирование каждой отдельной транзакции поставки запасных частей и выполнения конкретных работ.

В следующей статье этой серии мы остановимся на возможных схемах и вариантах сотрудничества между военными заказчиками и промышленностью при реализации контрактов жизненного цикла на принципах PBL. Речь пойдет о распределении ответственности между сторонами и взаимных обязательствах при работе на общий конечный результат. **▲**

### Литература:

1. Послепродажное обеспечение эксплуатации ВВТ: ориентация на конечный результат // Двигатель, №1, 2013 г.

Логика определения коэффициента исправности изделия для расчетов с подрядчиком PBL-контракта

Таблица 2

Состояние	Причина	Значение $K_{испр}$
Полная исправность	-	1
Неисправность	На изделии выполняется плановое контрактное ТО	0
	На изделии выполняется неплановое ТО, в рамках согласованных сроков	1
	Согласованные сроки завершения непланового контрактного ТО сорваны	0
	Срыв сроков поставки запчасти по не зависящим от исполнителя причинам	1
	Неприемлемая для заказчика задержка с поставкой запчасти по вине исполнителя, изделие не может быть использовано по назначению	0
	На изделии выполняется доработка в рамках согласованных сроков	1
	Ожидание решения заказчика по доработке	1
	Согласованные сроки завершения доработки сорваны, изделие не может использоваться по назначению	0
	Неисправность изделия по вине заказчика	1
	Ответственность за неисправность не установлена, изделие не может использоваться по назначению	0
	Отказы, повреждения и неисправности изделия по неустановленным причинам, изделие не может использоваться по назначению	0
Частичная исправность	Задержка с поставкой запчасти по вине исполнителя, изделие может использоваться по назначению с ограничениями	0,7
	Согласованные сроки завершения доработки сорваны, изделие может использоваться по назначению с ограничениями	0,7
	Отказы, повреждения и неисправности изделия по неустановленным причинам, изделие может использоваться по назначению с ограничениями	0,7

# ЮБИЛЕЙ ДРУГА

22-го июня этого года произошло одно из самых приятных событий этого года: одному из наиболее последовательных авторов и друзей нашего журнала, Льву Павловичу Берне исполнилось 95 лет!

Все, кто знаком с этим человеком, ставшим по праву живой легендой отечественной авиационной журналистики и истории, знают это, но никто не может в это поверить. Энергии его надо уже не завидовать: ей стоит просто восхищаться. Лев Павлович уже более тридцати лет в профессиональной авиационной журналистике. При этом, последние три года - главным редактором журнала "Крылья Родины". Ему удалось собрать команду единомышленников, усилиями которой этот когда-то ДОСААФовский журнал сумел пережить все свалившееся на нас экономические передряги и обрёл новое звучание, согласное с нашим временем. И это - тоже уникально: в мире нет прецедентов столь солидного возраста у реально действующего главного редактора научно-технического журнала.

...А до этого была Война и служба инженером в сражающихся авиачастях. И были - учёба в МАИ и Академии Жуковского. И была долгая-долгая работа в ОКБ "Союз" - и с его создателем, великим конструктором Микулиным и со всеми его преемниками.

Берне был известен по всем моторным главам МАП как один из наиболее грамотных испытателей двигателей, как выпускник двух наиболее престижных авиатехнических вузов, как воспитанник самого Бориса Сергеевича Стечкина и соратник Александра Александровича Микулина (с самых первых его газотурбинных двигателей), а также главных конструкторов Сергея Константиновича Туманского и Олега Николаевича Фаворского.

Он участвовал в послевоенном исследовании немецких ГТД, создании и испытаниях первых советских ГТД. Работал и дружил с Архипом Михайловичем Люлькой. И практически все газотурбинные двигатели, созданные в Лужниках на "Союзе" прошли через его руки - и на земле и на летающих лабораториях.

Удивительно целеустремлённый и верный выбранному делу и взятому слову человек. При всей его коммуникабельности и полном отсутствии заносчивости (что, вообще-то никого бы не удивило у человека такого уровня работы, связей и положения), он работал всю жизнь в одном ОКБ и сотрудничал в одном журнале. И этот журнал (когда последнему стало тяжело), не раздумывая особо, бросился спасать в начале этого тысячелетия, несмотря на возраст и занятость. И в этом - особенность его характера, известная всем, знакомым со Львом Павловичем. Он всегда умел находить правильные решения и доводить дело до победного конца, не останавливаясь и не сворачивая на полдороги.

Именно в этом качестве Берне - корни известной истории, когда он, в качестве ведущего по испытаниям двигателя Р15Б-300 от завода-изготовителя спас и двигатель, и единственную тогда летающую лабораторию Ту-16 ЛЛ, и двух Героев СССР лётчиков-испытателей Амет-Хан Султана и В.А. Комарова, да и себя самого с коллегой инженером-испытателем из ЛИИ, команду неожиданной "слепой" посадкой самолёта из заднего иллюминатора-блестера. Случай, достойный книги Гиннеса.

И весь цикл испытаний новой тогда машины Р-79 для уникального и до сих пор не превзойдённого Як-141 - сверхзвукового истребителя вертикального взлёта - дело рук и разума Льва Павловича. И не его вина, и тем более - не конструкторов самолёта и двигателя, что так и осталось всё недоведённым до ума: много чего поменялось в Отечестве нашем в это время. Но: "надо" означает у этого человека "сделаю".

И при этом - чрезвычайно интеллигентный, но удивительно упорный человек. И - никогда не боялся отстаивать свои убеждения. Спорил даже с Микулиным, который совершенно не терпел возражений, особенно в принципиальных вопросах. И потому, неоднократно был ... отстранён от работ и даже уволен Алекса-



Главный редактор журнала "Двигатель" А.И. Бажанов и сотрудники журнала поздравляют Л.П. Берне с юбилеем

Фото Д.А. Боева

ндром Александровичем. Но - не больше, чем на полтора часа, за которыми - полное восстановление "status quo". И всё равно: спокойно и уверенно отстаивал свою правоту. И, в конце концов, всегда оказывался прав.

Ещё одно отличительное свойство Льва Павловича - отличная память. Это позволило нам узнать от первого лица о многих известных людях. Мы посчитали: с самого первого номера, им - индивидуально и в соавторстве - было напечатано в нашем журнале более десятка больших "серийных" статей, скорее даже журнальных повестей. Каждая в нескольких номерах. Это в немалой степени определило лицо нашего журнала. А на материале статей, посвящённых А.А. Микулину, в 2006 году была выпущена книга, где этот весьма талантливый конструктор и интересный человек представлен таким, каким его знали те, с кем он непосредственно работал. Книга за короткий срок выдержала уже второе издание.

А сколько интереснейших статей написано им в сборник "Созвездие", издаваемый АССАД! И всё - правда, и - не оторвёшься, пока не дочитаешь. Вот по какому материалу сценарии бы делать для примера и удовольствия будущих инженеров и конструкторов... А справочник по советским авиационным двигателям, коему он был инициатор и соавтор, стал основным документом для всех, кто интересуется отечественной авиатехникой, и базой для многих последователей и продолжателей работы в этом направлении.

В этом году нашей редакцией была выпущена новая книга Льва Павловича "Как всё начиналось". Это второе издание этой книги: первое промелькнуло лет пять назад, мгновенно став библиографической редкостью. Новая книга почти вдвое превзошла предшественницу по объёму, оставаясь столь же информативной и захватывающей. Добавился целый ряд новых глав, огромное количество фотографий. Выпускалась книга по подписке на средства друзей-моторостроителей и самолётчиков. Предприятий, которые, собственно и стали героями этого совсем не традиционно-мемуарного труда. Интересно, очень лично, но в то же время - весьма объективно получилось.

На торжественном банкете по поводу своего юбилея, Лев Павлович поделился планами: к своему 100-летию ещё расширить объём этого издания. И пригласил всех присутствующих оценить результат через всего-то пять лет.

Как-то верится: и сделает, и выпустит. Нам бы только довелось бы почитать...

**С днём рождения, дорогой Лев Павлович!  
Долгих Вам лет и крепкого Вам здоровья!  
Великого уважения сослуживцев и коллег,  
любви родных и близких!**

# ДВИГАТЕЛЬ CFM56

## О НЕМ И О ТОМ, ЧТО ВОКРУГ НЕГО...



**Олег Юрьевич Бондарев**, специалист II уровня по визуальному и измерительному контролю, президент Промышленной ассоциации "МЕГА" в области технической диагностики



**Юрий Александрович Тарасенко**, специалист инженерно-авиационной службы BBC

**Без сомнения, современный турбореактивный двигатель во всем своем видовом многообразии - это настоящий шедевр инженерной и научно-технической мысли. Причем так можно сказать относительно любой области практической науки, будь то материаловедение или автоматика, аэродинамика или электроника. В двигателе все это есть.**

Один из представителей такого рода универсалов - самый, пожалуй, распространенный на данный момент двигатель нынешней коммерческой (и не только) реактивной авиации CFM56 (рис. 1).

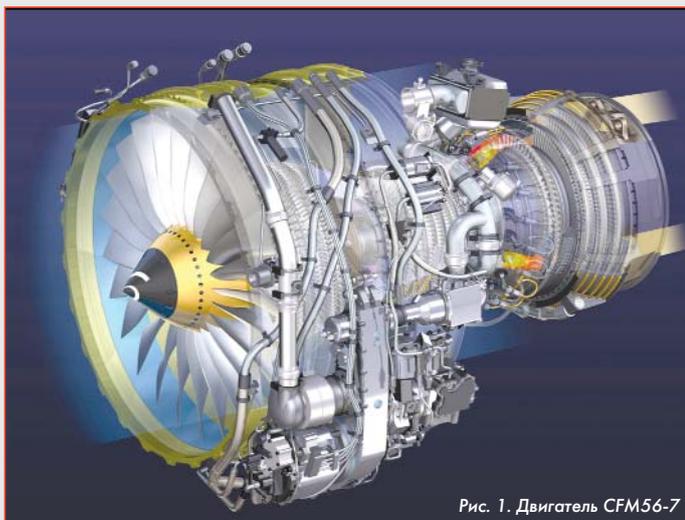


Рис. 1. Двигатель CFM56-7

Вот некоторые интересные цифры мировой статистики по данным на 31 декабря 2012 года. Более половины самолетного парка коммерческой авиации оборудовано этими двигателями. Всего 531 организация (это авиакомпании, чартерные операторы, лизинговые компании, военные организации) успешно эксплуатируют такие двигатели. Их произведено более 22 000 штук, и каждые 2,5 секунды в мире взлетает самолет с двигателями типа CFM56.

Одна из причин такого распространения - немалое количество его модификаций, потому что устанавливается он на различные типы (и варианты) самолетов и за весь период своего успешного использования зарекомендовал себя удачным и надежным двигателем, при этом обладающим относительно невысокой стоимостью как в базовом отношении, так и в плане эксплуатационных затрат.

История его началась еще в конце 60-х годов, в период, когда актуальными стали работы по созданию турбовентиляторного двигателя нового поколения. Это должен был быть экономичный двигатель с большой степенью двухконтурности и тягой около 10 тс и выше. Основное предназначение - коммерческая авиация (как пассажирская, так и транспортная), но не исключались и другие области использования (в частности, военная).

Ведущие авиационные фирмы Европы и Америки имели виды на этот двигатель. Однако возможности у всех оказались разные. Разработка нового авиационного реактивного двигателя - процесс, в принципе, длительный, трудоемкий и достаточно дорогой. В то время первенство на рынке двигателей для коммерческой авиации (да и для военной тоже) держала (аэрокосмическая теперь уже) фирма Pratt&Whitney, выпускавшая двухконтурные двигатели с небольшой степенью двухконтурности (до 1,0).

Уже достаточно известная в тот период французская фирма SNECMA (Société Nationale d'Etudes et Construction de Moteurs d'Aviation) тоже проводила работы в этом направлении, и у нее бы-

ли определенные прогрессивные разработки. Однако к тому времени она имела опыт создания двигателей в основном для военной авиации, и для более уверенного вхождения в быстро развивающийся рынок двигателей коммерческой авиации ей необходим был партнер, уже имеющий опыт работы в этой области. Возможных партнеров для такого дела было трое. Однако...

Тогдашний лидер авиационного коммерческого двигателестроения, Pratt&Whitney, собиралась заняться дальнейшим усовершенствованием хорошо зарекомендовавшего себя, но уже устаревающего движка JT8D и делать это единолично, без какого-либо стратегического партнерства.

Другой возможный партнер, фирма Rolls-Royce, испытывала в это время определенные финансовые трудности, не позволявшие ей пока заниматься осуществлением новых проектов.

Оставался третий возможный участник - авиационное подразделение фирмы General Electric Company (GE) - GE Aviation (с сентября 2005 г. оно носит название General Electric Aircraft Engines или GEAE).

GE Aviation вплотную подошла к необходимости разработки нового турбовентиляторного десятилитрового, и сотрудничество со SNECMA позволяло получить на это дополнительные средства и использовать ее разработки в этом направлении, что, безусловно, облегчило бы дальнейшую работу.

О принципах такого взаимодействия договорились в 1971 г. представители обеих фирм на Парижской аэрокосмической выставке. После этого они встречались еще несколько раз, обсуждая взаимовыгодное сотрудничество.

Тем более что опыт совместной деятельности в подобного рода направлении уже имелся. SNECMA и GE Aviation сотрудничали при производстве двигателя CF6-50 (договор об этом был заключен в 1969 г.), который в целом был разработкой GE (задел SNECMA составлял около 15 %) и устанавливался на один из первых широкофюзеляжных аэробусов A300 различных модификаций (рис. 2). Одним из первых заказчиков этого самолета был, кстати, Air France.

Именно имеющиеся технологии по CF6-50 (и только их) GE Aviation первоначально намеревалась использовать при своем сотрудничестве со SNECMA для разработки нового двигателя. Но при этом у нее оставались в запасе также более продвинутые разработки и технологии. Это были материалы по ее двигателю F-101, который создавался для сверхзвукового бомбардировщика Rockwell B-1 Lancer (рис. 3).

Для использования этих разработок тогда появилась новая возможность. В 1972 г. USAF официально объявила конкурс на создание нового тактического транспортного самолета с укороченными взлетной и посадочной дистанциями взамен Lockheed C-130 Hercules.



Рис. 2. Conair Airbus A300



Рис. 3. Rockwell B-1 Lancer

Полное название этого проекта - Advanced Medium STOL Transport (AMST). STOL расшифровывается как "short take off and landing".

В рамках этой программы предусматривалось и финансирование разработки нового двигателя для такого самолета, как раз необходимого класса коммерческого ТВРД. Однако возникшие сомнения в том, сможет ли GE Aviation выиграть этот конкурс, и не останется ли она в этом случае "один на один" со своими продвинутыми технологиями, отказавшись использовать их в сотрудничестве со SNECMA, вылились в решение все-таки использовать кроме технологий по CF6 и разработки по F-101 в полном объеме для работы с французами и разработки нового двигателя.

Одного такого решения, правда, оказалось недостаточно. Теперь в дело вмешались политика и экономическое противостояние Европы и Америки. Сведения по F-101 были засекречены и причислялись к секретным материалам из области национальной безопасности США. Одно это уже вроде как исключало возможность экспорта технологий во Францию.

Потом сюда примешали интересы американских налогоплательщиков, профсоюзов, рабочих авиазаводов и прочее. В общем, первоначально со стороны правительства США последовал отказ на просьбу о возможности сотрудничества GE Aviation и SNECMA с использованием технологий F-101.

Причем эта преграда оказалась настолько непробиваемой, а необходимость совместной работы двух фирм по созданию нового двигателя столь актуальной, что потребовалось вынесение вопроса о возможности экспорта разработок по F-101 на повестку дня встречи тогдашних президентов США и Франции Ричарда Никсона и Жоржа Помпиду. Она состоялась в 1973 году в Рейкьявике.

Тогда наконец-то было достигнуто соглашение, удовлетворяющее обе стороны, что и явилось, по сути, формальным началом создания двигателя CFM56. Интересно, что при этом американцы получили порядка \$80 млн отступного, так называемый авторский гонорар за свои разработки, а европейцы вынуждены были отказаться от политики повышенного налогообложения американской авиатехники, поставляемой в Европу.

Американская часть двигателя (та самая, основой для которой послужил двигатель F-101) - это компрессор высокого давления (КВД), камера сгорания (КС) и турбина высокого давления (ТВД), так называемое ядро (core) или сердце двигателя - газогенератор. Она должна была собираться в США и транспортироваться во Францию с соблюдением мер секретности.

Доходило до смешного, когда вновь прибывшие из Америки узлы хранились в закрытом помещении, куда не было доступа даже для президента SNECMA. Только после полной сборки двигателя с участием американских сборщиков он мог быть вывезен из охраняемого помещения. Было и такое на начальном этапе совместной работы.

Определенные производственные циклы (каждый на своей территории), в общем-то, начались еще до заключения официального соглашения между фирмами, еще в январе 1972 г. А само соглашение было подписано в 1974 г., и совместная компания получила название, производное от наименования двигателя, для производства которого она и была создана. Сейчас это уже не один двигатель, а целая линия CFM56.

Это наименование - аббревиатура. Есть несколько версий ее происхождения, в основном они похожи, поэтому озвучим официальную. Производное CFM56 получило из двух названий: двигатель CF6 от GE Aviation и M56 от SNECMA. Считается, что эти два двигателя послужили основой для создания ныне существующего CFM56.

Что касается M56, то это был турбовентиляторный двигатель, разработанный SNECMA для самолета Dassault Mercure, французского аналога Boeing-737. В этом проекте у французов очень хорошо получился узел вентилятора с турбиной низкого давления, а с разработкой турбокомпрессора высокого давления совместно с камерой сгорания начались проблемы.

Из-за этих проблем Dassault Mercure в итоге полетел с двигателями Pratt&Whitney JT8D-15. А у SNECMA осталась отличная разработка, которая была использована для нового двигателя в комплексе с турбокомпрессором и камерой сгорания F-101.

Что касается CF6, то от него на новом двигателе осталась, пожалуй, в основном только философия инженерного дизайна. Цифра "6" здесь, видимо, мало что значит. Более важны буквы CF, что означает "commercial (civilian) turbofan (fan)" - исторически сложившееся название для такого рода двигателей в GE Aviation (CF6, CF34).

В итоге получилась всем известная марка двигателей CFM56. А компания, производящая эти двигатели, обрела название CFMI, то есть добавилась буква "I", что означает "international". Смысл этого добавления понятен.

Долевое участие обеих компаний в производстве и продаже готовых двигателей и запчастей к ним, а также их сервисном обслуживании одинаково, то есть 50/50. В совете директоров по пять участников от каждой стороны.

Сборочные линии полного профиля имеются по обе стороны океана. Во Франции - в местечке Villaroche в 50-ти км юго-восточнее Парижа. Здесь, на 86-ти гектарах в центре равнины Brie, располагаются заводы SNECMA по сборке и испытанию коммерческих и военных авиационных двигателей, которые начали там создаваться еще в 1947 г.

В Америке сборочные заводы и испытательные лаборатории располагаются возле городка Evendale на территории округа Hamilton в штате Огайо. Административным центром этого округа является город Cincinnati, в котором и находится штаб-квартира GE Aviation, и там же располагается президент компании CFMI.

Заводы во Франции специализируются на изготовлении таких узлов двигателя CFM56, как вентилятор, компрессор низкого давления, турбина низкого давления и выходные устройства (сопла). GE занимается изготовлением компрессора и турбины высокого давления, а также камеры сгорания. Некоторые узлы двигателя изготавливаются также сотрудничающей с CFMI итальянской компанией Avio, а также подразделением SNECMA, испанской фирмой Hispano-Suiza (коробки приводов).

Кроме того, изначально прерогативой SNECMA была сборка коробки приводов и инженерно-конструкторские работы по сопряжению двигателя с конструкцией самолета, то есть, по сути, дизайн мотогондолы. Однако со временем, по соображениям целесообразности, эти работы стали выполняться также и в GE Aviation.

Отдельные узлы и двигатели для тестирования начали собираться еще до заключения соглашения, то есть до официального образования CFMI. Такие двигатели носили наименование CFM56. Но первая, достаточно отработанная (серийная) версия этого двигателя была собрана с проведением стендовых испытаний в июне 1974 года на заводе GE. Второй такой двигатель был испытан во Франции в декабре того же года.

Эти движки, в отличие от тестовых образцов, получили наименование CFM56-2 (рис. 4). Они были, по сути дела, первыми в семействе двигателей CFM56 и даже впоследствии получили от его создателей характерное название "дедушки" этого семейства.

Прочная и эффективная архитектура двигателя CFM56-2 позволила в дальнейшем стать всему семейству одними из самых популярных двигателей в воздухе. Это был первый десятитонник в своем классе со значительно сниженным уровнем шума и вредными выбросами камеры сгорания.

Первый полет он совершил в феврале 1977 г. на опытном самолете McDonnell Douglas YC-15, выполнявшем полеты по программе AMST, вместо одного из четырех двигателей Pratt&Whitney JT8D-17, стоявших на этом самолете (рис. 5). Вскоре после этого второй тестовый полет состоялся с использованием самолета Sud



Рис. 4. CFM56-2



Рис. 5. McDonnell Douglas YC-15

Aviation SE 210 Caravelle 12. На этом самолете был проведен опыт по переоборудованию двигателя выходным устройством со смешением потоков.

Однако на перспективность проекта AMST рассчитывать не приходилось, и CFMI обратила свое внимание на самолеты Boeing-707, а также их последователей, использовавших 707-й как базовый прототип. В частности, на самолет-заправщик Boeing KC-135 Stratotanker.

Эти самолеты, в большом количестве состоявшие на вооружении USAF, были оборудованы устаревшими двигателями Pratt&Whitney J57 (повышенная шумность, сравнительно большой расход топлива и недостаточная тяга) и нуждались в их замене (ремоторизации). Это был лакомый кусок, ведь общее количество заправщиков составляло более 650 штук, и на каждом было по четыре двигателя.

Ремоторизация пассажирских Boeing-707 (двигатели Pratt&Whitney JT3D) не удалась из-за отсутствия внимания к этому со стороны авиакомпаний, хотя работы по сопряжению нового двигателя с планером 707-го были проведены, и имелся тестовый вариант самолета, названный 707-700 (еще с января 1979 г.). А вот с KC-135 дела пошли хорошо.

Сначала французское правительство в 1978 г. объявило о ремоторизации 11 своих KC-135 с заменой двигателей на CFM56-2. То есть и тут без политики не обошлось. Так сказать "поддержка отечественного производителя". Это был первый крупный заказ новых двигателей.

А потом, в начале 1980 г., командование USAF объявило о заключении контракта с CFMI на замену двигателей своих заправщиков с использованием CFM56. Дальше - больше. В 1982 г. командование United States Navy (USN) приняло решение о заключении с фирмой Boeing контракта на разработку нового самолета комплексного управления и связи на базе Boeing-707 с силовой установкой на базе четырех CFM56-2A-2, впоследствии получившего название Boeing E-6 Mercury. Далее пришел черед Аваксов.

Сначала в 1984 г. на это сподвинулись арабы из Royal Saudi Air Force (самолеты Boeing E-3 Sentry - 5 штук и восемь заправщиков KE-3A с двигателями CFM56-2A-3), а затем и Великобритания с Францией, получившие семь и четыре самолета E-3 Sentry (рис. 6) соответственно (E-3D и E-3F), оборудованных двигателями CFM56-2A-3 (рис. 7).



Рис. 6. Самолет ДРЛО Boeing E-3D Sent Boeing-737-33Qry

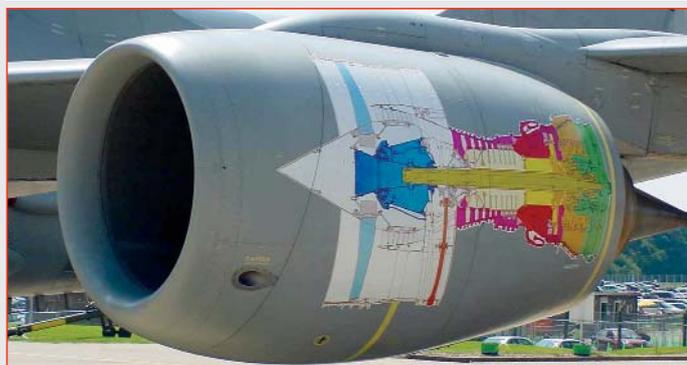


Рис. 7. CFM56-2A-3 на пилоне самолета Boeing E-3 Sentry

Однако это все были государственные (военные) заказы. Первый по-настоящему коммерческий заказ последовал в апреле 1979 г. от авиакомпании United Airlines, а вскоре и от Delta Air Lines

и Flying Tiger Line. Эти авиакомпании намеревались заменить двигатели устаревающих Douglas DC-8-62 (63 и в последствии 61) на более экономичные и малошумные CFM56-2 (C1). Это предприятие казалось более выгодным, нежели покупка новых самолетов.

В общем, как говорится, дело пошло. Двигатели хорошо зарекомендовали себя, были разработаны и внедрены в производство новые, во многом более совершенные модификации, которые стали устанавливаться на новые самолеты Boeing (серия 737 Classic) и Airbus (серия 320, 340). На данный момент существует четыре основных варианта двигателя CFM56, и каждый из них имеет определенное количество разновидностей. Всех их объединяет общий инженерный дизайн, однако у каждого есть свои особенности, зачастую довольно существенные.

CFM56 - это двухвальный, двухконтурный турбореактивный двигатель с большой степенью двухконтурности, то есть турбовентиляторный. Основные узлы - это одноступенчатый вентилятор с компрессором низкого давления (КНД) на валу с турбиной низкого давления (ТНД), камера сгорания, компрессор высокого давления (КВД) на валу с турбиной высокого давления и выходное устройство (сопло). Количество ступеней компрессоров и турбин на разных вариантах может меняться.

Первая модификация, двигатель CFM56-2, - оригинальный вариант изначального CFM56. В американской военной авиации известен как F108 и на ней же в основном и устанавливался. Двигатели этой модификации имеют вентилятор с 44 лопатками и трехступенчатый КНД. КВД имеет 9 ступеней, турбины низкого и высокого давления - четыре и одну соответственно. Камера сгорания на этих движках кольцевая, то есть наилучший вариант.

CFM56-2B1 (в американском варианте F108-CF-100): тяга (в дальнейшем - P) - 22 000 lbf (pound-force, фунт-сила), степень двухконтурности (в дальнейшем - C) - 6,0. Установлен на вышеупомянутые Boeing KC-135 Stratotanker, а также на Boeing RC-135 с 2005 г.

CFM56-2A-2: P - 24 000 lbf, C - 5,9. Установлен на самолетах Boeing E-6 Mercury.

CFM56-2A-3: P и C аналогичны. Установлен на самолетах Boeing E-3 Sentry (AWACS), а также E-3A, KE-3A, E-3F, E-3D.

CFM56-2C1: P - 22 000 lbf, C - 6,0. Установлен на самолетах Douglas DC-8-62 (63), которые получили при этом индексы 72 и 73 соответственно.

Следующая серия - это CFM56-3 (рис. 8). Эти двигатели создавались для установки на самолетах Boeing-737 (рис. 9) серии Classic (то есть 300/400/500), что наложило свой определенный отпечаток на конструкцию движка и внешний вид мотогондолы.

Сам по себе самолет (точнее, его фюзеляж) расположен не очень высоко над поверхностью летного поля. Плюс к этому низкое расположение крыла и подкрыльевое расположение пилонов подвески мотогондол. В итоге, чтобы обеспечить какое-то минимальное, с точки зрения безопасной эксплуатации, расстояние до бетонки, пришлось двигатель трансформировать. Решение вполне понятное: чего не сделаешь, чтобы завоевать огромный рынок 737-х.

Для этого уменьшили диаметр вентилятора. У CFM56-2 он был 173 см, а у тройки стал 152 см. По своим параметрам и конструкции он стал гораздо ближе к вентилятору двигателя CF6-80. При этом для сохранения исходных (как минимум) параметров под новый вентилятор пришлось переработать компрессор низкого давления и внести некоторые изменения в компрессор высокого давления.



Рис. 8. CFM56-3



Рис. 9. Boeing-737-33Q

Второе кардинальное изменение - это перенос коробки привода агрегатов и многих других устройств из комплекта обвязки двигателя с его нижней части на боковые. При этом сама мотогондола тоже приобрела характерную форму, слегка "раздутую" по бокам и уплощенную снизу (рис. 10).



Рис. 10

Частота вращения ротора вентилятора осталась той же, что у "двойки", а из-за уменьшения диаметра вентилятора окружная скорость концов его лопаток уменьшилась, что позволило увеличить аэродинамическую эффективность их работы, что в свою очередь привело к повышению эффективности двигателя в целом и, как следствие, к уменьшению расхода топлива (до величины в 3 %).

При всем этом двигатель "потерял в весе" (от 170 до 240 кг в зависимости от варианта) и сохранил величину тяги практически на уровне своего предшественника. Получилась такая эффективная и надежная, компактная и облегченная "рабочая лошадка". Комбинация B737/ CFM56-3, вступив в эксплуатацию в 1984 г., быстро стала одной из самых продаваемых в мире.

В настоящее время CFMI подготовила комплекс мер для апгрейда CFM56-3, который позволяет продлить срок службы и снизить расходы на обслуживание этого довольно удачного двигателя.

CFM56-3B-1: P - 20 000 lbf, C - 6,0. Устанавливается на самолеты B-737/300/500.

CFM56-3B-2: P - 22 000 lbf, C - 5,9. Устанавливается на самолеты B-737/300/400.

CFM56-3C-1: P - 23 500 lbf, C - 6,0. Устанавливается на самолеты B-737/300/400/500.

Следующим в очереди по логике должен бы стоять CFM56-4. И такой проект был запущен в 1984 г. в расчете на семейство самолетов A320. Двигатель создавался на основе CFM56-2, при этом глубокой переработке подвергся КНД и вентилятор, была внедрена электронная компьютерная система управления двигателем. Планировалось получить тягу порядка 25 000 lbf.

Однако к этому времени на рынке появился новый двигатель IAE V2500, который тоже планировался к установке на A320. CFM56-4 по многим параметрам ему проигрывал, поэтому было принято действительно логичное решение о перепрофилировании этого проекта на создание двигателя следующей серии. **!**

(Продолжение в следующем номере)

**Официальный поставщик  
технических видеэндоскопов XLGO+ в России,  
дистрибьютор компании General Electric  
по направлению визуально-измерительного контроля**

**ООО "Мега Инжиниринг":**

Москва, 129343, Проезд Серебрякова, д. 2/1  
Многоканальный телефон: 8 (495) 600-36-42

Факс: 8 (495) 600-36-43

Бесплатный телефон по России: 8 (800) 555-31-42

Срочные вопросы: 8 (985) 970-97-19

Интернет: [www.mega-ndt.ru](http://www.mega-ndt.ru), [www.xlg3.ru](http://www.xlg3.ru)

E-mail: [info@mega-ndt.ru](mailto:info@mega-ndt.ru)

# XII МЕЖДУНАРОДНЫЙ ПРОМЫШЛЕННЫЙ ФОРУМ – 2013

МЕЖДУНАРОДНЫЕ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ ВЫСТАВКИ И КОНФЕРЕНЦИИ

# 19 - 22 НОЯБРЯ



Генеральные информационные партнеры:  
**СЕРВИСАЖИ**  
Технический партнер:  
**Reut Media**

**ufi**  
Approved Event



**ОРГАНИЗАТОР**  
Международный выставочный центр  
**ПРИ ПОДДЕРЖКЕ:**  
Государственного агентства Украины по управлению государственными корпоративными правами и имуществом Украинской Национальной Компании "Укрстанкоинструмент"



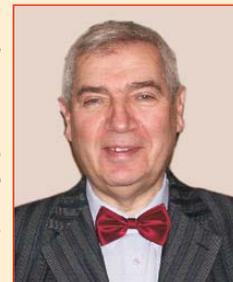
Международный выставочный центр  
Украина, 02660, Киев  
Броварской пр-т, 15  
М "Левобережная"  
☎ (044) 201-11-65, 201-11-56  
e-mail: [lilia@iec-expo.com.ua](mailto:lilia@iec-expo.com.ua)  
[www.iec-expo.com.ua](http://www.iec-expo.com.ua)  
[www.tech-expo.com.ua](http://www.tech-expo.com.ua)

# СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ РЕНТГЕНОВСКОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ

ООО "Промышленная интроскопия":



*Промышленная рентгеновская компьютерная томография возникла как отражение феерического успеха медицинской компьютерной томографии, изобретенной английским инженером Г.Н. Хаунсфилдом, опубликовавшим первое описание компьютерного томографа в 1972 г. [1]. Уже через неполные 7 лет это выдающееся открытие эпохи компьютерной революции было отмечено Нобелевской премией. С тех пор достоинства медицинской томографической диагностики не устарели и она продолжает помогать лечиться людям в десятках тысяч госпиталей по всему миру. Небывалый масштаб успеха медицинской рентгеновской томографии - следствие счастливого совпадения уникальных информационных возможностей метода, адекватных диагностическим задачам, размерам и физическим свойствам человеческого тела, а также наличию многомиллиардного рынка сбыта дорогостоящего медицинского оборудования.*



**Ирина Алексеевна Вайнберг**, старший научный сотрудник, к.т.н.

**Эдуард Ильич Вайнберг**, президент, д.т.н.

Воодушевленные идеями томографии, десятки фирм и университетов Великобритании, США, Франции, Германии, Японии и СССР [2-7] активно взялись за создание рентгеновских компьютерных томографов для промышленных и научных целей, разработку стандартов [8-11, 26-29] и поиски наиболее важных областей применения. Из отечественных достижений того периода можно упомянуть настольные микротомографы ВТ-50 (рис. 1, 2), разработанные в лаборатории Э.И. Вайнберга, которые уже в 1990 г. были поставлены в Италию и США и с большим успехом представлены на конференциях в Милане (1990) и Сан-Диего (1991).



Рис. 1

За прошедшие тридцать лет своего развития промышленные рентгеновские компьютерные томографы стали привычным инструментом отработки технологии и повышения надежности ответственных промышленных изделий многих инновационных отраслей ведущих промышленных стран [12-18].

Они используются для количественного неразрушающего контроля качества внутренней пространственной структуры широ-

кого спектра ответственных автомобильных и аэрокосмических узлов и деталей: сложного литья из легких сплавов, титана и специальных сталей, охлаждаемых турбинных лопаток из жаропрочной стали, твердотопливных ракетных двигателей, крупногабаритных лопаток вентилятора турбовентиляторных двигателей, теплообменников, трансмиссий, форсунок, датчиков и клапанов, сложных сварных и паяных соединений; головок блока цилиндров, поршней, гидропор, каталитических нейтрализаторов, тормозных дисков и колодок, автоматических коробок передач, малогабаритных двигателей крылатых ракет и беспилотных летательных аппаратов; ответственного корпусного литья и топливораспределительных блоков; углеродных уплотнителей и подшипников, сложных изделий из керамики; изделий из композиционных материалов, многослойных конструкций, клеевых соединений, сотовых конструкций, теплозащиты, звукопоглощающих панелей и обтекателей; боеприпасов, электродвигателей, аккумуляторов, изоляторов, высоковольтных выключателей и других электротехнических изделий; крупногабаритных шин, геологических кернов и т.д. на всех этапах "жизни" изделия: от входного контроля материалов, отработки техпроцесса, мониторинга серийной технологической дисциплины до диагностики в процессе испытаний, эксплуатации и ремонта.

Несмотря на сложность, дороговизну и проблемы биологической защиты, несомненная конкурентоспособность промышленной компьютерной томографии до сих пор обусловлена несомненностью традиционных методов и средств неразрушающего контроля и измерений количественно исследовать сложную внутреннюю структуру ответственных деталей и сборок, имеющих критическое значение для обеспечения надежности аэрокосмических, автомобильных, энергетических и оборонных систем. Например, чем измерить геометрию системы охлаждения внутри литой турбинной лопатки из жаропрочной стали? Чем количественно оценить однородность распределения плотности и размеры неоднородностей внутри тормозного диска, лопасти или ракетного сопла из углекомпозиита? Чем оценить качество сварных и паяных соединений внутри сложного теплообменника или радионуклидного источника тока космического аппарата? Чем определить правильность сборки сложного неразборного клапана или боеприпаса, измерить величину зазоров и плотностей внутренних структурных элементов? Подобные задачи и являются исключительными областями применения промышленной томографии, в которых информационные возможности томографического метода пока не имеют себе равных.

В то же время, если сопоставить современный уровень развития техники и рынка промышленной компьютерной томографии с успехами ее "прародителя" - медицинской томографической диагностики, то неизбежна более скромная оценка многолетних дос-

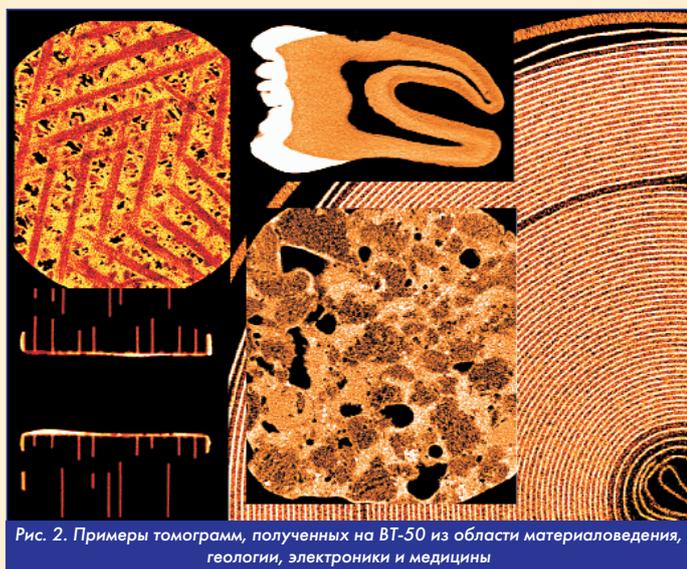


Рис. 2. Примеры томограмм, полученных на ВТ-50 из области материаловедения, геологии, электроники и медицины

тижений промышленной томографии. Основных причин три:

1. "Неудобные" для многоракурсного рентгеновского просвечивания физические свойства промышленных объектов контроля (высокие плотность и эффективный атомный номер материалов, значительные размеры и вес) и их несоответствие характеристикам современных источников тормозного излучения (по проникающей способности излучения [19, 20, табл. 1], размерам фокусного пятна [6, 14] и уровню мощности экспозиционной дозы);

2. Существенно меньшие размеры подлежащих обнаружению локальных дефектов [4, 5] и повышенные требования к пространственному разрешению, точности измерения размеров и разнотностей внутренних структур [4, 14];

3. Низкая емкость рынка томографического оборудования для инновационных технологий ответственных промышленных изделий аэрокосмического, автомобильного и оборонного назначения.

Таблица 1 [19, 20]

Просвечиваемая толщина стали, мм	3	15	30	50	60
Необходимое анодное напряжение рентгеновской трубки, кВ	125	225	320	450	600

Именно эти фундаментальные факторы определяют современное состояние и перспективы развития промышленной компьютерной томографии.

Сегодня около 30 фирм и научных центров США, Германии, Великобритании, Бельгии, Японии, России, Италии, Китая и Индии на своих сайтах предлагают или описывают промышленные компьютерные томографы самых разнообразных моделей для разных областей применения:

- "таможенные" инспекционно-досмотровые томографические комплексы;
- микро- и нанотомографы для промышленного контроля, научных исследований;
- координатно-измерительные машины с использованием рентгеновской компьютерной томографии;
- и собственно универсальные компьютерные томографы промышленных изделий для отработки технологии и сертификации деталей и узлов авиационных и автомобильных двигателей и оборонной промышленности [15-18, 21].

За последние годы соотношения этих подвидов томографической технической диагностики заметно изменились под воздействием спроса и экономической конъюнктуры, бурного развития компьютерной техники, прихода нового поколения разработчиков и фирм, а также растущей популярности автоматизированных компьютерных технологий, призванных минимизировать "человеческий фактор".

В частности, в ответ на продолжающийся деструктивный рост терроризма, наркомании и контрабанды оружия, на первое место вышел наиболее емкий рынок специализированной томографической радиационной диагностики для инспекции и досмотра авиабагажа (рис. 3).



Рис. 3. Внешний вид досмотрового компьютерного томографа авиабагажа типа CT-800мс американской фирмы SAIC

В крупных аэровокзалах мира подобных дорогостоящих установок десятки, а общее число авиапассажиров в мире удваивается каждые 15 лет и уже превышает три миллиарда человек (и чем-то больше), что соответствует потребности в три тысячи досмотровых компьютерных томографов, за которые заплатят пассажиры! Этот растущий рынок томографов "имени 2001 года" на порядок превышает потребности в томографическом контроле на производстве.

Среди высокопроизводительных (от 600 до 1800 чемоданов в час) компьютерных томографов для досмотра авиабагажа с автоматическим обнаружением взрывчатых вложений наиболее популярны конкурирующие томографы североамериканских фирм Rapiscan Systems /www.rapiscansystems.com/, Morpho Detection (Safran Group) /www.morphodetection.com/, L-3 Communication/Security Detection Systems (партнер фирмы Analogic) /www.L-3com.com/sds/, SAIC Security and Transportation Technology /www.saic.com/security/, и европейского производителя Smiths Heimann/Smiths Detection /www.smithdetection.com/.

Этот технически развитый и экономически наиболее выгодный подвид промышленной рентгеновской томографии заслуживает пристального внимания разработчиков, но в силу низкой проникающей способности (10 мм стали, 90...180 кВ) и пространственного разрешения (~5...10 пер/см), адекватных специфике объектов контроля, "багажные" томографы, еще в меньшей степени, чем более массовые медицинские томографы, не эффективны для количественного томографического контроля внутренней структуры ответственных промышленных изделий из плотных металлов и композитов. В то же время конструкция транспортерных "багажных" томографов (с модернизацией источника, детекторов излучения и радиационной защиты) может использоваться как основа для высокопроизводительного 100 % томографического контроля ответственных серийных изделий "на потоке" с умеренной метрологией.

Попутно отметим и новый емкий рынок высокоэнергетического (3/4/6/9 МэВ) цифрового радиографического досмотра большого автотранспорта, железнодорожных вагонов и морских контейнеров, где благодаря применению ускорителей достигается повышенная проникающая способность (до 200 мм стали) при габаритах объектов контроля до 4х5х20 м (рис. 4), но идеи всестороннего многоракурсного просвечивания с реализацией компьютерной томографии пока остаются на уровне перспективных проработок. Среди успешных изготовителей разнообразных моделей высокоэнергетического досмотрового оборудования можно указать американские фирмы Rapiscan Systems /www.rapiscansystems.com/ и American Science and Engineering (AS&E) /www.as-e.com/, Smiths Heimann/Smiths Detection (Германия) /www.smithdetection.com/ и NUCTECH (КНР) /www.nuctech.com/. Это оборудование на сегодня является основным потребителем промышленных ускорителей (преимущественно линейных) с энергией ускоренных электронов от 3 до 9 МэВ и многоэлементных решеток детекторов с крупными скинтилляционными кристаллами.



Рис. 4. Внешний вид высокоэнергетического (6 МэВ) портального досмотрового рентгенографического оборудования типа Rapiscan Eagle P60 американской фирмы Rapiscan Systems

За последние годы существенно расширилось количество предложений рентгеновских микротомографов для неразрушающего контроля внутренней структуры небольших изделий ( $\varnothing$  1...100 мм), материаловедения, томографии электронных компонент и научных исследований [23]. Сегодня на рынке промышленных томографов представлено большое число моделей микротомографов и нанотомографов с использованием разборных и отпаянных микрофокусных трубок (0,2...6 мкм при мощности на мишени 0,2...6 Вт) на анодное напряжение от 80 до 225 кВ. Для многоракурсного томографического контроля стальных изделий напряжения 225 кВ (15 мм стали) безусловно недостаточно, но дальнейшее повышение анодного напряжения микрофокусных рентгеновских трубок технологически затруднено и резко утяжеляет автономную биологическую защиту. Тем не менее, европейская фирма Nikon Metrology NV (X-Tek)



Рис. 5. Микрофокусная трубка на 450 кВ фирмы Nikon Metrology (X-Tek)

/www.nikonmetrology.com/ помимо микрофокусной трубки на 225 кВ (3 мкм) использует в своих микротомографах оригинальные разборные трубки с коротким фокусным расстоянием и напряжением 320 кВ (20 мкм) и 450 кВ (80 мкм). Пока эта трубка (рис. 5) на 450 кВ - лучшее мировое достижение в проникающей способности промышленной микротомографии, хотя и с умеренным предельным пространственным разрешением на уровне 100 пер/см.

На рис. 6 представлен внешний вид двух моделей микротомографов известных производителей: микротомографической координатно-измерительной машины METROTOM 1500 фирмы Carl Zeiss /www.metrology.zeiss.com/ с разборной трубкой на 225 кВ и нанотомографа phoenix nanotom s&m фирмы GE Sensing & Inspection Technologies (Phoenix|x-ray) /www.ge-mcs.com, www.phoenix-xray.com/ с нанофокусной трубкой на 180 кВ.



Рис. 6. Внешний вид микротомографической координатно-измерительной машины METROTOM 1500 фирмы Carl Zeiss (слева) и нанотомографа PHOENIX NANOTOM S&M фирмы GE Sensing & Inspection Technologies (Phoenix|x-ray)

Среди изготовителей микро- и нанотомографов, помимо трех указанных выше, следует отметить: европейские фирмы Yxlon International (Comet Group) /www.yxlon.com/, RayScan Technologies /www.rayscan.eu/, MatriX Technologies /www.m-xt.com/, Bruker microCT (SkyScan) /www.skyscan.be/, RX Solutions /www.rxsolutions.fr/, Viscom /www.viscom.de/, Procon X-ray /www.procon-xray.de/, Shake /www.shake-gmbh.de/, Scanco Medical /www.scanco.ch/; американские фирмы North Star Imaging (XVIEWCT) /www.xviewct.com/, Xradia /www.xradia.com/ и IRIS Systems /www.irisystems.com/, японские Shimadzu /www.shimadzu.com/ and /ndi/, Yamato Scientific /www.yamato-scientific.com/ и Toshiba IT & Control Systems /www.toshiba-itc.com/.

Большинство этих фирм предлагает покупателям по несколько моделей микротомографов, отличающихся максимальными размерами объекта контроля, проникающей способностью излучения, пределом пространственного разрешения, типом используемой рентгеновской трубки (рабочим напряжением и размерами фокус-

ного пятна), типом многоканального блока детекторов (интервалом дискретизации, числом элементов, геометрическими размерами, разрядностью АЦП, конструктивными особенностями: двумерные панели, однорядные или многорядные линейки детекторов), грузоподъемностью и диапазоном перемещений сканирующей системы, габаритами и весом рентгенозащитного бокса, а также быстродействием и особенностями комплекта программного обеспечения.

В большинстве случаев изготовители микротомографов используют оригинальные программы для управления оборудованием и однотипные, часто покупные, пакеты программного обеспечения реконструкции, обработки, визуализации, преобразования томограмм и автоматической расшифровки результатов исследования. Например, программное обеспечение фирм Volume Graphics /www.volumegraphics.com/, Visualization Sciences Group /www.vsg3d.com/, InnovMetric Software /www.innovmetric.com/ и Fraunhofer IIS /www.fraunhofer.de/ для конического пучка и спиральной томографии.

Наличие автономной биологической защиты для микротомографов является стандартом, что позволяет их эксплуатировать в обычных лабораторных помещениях и способствует распространности микротомографов в сфере высшего образования и научных учреждениях. При этом расширение диапазона размеров и плотности объектов контроля неизбежно связано с повышением анодного напряжения рентгеновской трубки и еще более значительным увеличением веса рентгенозащитного бокса.

Несмотря на оптимизм рекламных буклетов, при покупке микротомографа, а тем более нанотомографа необходимо проявлять известную осторожность, доверяя только экспериментально подтвержденным результатам. Например, на пространственное разрешение влияют не номинальные, а суммарные размеры фокусного пятна с учетом вклада афокального излучения и изменений пространственного положения фокусного пятна в процессе эксплуатации под воздействием механических деформаций, вариаций температуры электромагнитной фокусирующей системы и мишени, изменений величины ускоряющего напряжения или вибраций. Кроме того, для пространственного разрешения важны интервал дискретизации каналов детектора, фокусное расстояние и используемое увеличение [6]. Поэтому приводимое в проспектах малое значение номинального фокусного пятна рентгеновской трубки еще не гарантирует адекватно высокого предела пространственного разрешения томографа.

Аналогично и с соревнованием рекламных значений мощности микрофокусных трубок, т.к. оно соответствует максимальному размеру фокусного пятна, а для минимального - все трубки практически равноценны, т.к. имеют предельную тепловую нагрузку на неподвижной мишени на уровне  $\sim 1$  Вт/мкм (кВт/мм), а отличия на 10...50 % от этого уровня несущественны, т.к. нивелируются статистикой квантового шума, пропорционального корню квадратному из числа зарегистрированных квантов.

Использование в промышленных томографах разборных микрофокусных трубок с непрерывной откачкой и сменными электродами создает эксплуатационные неудобства и является наглядным свидетельством несовершенства технологии промышленной электровакуумной техники. Для сравнения отметим, что в массовой медицинской томографии используются только отпаянные рентгеновские трубки. Причем современные конструкции серийных трубок медицинской томографии используют охлаждаемую маслом вращающуюся отпаянную вакуумную камеру с кратковременной тепловой нагрузкой на вращающейся распределенной мишени 100...200 кВт/мм, что на два порядка выше, чем в промышленной томографии.

Применительно к выбору конструкции детекторов необходимо обратить внимание на долговременную стабильность чувствительности каналов и проблему физического ослабления вклада рассеянного излучения, доминирующего в области комптоновского рассеяния при повышенном напряжении. Последняя проблема не решена для двумерных панелей детекторов, вследствие чего качество и метрология микротомографов с коллимированными линейными

решетками детекторов (при одновременном уменьшении облучаемого объема объекта контроля) - существенно выше.

Относительно микротомографов на синхротронном и ондуляторном излучении лазеров на свободных электронах [24]. Подобные работы проводятся в десятке ускорительных центров, имеющих накопители со станциями синхротронного излучения, например в Новосибирском ИЯФ, в Курчатовском институте, в Аргоннской и Брукхэвнской национальных лабораториях, Стэнфордской лаборатории синхротронного излучения (США), в Гренобле и Мельбурне, в японской национальной лаборатории КЭК, в Барселоне и т.д. Из-за удручающе низкой энергии синхротронного излучения (10...40 кэВ) применительно к промышленным объектам контроля они проигрывают микротомографам на тормозном излучении рентгеновских трубок. Значимых объектов исследования, для которых высокая интенсивность и поляризация дорогостоящего синхротронного излучения проявились бы в решающей мере, пока не выявлено.

В метрологическом обеспечении современного производства сложных пространственно развитых изделий важную роль играют высокоточные компьютеризированные координатно-измерительные машины, прошедшие в своем развитии значительный путь от тяжелых порталных до переносных портативных контактных установок и бесконтактных лазерных измерителей наружной геометрии изделий произвольной сложности и масштаба (рис. 7).



Рис. 7. Внешний вид контактной координатно-измерительной машины PRISMO navigator фирмы Carl Zeiss, переносной портативной "измерительной руки" и трехмерного лазерного бесконтактного сканера PXC650Dx фирмы Nikon Metrology

Не останавливаясь на достигнутом, ведущие производители координатно-измерительных машин в последние годы решили перенести разработанные и стандартизованные [23] принципы бесконтактных трехкоординатных измерителей с внешней поверхности промышленных изделий на их внутреннюю структуру путем замены механических щупов и оптического излучения на многоручное рентгеновское просвечивание и реконструкцию трехмерных томограмм измеряемых изделий (рис. 6, 8).



Рис. 8. Внешний вид рентгеновской томографической измерительной машины Werth TomoScope HV 800 фирмы Werth Messtechnik

В числе наиболее продвинутых изготовителей этого подвида промышленного томографического оборудования следует выделить европейские фирмы Werth Messtechnik /www.werth.de/, Carl Zeiss /www.metrology.zeiss.com/, Nikon Metrology NV (X-Tek) /www.nikonmetrology.com/ и North Star Imaging (XVIEWCT) /www.xviewct.com/. От эйфории начального оптимизма измерителей электронных компонент эти фирмы уже дошли до понимания ограниченности проникающей способности низкоэнергетического излучения микрофокусных трубок с напряжением 225 кВ и в настоящее время, помимо измерительных микротомографов, фирмы Werth Messtechnik и Nikon Metrology NV (X-Tek) разработали более информативные модели на напряжение 450 кВ с проникающей способностью до 50 мм стали. И тенденция даль-

нейшего повышения энергии излучения томографических координатно-измерительных машин несомненна.

И наконец о собственно универсальных томографах промышленных изделий для неразрушающего контроля внутренней структуры, отработки технологии и сертификации ответственных деталей и узлов авиакосмического, автомобильного и оборонного машиностроения.

Развитие этого подвида промышленных томографов принципиально затруднено и не адекватно прогрессу цифровой техники и программного обеспечения.

Основное фундаментальное физическое ограничение - конечная проникающая способность тормозного излучения [19-20]. И хотя для снижения материалоемкости в современном машиностроении широко применяются тонкостенные конструкции, легкие сплавы (на базе Ti, Al или Mg) и композиты, наиболее нагруженные и высокотемпературные детали по-прежнему изготавливаются из стали и жаропрочных сплавов с плотностью от 7,6 до 8,6 г/см<sup>3</sup>. Эта проблема отражена в стандартах, обсуждалась нами ранее и представлена в таблицах 1 и 2.

Таблица 2 [19, 20]

Просвечиваемая толщина стали, мм	50	80	120	150	190	200
Энергия ускоренных электронов источника тормозного излучения, МэВ	0,5	0,8	2	5	9	15

Видно, что в силу неотменяемых физических законов промышленный томограф начального уровня должен иметь рентгеновскую трубку с анодным напряжением не ниже 450 кВ, а перспективный универсальный томограф для промышленных изделий должен оснащаться ускорителем на энергию порядка 5...9 МэВ. Эту аксиому постепенно за 20 лет начали понимать ведущие производители и сегодня этот класс универсальных высокоэнергетических промышленных томографов представлен некоторым числом высокоэнергетических моделей от известных производителей: Yxlon International (Comet Group), GE Sensing&Inspection Technologies (Phoenix|x-ray), RayScan Technologies, Nikon Metrology NV (X-Tek), MatriX Technologies, North Star Imaging (XVIEWCT) и российской фирмой Проминтро (Indintro).

На рис. 9 представлен внешний вид универсального высокоэнергетического промышленного томографа российской фирмы "Проминтро" с диаметрами томограмм от 50 до 800 мм, грузоподъемностью более 500 кг и длиной хода по вертикали более 1 м. В томографе используются два источника излучения: неразборная минифокусная рентгеновская трубка на 450 кВ (с двумя фокусными пятнами 0,4 и 1 мм) и ускоритель электронов с энергией 5 МэВ, в сочетании с дополнительными коллиматорами, управляющими размерами эффективных фокусных пятен (0,4/0,2 мм) и минимизирующими уровень афокального излучения. Проникающая способность по стали - не менее 150 мм, предел пространственного разрешения во



Рис. 9. Внешний вид универсального высокоэнергетического томографа BT-800XA российской фирмы "ПРОМИНТРО" и томограмма стального токарного патрона Ø250 мм

всем диапазоне энергий - 50 пер/см и точность измерения размеров внутренних структурных элементов - 0,05 мм. Используется метод локальной томографии [7] с форматом реконструируемых обзорных и локальных томограмм от 1024x1024 до 2048x2048 при адекватном числе разноракурсных проекций.

Если при напряжении 450 кВ с проникающей способностью 50 мм стали, производители предлагают рентгенозащитные боксы разных габаритов массой до 20 т, то для высокоэнергетических промышленных томографов с ускорителем и проникающей способностью более 150 мм стали биологическую защиту обеспечивают бетонные стены бокса толщиной более 1 метра с лабиринтом для защиты входной двери.

Характеристики доступных высокоэнергетических трубок и ускорителей оставляют желать лучшего и из-за ограниченного спроса годами не улучшаются. Например, единственные модели отпаянных минифокусных (0,4 мм) трубок на 450 (600) кВ MXR-451(600)HP/11, выпуск которых осуществляет швейцарская фирма Comet /www.comet.ch/, имеют повышенный уровень афокального излучения, существенно ухудшающий метрологию томографа, но альтернативы нет.

Аналогично с доступными линейными ускорителями, энергия и интенсивность излучения которых нестабильны, значителен уровень фонового излучения, а фокусное пятно обычно имеет размер порядка 2 мм вместо необходимых 0,4...0,2 мм.

Использование ускорителей и повышение пространственного разрешения универсальных высокоэнергетических томографов является важнейшими тенденциями развития этого подвида промышленных томографов с целью увеличения чувствительности к локальным дефектам и повышения точности измерения размеров элементов сложной внутренней структуры. Поэтому современные высокоэнергетические томограммы промышленного объекта контроля в

лучших томографах уже содержат до 2048x2048 расчетных элементов. Сверх этого, благодаря использованию метода локальной томографии [7], общее отношение диаметра объекта контроля и минимально разрешаемого элемента томограммы  $D/\Delta l$  может превосходить  $10^4$ . В этом промышленные томографы опередили медицинскую рентгеновскую томографию, для которой стандартом является формат реконструируемых томограмм 512x512 при визуализации с интерполяцией до 1024x1024.

В связи с непрерывным увеличением объема данных двумерных и трехмерных результатов томографического контроля неизбежен переход от интерактивной расшифровки цифровых томограмм опытным оператором к автоматической диагностике с формированием итогового протокола количественной оценки соответствия томографических результатов контроля и требований конструкторской документации на изделие. Автоматизация полного цикла количественной томографической диагностики наиболее оправдана для специализированных промышленных томографов узкого класса изделий, повышает производительность и понижает зависимость от "человеческого" фактора при интерпретации результатов контроля. К сожалению, при этом роль средств визуализации томограмм, затрат на двумерную и трехмерную графику и даже функции оператора ослабевают. Красота томографии уступает рациональности цифровых оценок.

Для иллюстрации достигнутого уровня информативности и открывающихся перспектив на рис. 10 приведены примеры высокоэнергетических (5 МэВ) томограмм крупных металлических узлов автомобиля, полученных на промышленном томографе российской фирмы "Проминтро".

Мы видим, что промышленная томография жива, разветвилась на ряд взаимосвязанных подвидов, которые продолжают развиваться, хотя и не всегда ожидаемым образом. **А**

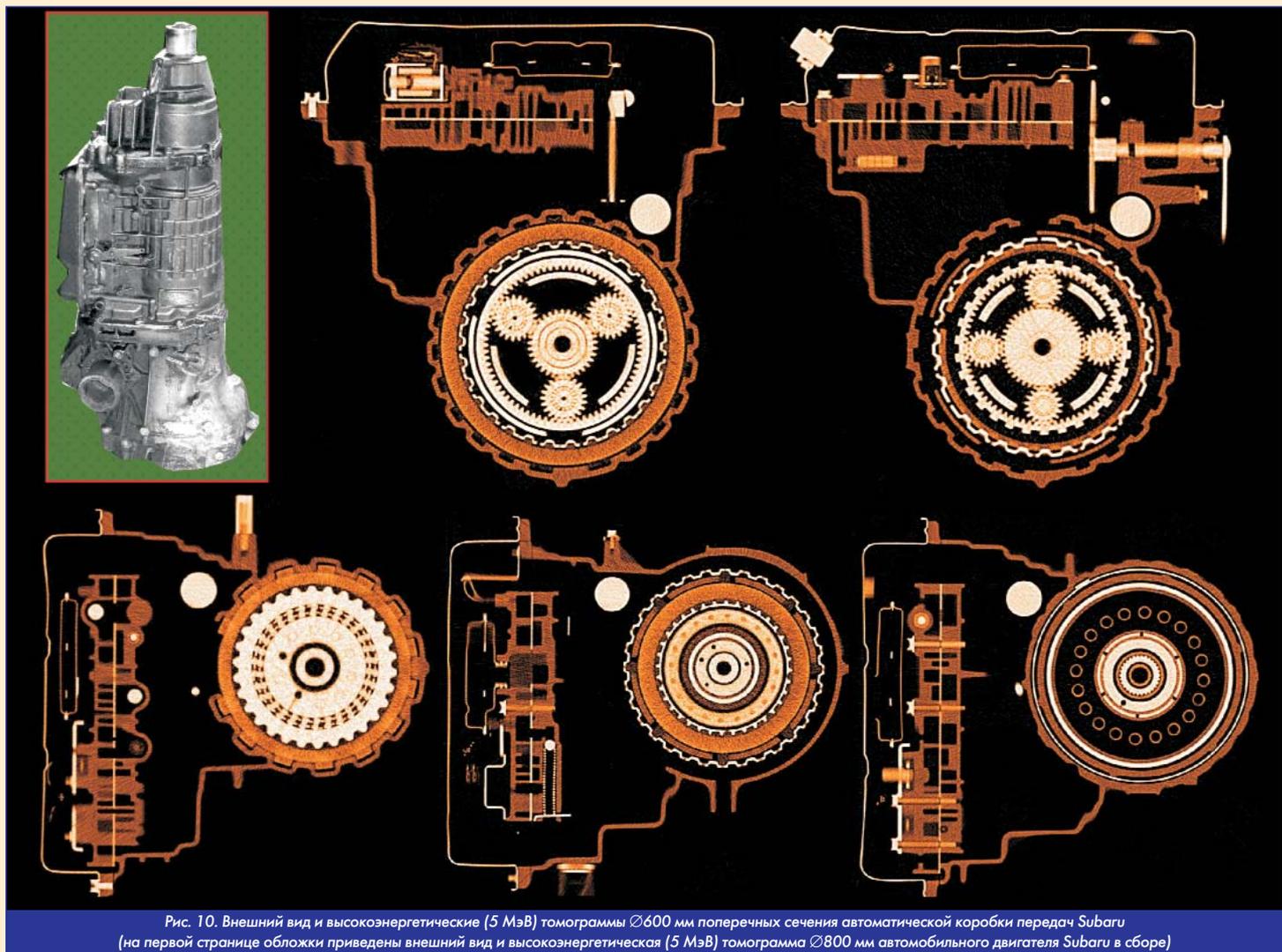


Рис. 10. Внешний вид и высокоэнергетические (5 МэВ) томограммы  $\varnothing 600$  мм поперечных сечения автоматической коробки передач Subaru (на первой странице обложки приведены внешний вид и высокоэнергетическая (5 МэВ) томограмма  $\varnothing 800$  мм автомобильного двигателя Subaru в сборе)

**Литература**

1. Hounsfield G.N. Uk. Pat. № 1283915/ A metodand apparatus for examination of a body by radiationsuch as X-ray or gamma radiation. - 1972 (23.08.1968).
2. Вайнштейн Б.К. Трехмерная электронная микроскопия биологических макромолекул. - УФН, 1973, 109, вып. 3, с.455-498.
3. Васильева Э.Ю., Майоров А.Н. Применение ЭВМ-томографии для контроля твэлов.- Атомная энергия, 1979, 46, №6,с.403-406.
4. Вайнберг Э.И., Гончаров В.И., Казак И.А., Курозаев В.П. Чувствительность рентгеновской вычислительной томографии при контроле изделий с локальными дефектами. - Дефектоскопия, 1980, №10, с.14-20.
5. Reimers P., Goebbels J. New Possibilities of Nondestructive Evaluation by X-ray Computed Tomography. - Materials Evaluation. 1983. v. 42. №6. P.732-737.
6. Вайнберг Э.И., Казак И.А., Курозаев В.П. Точность воспроизведения пространственной структуры контролируемого объекта в рентгеновской вычислительной томографии. - Дефектоскопия, 1980, №10, с.5-14.
7. Вайнберг Э.И., Казак И.А., Курозаев В.П. Реконструкция внутренней пространственной структуры объектов по интегральным проекциям в реальном масштабе времени. - ДАН СССР, 1981, 257 №1, с.89-94.
8. Standard Guide for Computed Tomography (CT) Imaging. E-1441, ASTM, Philadelphia, 2002.
9. Standard Guide for Computed Tomography (CT) System selection. E-1672, ASTM, Philadelphia, 1995.
10. Standard Practice for Computed Tomography (CT) Examination. E-1570, ASTM, Philadelphia, 1995.
11. Standard Practice for Computed Tomography (CT) Examination of Castings. E-1814, ASTM, Philadelphia, 2002.
12. 18th World Conference on Nondestructive Testing, April 16-20 2012, Durban, South Africa, www.wcndt2012.org.za.
13. 4th Conference on Industrial Computed Tomography - iCT2012, 19-21 September, Wels, Austria, http://www.3dct.at.
14. Вайнберг И.А., Вайнберг Э.И., Измерение размеров внутри сложных неразборных изделий с помощью компьютерных томографов. - В мире НК. 2005. № 3. С.38-41.

15. Вайнберг И.А., Вайнберг Э.И., Цыганов С.Г. О месте томографической диагностики в повышении качества турбинных лопаток. - Двигатель. 2011. № 6. С.10-13.
16. Вайнберг Э.И., Цыганов С.Г., Шаров М.М. Опыт трехмерной компьютерной томографии. - В мире НК. 2008. № 1. С. 56-59.
17. Вайнберг И.А., Вайнберг Э.И., Цыганов С.Г. Опыт томографии современных изделий из композитов и керамики. - В мире НК. 2012. № 3. С.44 -48.
18. Вайнберг И.А., Вайнберг Э.И., Цыганов С.Г. Актуальный опыт высокоэнергетической томографии ответственных изделий авиационной промышленности. - В мире НК. 2012. № 1. С.56 -60.
19. EN 444:1994. Non-destructive testing. General principles for radiographic examination of metallic materials by X- and gamma rays. GEN, 1994.
20. ГОСТ 20426 Контроль неразрушающий. Методы дефектоскопии радиационные. Область применения.
21. Вайнберг И.А., Вайнберг Э.И. Критерии выбора универсального компьютерного томографа ...- В мире НК. 2011. № 2. С.20-25.
22. Вайнберг И.А., Вайнберг Э.И., Цыганов С.Г., Сидорин В.Б. Российские высокоэнергетические томографы для разработки технологии и сертификации ответственных изделий авиационной промышленности. - Двигатель. 2012. № 4. С.20-26.
23. Первая Всероссийская научная конференция "Практическая микротомография" (Micro-CT.RU), 5-7 декабря 2012, Казань.
24. И.М. Тернов, Синхротронное излучение. УФН, 1995, т.165, №4, с.429-456
25. ISO 10360-2:2009 Geometrical product specifications (GPS) -- Acceptance and re-verification tests for coordinate measuring machines (CMM) - Part 2: CMMs used for measuring linear dimensions.
26. EN 16016-1:2011 Non-destructive testing - Radiation methods - Computed tomography - Part 1: Terminology.
27. EN 16016-2:2011 Non destructive testing - Radiation methods - Computed tomography - Part 2: Principle, equipment and samples.
28. EN 16016-3:2011 Non destructive testing - Radiation methods - Computed tomography - Part 3: Operation and interpretation.
29. EN 16016-4:2011 Non destructive testing - Radiation methods - Computed tomography - Part 4: Qualification.

**МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА**  
**СТАНКОСТРОЕНИЕ**



**15 - 18 октября 2013**  
**МВЦ Крокус Экспо**

При поддержке:  
 Торгово-промышленной Палаты Российской Федерации  
 Московской торгово-промышленной Палаты



**Оборудование**  
**от ведущих компаний!**

- металлообрабатывающие станки
- инструмент
- автоматические линии
- робототехника
- комплектующие изделия
- литейное производство
- сварочное оборудование
- обработка листового металла
- лазерные технологии
- измерительные приборы
- программное обеспечение
- деревообрабатывающее оборудование

Организатор выставки: ООО «Райт Солюшн»

+7 (495) 988-27-68

www.stankoexpo.com



# ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КЕРАМИЧЕСКИХ АВИАЦИОННЫХ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ В КОНСТРУКЦИЯХ ОПОР РОТОРОВ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

**Василий Юрьевич Критский,**

заместитель главного конструктора "Опытного конструкторского бюро им. А. Люльки", филиала ОАО "УМПО"

**Алексей Игоревич Зубко,**

инженер-конструктор "Опытного конструкторского бюро им. А. Люльки", филиала ОАО "УМПО",

соискатель Московского авиационного института (национального исследовательского университета)

*Рассматриваются вопросы, связанные с оценкой возможности использования керамических подшипников скольжения в опорах газотурбинных двигателей. Приводятся результаты экспериментальных работ.*

*The possibility of using of ceramic glade-bearings in the supports of gas-turbine engines is studied in this article. The results of the experimental works are presented.*

**Ключевые слова:** газотурбинные двигатели, подшипники скольжения, спектральный (орбитальный) анализ вибрации.

**Keywords:** gas-turbine engines, bearings, spectral (orbital) vibration analysis.

Из уравнения существования летательного аппарата следует вывод о том, что для решения перспективных задач завтрашнего дня в части создания самолетов с высокими показателями эффективности требуются увеличение удельной тяги двигателя и снижение удельного расхода топлива (что позволит при прочих равных условиях снизить его запас на борту). Это заставляет разработчиков силовых установок предусматривать все более высокие значения газодинамических параметров рабочего цикла двигателя и, в частности, стремиться к уменьшению аэродинамического сопротивления элементов газоздушного тракта путем сокращения числа рабочих ступеней лопаточных машин, более совершенного профилирования их элементов, повышения рабочих частот вращения роторов и т.д.

Однако при более высоких оборотах роторов резко увеличиваются нагрузки на все детали двигателя, особенно на элементы роторных систем. Это вызвано, прежде всего, зависимостью сил, возникающих из-за дисбалансов, от квадрата частоты вращения, ростом давлений и скоростей в критических сечениях двигателя и, в связи с этим, ростом сил реакции, которые полностью или частично передаются на корпус двигателя через опоры. Нагрузки носят переменный характер по величине, интенсивности и частоте воздействия приложенных сил. И, как следствие, - подшипники опор роторов оказываются в очень сложных рабочих условиях, что значительно сокращает их ресурс.

Уже сегодня у серийно выпускаемых двигателей долговечность подшипников приближается к верхнему теоретическому пределу. Это заставляет разработчиков изыскивать новые варианты конструкции подшипниковых опор роторов для применения в перспективных двигателях. Из сложившейся ситуации можно выйти несколькими способами, к примеру, путем увеличения качества изготовления подшипников качения или применением подшипников других типов.

Работы по совершенствованию подшипников качения ведутся по различным направлениям уже не один год, но реальных результатов, обеспечивающих значительное увеличение их работоспособности, пока не отмечено. Виной этому многие проблемы, начиная от качества изготовления материалов для изготовления деталей и заканчивая технологическими возможностями производства, не позволяющими достичь требуемых результатов. Поэтому в ОКБ им. А. Люльки была предпринята попытка оценить возможность применения керамических подшипников скольжения нового поколения в конструкции опор газотурбинных двигателей (ГТД).

Подшипник скольжения, появившийся намного раньше подшипника качения, уступил место последнему во многих технических устройствах. Это произошло вследствие выявившегося основного преимущества подшипников качения - низкого коэффициента трения, поэтому такие подшипники характеризуются меньшими потерями механической энергии и более высоким к.п.д. Но наряду

с этими достоинствами подшипникам качения присущи и существенные недостатки, к которым можно отнести высокую чувствительность к чистоте и качеству смазки, большее количество деталей в их конструкции, и соответственно, меньшую надежность, меньшую устойчивость к внешней вибрации и т.д.

В настоящее время появились новые керамические материалы, которые могут быть использованы для изготовления подшипников скольжения. В таких подшипниках удается резко уменьшить коэффициент трения в рабочей паре и получить величину потерь близкую к подшипникам качения. Таким образом, применение подшипников скольжения позволяет получить более высокие результаты при оценке параметров газотурбинного двигателя в целом.

В состав металлокерамических материалов входят металлический порошок с добавлением присадок в виде карбидов, нитридов, металлов и неметаллов в различных соотношениях. Получаемые спеканиями при температурах около 1000...2000 °С и удельных давлениях от вакуума до 7000 кг/см<sup>2</sup> и более, они не содержат в своем составе дорогостоящего вольфрама. Керамические материалы могут иметь высокую, на уровне микроструктуры, пористость (от 15 до 35 %). С увеличением пористости механические свойства получаемых материалов и, соответственно, изготовленных из них деталей ухудшаются. Поэтому для обеспечения требуемых качеств керамических материалов необходимо проводить поиск компромиссов в части выбора размеров частиц структуры, элементов входящих в состав присадок и их пропорций.

Необходимо отметить, что под одним названием керамических материалов могут выпускаться десятки их разновидностей, имеющих различные составы и свойства. Для сравнения в таблице 1 приведены обобщенные данные по конструкционным материалам подшипников.

До появления композиционных керамических материалов нового поколения на основе карбида кремния, карбонитрида титана т.д., которые обладают низким коэффициентом трения, использование подшипников скольжения в конструкции опор роторов ГТД было невозможно из-за напряженных условий их работы в такой конструкции. Например, расчетные значения удельной нагрузки для подшипника скольжения межроторной опоры турбины высокого давления ГТД должны составлять до 17 кгс/см<sup>2</sup> при окружной скорости в зоне контакта поверхностей скольжения до 40 м/с. Для ранее применявшихся конструкционных материалов подшипников скольжения, где использовались пары трения чугун - бронза, при удельной нагрузке в 20 кгс/см<sup>2</sup> предельная скорость не превышала 1 м/с. Это значительно меньше необходимых значений параметров.

Результаты сравнения значений показателей, характеризующих свойства материалов, которые традиционно используются в конструкции подшипников скольжения (чугун, бронза, баббиты, капрон и т.д.) и керамики нового поколения позволяют утверждать, что последние обладают более высокой твердостью и коэф-

Свойства материалов для изготовления подшипников

Материал	Модуль упругости, МПа	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Коэффициент Пуассона	Коэффициент линейного расширения	Твердость (HRC)	Предельная рабочая температура, °С
Сталь 9Х18Ш	30	7,8	0,28	5,7 10 <sup>6</sup>	61	300
Карбид кремния	330	3,1	0,2	4,4 10 <sup>6</sup>	90	1400
Оксид алюминия	370	3,9	0,22	9 10 <sup>6</sup>	92	1950
Нитрид кремния	320	3,2	0,26	3,2 10 <sup>6</sup>	80	1400
Оксид циркония	200	6,1	0,3	11 10 <sup>6</sup>	76	1200
Сталь ВКС5	210	7,8	0,3	12 10 <sup>6</sup>	61	280
Композиты на основе карбонитрида титана	490	5,5...8,5	-	11...12 10 <sup>6</sup>	92	1050
Композиты на основе карбида кремния	до 400	Около 3,0	-	3,6 10 <sup>6</sup>	94	1250



Рис. 1. Структура материала многослойной панели

фициентом теплопередачи, меньшим удельным весом, коэффициентом термического расширения, близким к стали, и, что самое важное, - значительно более низким коэффициентом трения.

Варьируя составом компонентов и свойствами изготавливаемых керамических материалов, можно добиться получения не только работоспособных в условиях ГТД керамических подшипников скольжения, но и получить лучшие рабочие характеристики по сравнению с аналогичными характеристиками металлических и гибридных подшипников качения:

- расширенный рабочий температурный диапазон (ограничивается характеристиками смазывающих материалов);
- высокую виброустойчивость;
- химическую стойкость к различным агрессивным средам;
- бесшумность в работе;
- сохранение работоспособности при работе с недостаточным количеством смазки или с полным ее отсутствием;
- постепенное развитие отказа подшипника, что позволяет легко его диагностировать на начальных стадиях развития.

Опоры скольжения изнашиваются сильнее всего при работе без смазки (при начале вращения опоры на этапе запуска двигателя) или в условиях ее недостаточного количества, т.е. в условиях граничного трения, когда выступы шероховатостей одной из деталей касаются выступов шероховатостей другой детали. Поэтому значение коэффициента трения является главным критерием для оценки эффективности работы подшипника, так как от него напрямую зависит величина потерь в узле. Для обеспечения длительной работоспособности подшипника необходимо иметь как можно меньший коэффициент трения скольжения пары, а тепло, выделяющееся в зоне трения, должно легко отводиться в детали конструкции опоры и через них в окружающую среду. Высокая теплопроводность деталей из керамики позволяет реализовать все представленные выше требования.

Керамические конструкционные материалы позволяют изготавливать деталь из нескольких слоев с разными свойствами, что дает возможность интегрировать подшипник в узлы и сборочные единицы отдельных модулей газотурбинных двигателей. Для примера на рис. 1 приведен фрагмент образца многослойной конструкционной панели, разработанной фирмой "Диалпром" (Москва). Каждый из слоев имеет собственные, заданные разработчиком конструкции, уникальные свойства. Такое решение, благодаря соответствующему подбору характеристик материалов в зависимости от величины напряжений в каждом сечении, позволяет значительно уменьшить массу деталей при улучшении их прочностных свойств.

В то же время подшипники скольжения имеют и недостатки, которые необходимо учитывать при комплексной оценке всех факторов на этапе принятия решения об их использовании и, в частности:

- повышенные требования к соосности деталей подшипника;
- недостаточно исследованные склонности к автоколебаниям на некоторых режимах работы двигателя и подшипника.

Для оценки возможности реализации в конструкции опор роторов ГТД подшипников скольжения из керамических материалов нового поколения специалистами нашего предприятия были разработаны и испытаны варианты гладких гидродинамических керами-

ческих подшипников скольжения. Их геометрические характеристики были выбраны таким образом, чтобы обеспечивалась возможность их применение взамен роликового подшипника качения, применяемого в одном из серийных двигателей.

Исследования проводились на испытательном стенде подшипников ФГУП "ЦИАМ им. П.И. Баранова", где для получения и анализа параметров работы подшипника были дополнительно установлены датчики температур на наружной поверхности внутренней втулки подшипника скольжения и масла на входе и выходе в экспериментальный узел. В процессе проведения испытаний проводился мониторинг вибросостояния подшипника. Для этой цели использовался анализатор спектра и комплект программного обеспечения "Sirius" фирмы DeweSoft с датчиками вибрации типа 4513 фирмы В&К. Средствами вибродиагностики определялись режимы, на которых появлялось граничное трение. Также проводился "орбитальный анализ" движения центров валов, что позволило визуализировать характер движения ротора, его колебания, прецессии и т.д. Общий вид собранного экспериментального подшипникового узла стенда показан на рис. 2.

В качестве одного из критериев для сравнения подшипников был выбран расчетный коэффициент потерь в рабочей паре. Как известно, эффективность любого механического устройства можно оценить величиной потерь. В нашем случае под потерями понимается величина механической энергии, перешедшей в тепловую. Измеряя температуру колец и разность температур теплоносителя (масла) на выходе и входе в подшипниковый узел, его количество (определяется по измеряемому расходу в единицу времени) и полученный из справочных таблиц коэффициент его теплоемкости, можно вычислить количество выделившегося и переданного маслу тепла.

Необходимо отметить, что коэффициент потерь, вычисленный таким образом, имеет погрешности из-за отсутствия учета количества тепла, переданного более холодным деталям стенда, а также количества тепла, выделившегося при трении стеновых деталей и отданного в масло. Но так как испытания всех подшипников проходили на одном и том же стенде, величину погрешностей можно принять постоянной и для упрощения расчетов не учитывать.



Рис. 2. Общий вид экспериментального подшипникового узла перед установкой на стенд

В ходе экспериментов были получены следующие зависимости, характеризующие работоспособность керамического подшипника скольжения:

- зависимость температуры деталей подшипника от величины радиальной нагрузки;
- зависимость разности температур деталей подшипника и температуры масла на его входе при различных частотах вращения;
- зависимость разности температур масла на выходе и входе подшипника от собственной частоты вращения подшипника.

**Результаты экспериментов**

Наилучшие показатели работоспособности подшипника скольжения достигнуты при использовании в паре трения керамики нового поколения (композит на основе карбида кремния с композитом на основе карбонитрида титана).

В ходе исследований оценивалась работоспособность подшипника скольжения при пониженных расходах масла. По сравнению с реализованным на сегодняшний день расходом масла в подшипниках качения опор турбины изделий "96ФП" и "99" он уменьшился в 60 раз.

Значения температуры, измеренной на поверхности внутренней детали керамического подшипника нового поколения, в зависимости от осевой нагрузки представлены на рис. 3. Заметим, что полученные зависимости необходимо анализировать с учетом особенностей конструкции стенда и системы сбора данных, вносящих собственные погрешности.

После начала испытаний с расходом масла 1 л/мин. произошла приработка рабочих поверхностей подшипника, поэтому количество выделяемого тепла было больше, а полученные температуры - выше (синяя линия), чем при расходе в 0,3 л/мин. (светло-зеленая линия).

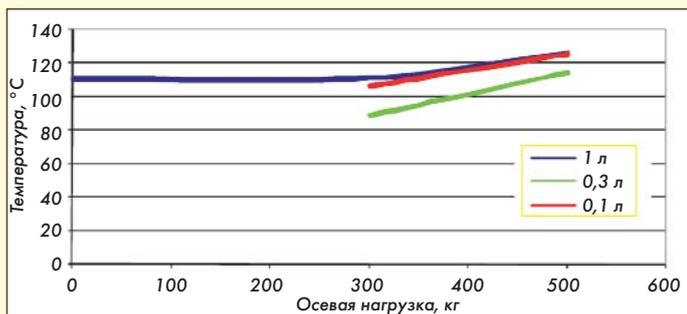


Рис. 3. Изменение температуры подшипника в зависимости от приложенных осевых нагрузок при постоянной частоте вращения 5900 мин<sup>-1</sup>

Для имитации рабочих условий в опоре двигателя температура масла на входе в испытуемый подшипник (путем подогрева или охлаждения в системах стенда) поддерживалась на уровне 80...100 °С. Количество выделяемого тепла из-за гидрпотерь при трении слоев в масляном клине и трении между деталями подшипника можно оценить путем измерения разности температур деталей подшипника и масла на его входе (рис. 4).

Отсутствие на графике участков с высоким положительным градиентом и значениями температур свидетельствует о работоспособности экспериментального подшипника на режимах с расходами масла до 0,1 л/мин.

Температуры, измеренные на наружной поверхности деталей подшипника, имели максимальное значение, на 34 °С превышающее температуру масла на входе в подшипниковый узел. Допустимая расчетная разность данных температур была принята равной 80 °С. В результате испытаний зафиксирован более чем двукратный запас по данному критерию.

При проведении испытаний с расходом масла 0,1 л/мин., радиальной нагрузке 500 кгс и скорости скольжения около 40 м/с коэффициент потерь в металлокерамическом подшипнике скольжения, определенный расчетным путем, составил 0,018. Для роликового подшипника качения при таких же нагрузках и рабочих скоростях деталей, но при расходе масла 1 л/мин., расчетный ко-

эффициент потерь составил 0,02. Полученное более низкое значение расчетного коэффициента потерь у металлокерамического подшипника скольжения по сравнению с металлическими роликовыми подшипниками качения свидетельствует о его большей эффективности благодаря снижению энергетических потерь на трение и увеличению к.п.д.

Отмеченная в литературных источниках склонность гладких подшипников скольжения к возникновению автоколебаний "на масляном клине" при проведении серии экспериментов не проявилась. Возможно, условия их возникновения не были полностью смоделированы на испытательном стенде. Не исключено также, что высокоскоростной подшипник скольжения в ходе экспериментов работал на других режимах, за зоной возникновения автоколебаний.

При прохождении критических режимов ротора отмечался кратковременный всплеск уровня вибрации, не приводящий к развитию колебательных процессов, что свидетельствует о превалировании сил демпфирования над воздействием возмущающих сил. Но в областях, близких к критическим режимам, из-за изменения характера распределения нагрузок и режимов взаимодействия контактирующих поверхностей наблюдалось некоторое повышение тепловыделения, что вызвало смещение некоторых точек относительно расчетных (рис. 4).

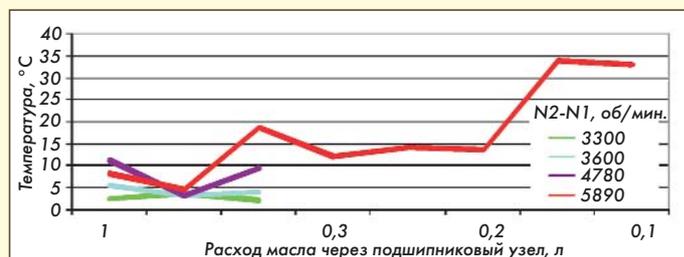


Рис. 4. Зависимость разности температур на поверхности подшипникового кольца и масла на входе в подшипниковый узел от величины расхода масла

В зонах, удаленных от критических режимов, отмечалась низкая виброактивность роторов. "Орбита" движения центра вала ротора на одном из таких режимов представлена на рис. 5. Перемещение центра вала ротора носит равномерный характер по окружности, близкой к эллиптической, с наклоном орбиты в вертикальной плоскости. Такая траектория движения свидетельствует об отсутствии колебательного процесса в системе и отсутствии проявлений нелинейных характеристик изменения жесткости опор исследуемых роторов.

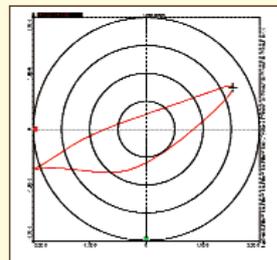


Рис. 5. Траектория движения ("орбита") центра вала подшипникового узла

**Вывод**

Конструкция гидродинамического гладкого подшипника скольжения из керамических материалов нового поколения подтвердила работоспособность в условиях работы в составе опоры ротора турбины ГТД при уменьшенных расходах масла до 0,1 л/мин. и радиальных нагрузках до 500 кгс.

Созданная конструкция не только не уступает, но и по некоторым параметрам превосходит характеристики аналогичных металлических роликовых подшипников качения, исследовавшихся ранее в таких же условиях на этом стенде.

Исследованные металлокерамические подшипники скольжения подтвердили работоспособность в условиях, характерных для работы межроторных подшипников ГТД.

**Литература**

1. Чернавский С.А. Подшипники скольжения. М.: Машгиз, 1963, 245 с.

Связь с автором: iz59@yandex.ru



**ЕДИНСТВО  
ВО МНОЖЕСТВЕ**



**VK-2500**

Российский двигатель  
для вертолетов среднего класса

ОАО «Управляющая компания  
«Объединенная двигателестроительная корпорация»  
Россия, 121357, г. Москва, ул. Верейская, д. 29, стр. 141  
e-mail: info@uk-odk.ru web: www.uk-odk.ru



# ГОМЕОСТАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ КАК СПОСОБ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕХНОГЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ СОЗДАНИИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЪЕКТОВ НОВОЙ ТЕХНИКИ

**Анатолий Алексеевич Сперанский,**  
вице-президент Российской инженерной академии (РИА),  
директор Института наукоемких инженерных технологий РИА,  
ведущий эксперт Федерального экспертного совета ГД РФ

*Возможности искусственного интеллекта в области креативного синтеза системно взаимодействующих процессов структурирования вещества, трансформации энергий, мобильности и коммуникативности объединяющей их информации создает новое качество кибертехнологий для эффективного управления роботизированными системами в техносфере и биосфере. Особенно важно это для России, "страны, которой, с одной стороны, есть, что терять в глобальной борьбе за ресурсы, а с другой стороны – пока не удалось занять надежных позиций на глобальном технологическом пространстве.*

*Из обзора РИА для Экспертного совета ВПК*

## Введение

Эксплуатационные свойства изделий в качестве объектов новой техники (ОНТ) формируются общественными потребностями и новыми знаниями научно-технического инженерного сообщества, создающего инновационные возможности опережающих технологических решений. Проектирование, исследование и эксплуатация современных технических систем невозможны без интеллектуальных средств наблюдения и анализа процессов и явлений природного синтеза, позволяющих оперативно оценивать текущие состояния и их соответствие заданным тактико-техническим характеристикам (ТТХ).

В современных инженерных разработках уровень интеграции наукоемких знаний и сложных технологических решений настолько высок, что не позволяет обществу быть уверенным в полном контроле над безопасностью их реализации. С другой стороны, потребительская доктрина общества привела к катастрофически низкому уровню научного сопровождения эксплуатации объектов значительной экотехнологической опасности. Оба обстоятельства стали проявлением человеческого фактора, ставшего причиной критического противостояния со средой обитания, главной причиной массовых аварий и техногенных катастроф. Участники Римского клуба еще в 1964 г. предостерегали страны и народы земной цивилизации о грозящей опасности дефицита природных ресурсов и грядущем веке природно-технических катаклизмов.

В создавшейся ситуации общество вынуждено было обратить самое серьезное внимание на проблему ресурсосбережения, в первую очередь, в сфере потребления естественно ограниченных в природе энергетических и материальных ресурсов. Практическое же решение проблемы техногенной безопасности, в отличие от ресурсосбережения, не дает быстрого и ощутимого экономического эффекта. Потенциальный выигрыш возможен в экономии значительных государственных средств на превентивном устранении причин и предотвращении возможных последствий чрезвычайных ситуаций.

Для снижения опасности антропогенной деятельности представляется целесообразным и эффективным обеспечение всех ОНТ интеллектуальными инструментальными средствами мониторинга текущих состояний и их соответствия заданным ТТХ, прежде всего, в части безопасного функционирования в штатных и предельных критических эксплуатационных режимах.

Анализ показывает, что современный технологический уровень организации безопасной жизнедеятельности ориентирован на системные знания, мобильность и коммуникативность. Под системными знаниями, прежде всего, понимается достоверность многомерной пространственно-временной информации о внутривидовом состоянии конструкционных материалов и изделий из них на протяжении всего жизненного цикла создания и эксплуатации объектов новой техники.

Жизненный цикл изделий и систем состоит из специфических, основанных на глубоких фундаментальных и прикладных знаниях,

этапов, каждый из которых требует понимания физики причинно-следственных механизмов и их формального представления. Эти представления, в зависимости от поставленной для решения задачи, могут быть описаны текстово-параметрическими таблицами (например, ТТХ), физическими и иными функциональными закономерностями, методическими и программными регламентами, определяющими порядок взаимодействия человека с создаваемыми, как правило сложными, интеллектуальными системами. *Каждому этапу жизненного цикла можно поставить в соответствие модель достижения и подтверждения его характерных целевых функций.*

## Модель в качестве инструмента представления оригинала

Термин "модель" широко используется в различных сферах антропогенной деятельности и имеет множество смысловых значений. Общепринятое в технике понятие МОДЕЛЬ (франц. modèle от лат. modulus - мера, мерило, образец, норма) в широком понимании подразумевает целевое или частное представление образа или формы оригинала (идеи, изделия, объекта, системы, процесса или явления), отличное от целого (изображения, описания, структуры, схем, чертежей, графиков, планов, либо прообраза изделия и т. п.). Относится ко всем структурным уровням (материал, деталь, узел, агрегат, система, изделие, тип, вид) и этапам жизненного цикла оригинала.

Совокупность моделей жизненного цикла образует системный ряд, объединяющий модели по уровню, виду, содержанию, форме реализации и представления:

1 - уровень модели - функциональная абстрактная: перечень численных значений и качественных возможностей ТТХ опережающих разработок нового технологического уклада в табличной или описательной форме;

2 и 3 - уровни моделей - принципиальная концептуальная: фундаментальные и прикладные перспективные научные исследования, статистический анализ и синтез эксплуатационно-технологических показателей существующих аналогов и прототипов, принципы построения аналитических моделей, оптимизация параметров моделей, методы и принципы решения поставленной задачи;

4 - уровень модели - структурная топологическая: внутренняя и внешние взаимодействия (схемная, табличная или графическая форма в виде многопараметрических массивов расчетной и проектной документации), функциональное (принципиальное) описание связей и свойства реальной системы, последовательность и состав стадий и этапов работы, совокупность процедур и привлекаемых технических средств, взаимодействие участников процесса;

5 - уровень модели - функциональная физическая: целевой функциональный физический прототип для аналитического обзора перспективных возможностей разрабатываемого изделия, графической интерпретацией являются чертежи устройства или его частей с указанием численных значений характеристических параметров технологической реализации и эксплуатации;

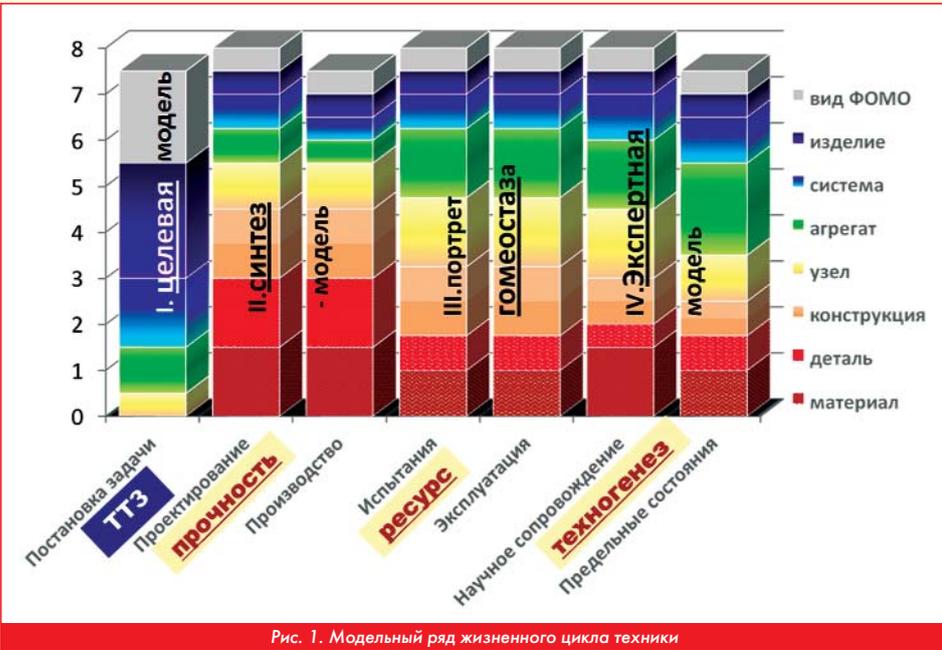


Рис. 1. Модельный ряд жизненного цикла техники

**Моделирование как метод экспертизы состояний**

При создании объектов новой техники процессы моделирования этапов жизненного цикла являются инструментальным средством переноса информации от реальной системы к модели и наоборот. Под "моделью" принято понимать материальный или виртуальный объект, который в процессе исследования замещает оригинал таким образом, что его непосредственное изучение дает новые знания об оригинале.

К моделям предъявляются два взаимно противоположных общих требования: адекватности (соответствия) и простоты (достижимости). По назначению модельные методы принято разделять на познавательные, прагматические и инструментальные:

а) познавательная модель - форма организации и представления знаний, средство соединения новых и старых знаний, является теоретической моделью, как правило, подгоняется под реальность;

б) прагматическая модель - средство организации практических действий, рабочего представления целей системы для ее управления, является, как правило, прикладной моделью, под которую подгоняется реальность;

в) инструментальная модель - средство построения, исследования и/или использования прагматических создаваемых и/или познавательных существующих моделей.

Моделирование как процесс построения, изучения и применения моделей и универсальный метод получения, описания и использования знаний в процессе исследований, служит средством для получения информации о тактико-технических свойствах, характеристиках и протекающих в создаваемых ОНТ гомеостатических процессах. Рациональная функция моделирования состоит в изучении создаваемого объекта путем построения и исследования его модели, осуществляемое с определенной целью и состоящее в замене эксперимента с оригиналом изделия, процесса или системы экспериментом на адекватной модели.

Организация процессов моделирования на всех этапах жизненного цикла создаваемых ОНТ формирует наукоемкий инновационный *технологический ресурс - системный мониторинг состояний (СМС)*. В этом случае, технологически сопряженные модели, образующие модельный ряд или кластер, реализуют комплексную опережающую технологию гарантированного подтверждения ТТХ на протяжении всего жизненного цикла.

Как считают специалисты Фонда перспективных исследований (ФПИ), "концентрация имеющихся ресурсов в виде прорывных наукоемких знаний и синтетических решений на развитии технологий нового уклада, которые пока не имеют широкой промышленной

6 - уровень модели - параметрическая функциональная: комплекс имитационно-алгоритмических и аппаратно-программных средств для проведения лабораторно-заводских испытаний и отработки экспериментальных, опытных и предсерийных образцов новой техники, предназначена для испытания или изучения, проигрывания возможных сценариев развития и поведения объекта путем варьирования некоторых или всех параметров модели;

7 - уровень модели - функциональная физическая натурная: системная характеристика условий и требований к технологической и метрологической базе для гарантированного достижения проектных параметров ТТХ изделия в регламентированной форме, предназначена для достижения свойств и характеристик системы, обеспечивающих её эффективное функционирование;

8 и 9 - уровень модели - эталонная физическая имитационная: комплекс мобильных измерительно-аналитических аппаратно-программных инструментальных средств оценки функционирования образцов новой техники при наземных стендовых, исследовательских бортовых и сертификационных заводских (летных) испытаниях; синтезированная многопараметрическая визуализация отображения состояний;

10 - уровень модели - детерминированная функциональная: проблемно-ориентированная система диагностического мониторинга и анализа гомеостатического состояния штатно наблюдаемых элементов, узлов и агрегатов объекта, каждому набору входных параметров воздействий соответствует вполне определенный и однозначно определяемый набор выходных параметров состояний;

11 - уровень модели - стохастическая функциональная прогностическая: кибернетическая (роботизированная) интеллектуальная система прогностической диагностики текущего ресурсного состояния гомеостаза объекта с оценкой рисков опасных состояний; как правило, описана некоторым комплексом алгоритмов, определяющим ее функционирование и развитие;

12 - уровень модели - функциональная оптимизационная: экспертная стохастическая система оценки рисков принятия решений с экстримизацией целевой функции.

Любая модель включает формализованное описание функциональных свойств и технических характеристик, содержания и порядка последовательности действий, направленных на подтверждение достижения целей отдельных этапов и жизненного цикла в целом. Модель строится и исследуется при определенных допущениях или гипотезах и является результатом многопараметрического отображения одной структуры на другую. Например, отображение функционального физического уровня на имитационный математический является физико-математической моделью или математической моделью физической системы.



Рис. 2. Модельный метод оценки состояний

реализации, но обеспечат лидерство послезавтра - в момент, когда новый технологический уклад, контуры которого сегодня лишь нащупываются, станет реальностью". СМС, являясь универсальной междисциплинарной, межвидовой и межотраслевой технологией нового уклада реализует фундаментальный подход ФПИ.

**Модельный ряд жизненного цикла опережающих технологий**

Творческое многообразие модельного ряда предполагает возможность во взаимодействии с внешними технологическими центрами, в том числе зарубежными, осуществлять трансферт технологий путем их *усовершенствований на основе собственных опережающих инжиниринговых решений*. По мнению ФПИ, "если такое решение разработано и осуществлено во взаимодействии представителей фундаментальной науки, инжиниринговых групп и вузовских центров, то можно считать, что трансферт технологии произведен, и она входит в российскую технологическую базу. Одним из подходов к полноценному трансферту технологий является вхождение в капитал малых и средних инновационных фирм за рубежом".

К основным свойствам модельных рядов относятся упрощенность отображения, адекватность оригиналу, точность результатов, наглядность свойств, обзорность отношений, технологичность исследований, доступность воспроизведения, высокая информативность, сохранность информации, полнота связей, системная устойчивость, замкнутость решений (отношений), универсальность применимости, конечность ресурсов моделирования.

Сопряженные модельные ряды в качестве опережающего организационно-методического решения позволяют преодолеть "технологический барьер" в области экотехнологической безопасности. *Эффективное управление ресурсным потенциалом* функционально ориентированных механических объектов (ФОМО) машиностроения, энергетики и транспорта существенно повысит конкурентоспособность оборонно-промышленного комплекса (ОПК), создаст стратегическое преимущество *лидерства в новых технологических укладах*.

Интерпретация образов модельного ряда представлена в семи колонках:

- в первом ряду перечислены целевые организационные (ТТХ, надежность, действия) или физические (прочность, гомеостаз, ресурс, техногенез) функции этапов жизненного цикла;
- во втором ряду раскрыто содержательное наименование моделей этапов жизненного цикла (исходная, физическая, сертификационная, диагностическая, экспертная, модель предельных критических состояний, вероятностная модель оценки рисков, кибернетическая модель принятия real-time решений);

- в третьем ряду слева направо представлены графические отображения содержаний (текстовое, область расчетно-проектных диагностических параметров, спектральный образ эксплуатационных гомеостатических состояний, ресурсный образ напряженно-деформированных состояний, область предельно-критических диагностических параметров, область ресурса конструкционной прочности, область принятия решений);

- в четвертом ряду образам модельного ряда приведены в соответствие принципиальные возможности достижения цели (технологические, инструментальные, интеллектуальные);

- в пятом ряду модельному ряду соответствуют этапы жизненного цикла (обоснование, проектирование, изготовление, испытания, эксплуатация, диагностика, прогнозная оценка и принятие решений в критических ситуациях).

Для успешной реализации научно-технологических устремлений общества необходимо реально развивать *процессы познания физических состояний* при исследованиях, конструировании и производстве, а также *процессы наблюдения эксплуатационных состояний* при испытаниях, сертификации и эксплуатации. Стратегия модельных рядов позволяет глубоко понимать свойства и механизмы процессов природного синтеза, непрерывно анализировать текущие состояния, своевременно предвидеть и предотвращать зарождающиеся патологии, ведущие к авариям и техногенным катастрофам.

**Моделирование как метод подтверждения соответствия**

Системный мониторинг состояний (СМС) как научный инструмент опережающего развития междисциплинарных знаний является универсальной машиностроительной технологией, в том числе, в прорывных приоритетных сферах жизнедеятельности: технологии человека, сетевые технологии, робототехника, транспорт, энергетика. НМС является существенным элементом прорывного технологического развития ресурсных компонентов перспективной техники - новых материалов, элементной базы, деталей, узлов и агрегатов, конструкций, механизмов и систем, формирующих в приложениях перспективные технологические уклады.

Главными наукоемкими компонентами СМС являются системные источники достоверной динамической информации о диагностических параметрах наблюдаемых состояний, компьютерная real-time реконструкция многопараметрических тензорно связанных измерений, компьютерная 4D-реконструкция физических гомеостатических портретов напряженно-деформированных состояний, многомерная кибернетическая ресурсная система реконструкции техногенеза, экспертная система оценки рисков принятия решений. *Центральным признаком успешного развития СМС является высокая скорость смены технологических парадигм за счет восприимчивости к новым знаниям и скорости отработки новых технологических решений*.

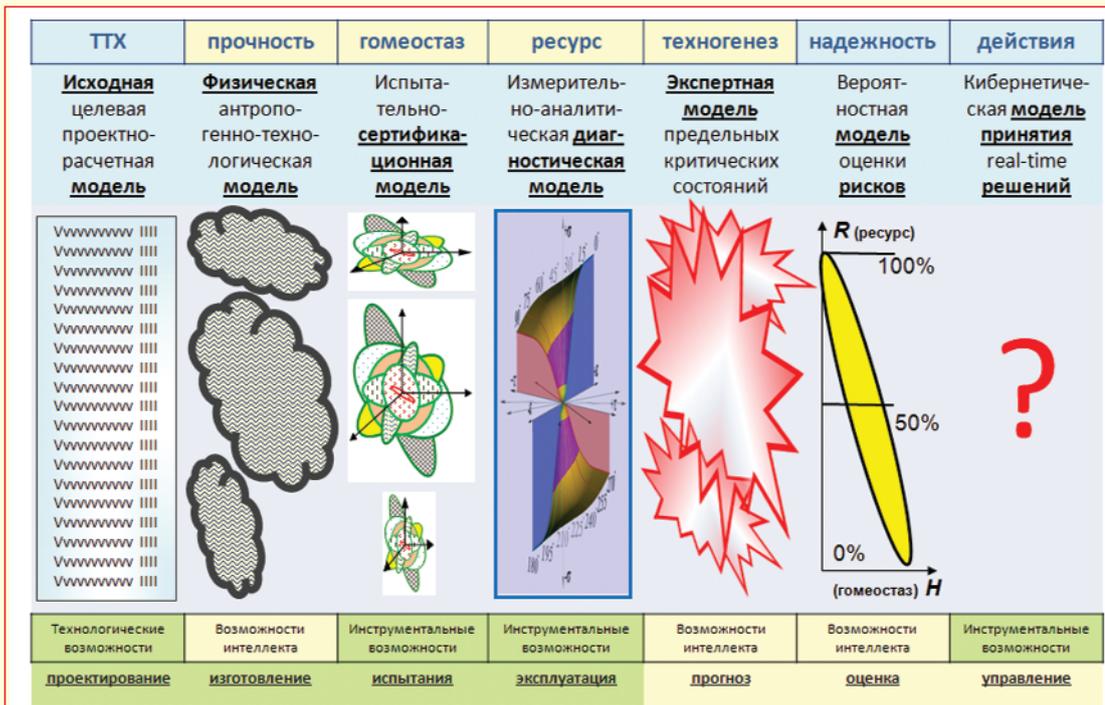


Рис. 3. Интерпретация образов модельного ряда

кибернетическая ресурсная система реконструкции техногенеза, экспертная система оценки рисков принятия решений. *Центральным признаком успешного развития СМС является высокая скорость смены технологических парадигм за счет восприимчивости к новым знаниям и скорости отработки новых технологических решений*.

Стратегическим направлением развития методов моделирования сложных технических систем признаны высокоскоростные компьютерные технологии на основе супернейрокомпьютеров (СНК). Особенно актуальными вычисления становятся при попытках

построить адекватные модели полидинамических процессов и мультифизических распределённых систем. Наиболее распространённым методом является математическое моделирование, вызванное необходимостью поддерживать соответствие его параметров, свойств и характеристик тактико-техническому заданию на объект.

Имитационные математические модели, системно объединённые с аппаратными имитаторами параметров и функций физических воздействий в комплексы моделей и модельные ряды, являются интегрированным инструментальным средством формирования опорных режимов и состояний. Опорный образ путем наблюдения пространственно-временного спектрального множества диагностических параметров позволяет *анализировать соответствие проектным моделям или отклонения от них*. Помимо тактико-технического соответствия штатным режимам функционирования, в процессе моделирования могут решаться задачи испытаний, исследований, экспертизы, диагностики, наладки, ремонта, модернизации, экстренных и критических решений.

Модельный подход позволяет подтверждать соответствие разработки параметрам тактико-технического задания (ТТЗ) на всех этапах жизненного цикла от обоснования и создания до эксплуатации и обеспечения безопасности объектов новой техники. Исходной в смысле обоснования технологической перспективы является *концептуальная* описательная модель, формируемая экспертами научно-инженерного сообщества. Первому этапу жизненного цикла соответствует обосновывающая технологические возможности функциональная *целевая* модель № 1 в виде перечня численных значений и описания качественных возможностей ТТХ, формируемых Заказчиком. Этапу поисковых исследований соответствует *аналитическая* модель № 2, предназначенная для оценки научно-технологических возможностей достижения поставленной цели. Этапу проектных исследований соответствует *оптимизационная* модель № 3 в виде прикладных расчетов для достижения заданных ТТХ. Этапу разработки соответствует *проектная* модель № 4, обосновывающая конструкционно-технологические решения в виде КТД.

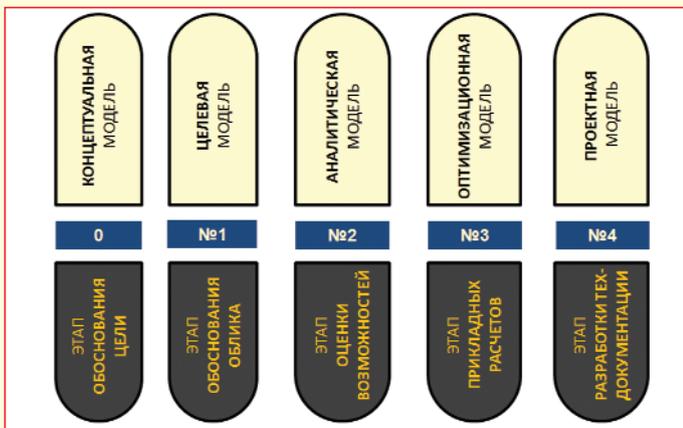


Рис. 4. Разработка - модели подтверждения соответствия

Первым этапом изготовления является *экспериментальная* модель № 5, предназначенная для подтверждения в натуре соответствия ТТХ физической реализации проектного решения. Стендовым (полунатурным) испытаниям экспериментального образца соответствует *стендовая* модель № 6, обеспечивающая лабораторно-заводские испытания (ЛЗИ) для проверки соответствия характеристик заданным параметрам ТТХ. После устранения замечаний, подтвержденных удовлетворительными повторными ЛЗИ, и внесения изменений в КТД наступает второй этап изготовления в виде *опытной* модели № 7, предназначенной для подтверждения в натуре соответствия ТТХ физической реализации проектного решения. Бортвыми испытаниями опытного образца соответствует *метрологическая* модель № 8, обеспечивающая бортовые испытания (БИ) для проверки соответствия характеристик заданным параметрам ТТХ. После устранения замечаний, подтвержденных удовлетворительными повторными БИ, и внесения изменений в КТД наступает третий этап изготовления в виде *серийной* модели № 7а, предназначенной для

подтверждения в натуре соответствия ТТХ физической реализации проектного решения. Промышленным испытаниям серийного образца соответствует *метрологическая* модель № 8а, обеспечивающая натурные испытания (НИ) для проверки соответствия характеристик заданным параметрам ТТХ. После устранения замечаний, подтвержденных удовлетворительными повторными НИ, и внесения изменений в КТД наступает этап сертификации в виде *сертификационной* модели № 9, предназначенной для подтверждения в натуре соответствия ТТХ серийного изделия в объеме установленных законодательством перечня отраслевых регламентов.

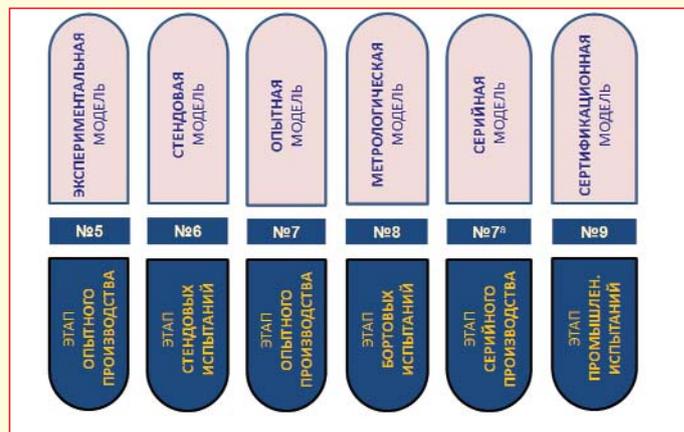


Рис. 5. Производство - модели подтверждения соответствия

Этапу эксплуатации соответствует комплексный ряд взаимосвязанных моделей:

- *эксплуатационная* модель № 10 в виде гомеостатического портрета, обеспечивающего постоянное соответствие требованиям заданных ТТХ путем непрерывного real-time функционально-диагностического мониторинга параметров состояний;
- разновидностью эксплуатационных моделей является открытые ряды *диагностических* и *ремонтных* (наладочных) моделей;
- *ресурсная* модель № 11 в развитие эксплуатационной модели обеспечивает постоянный техногенез в смысле прогноза соответствия требованиям ТТХ путем непрерывной real-time ресурсной экспертизы с оценкой рисков опасных нештатных состояний;
- *экспертная* модель № 12 в развитие эксплуатационной модели обеспечивает мобильную оценку патогенных состояний, не обеспечивающих исполнение требований ТТХ, путем непрерывной real-time оценки рисков и объективной поддержки принятия решений.

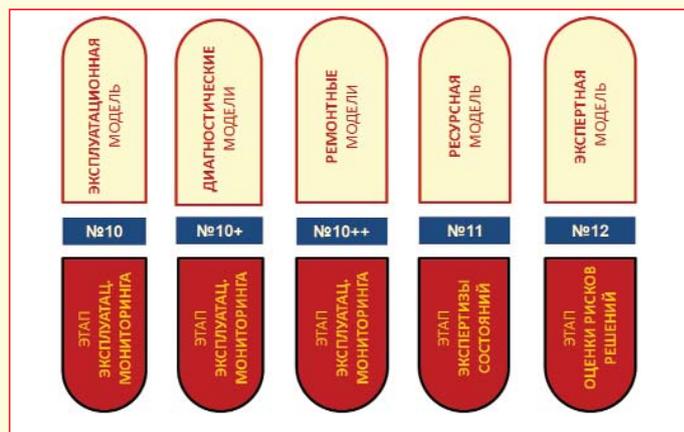


Рис. 6. Эксплуатация - модели подтверждения соответствия

Приведенная систематизация модельного ряда жизненного цикла объектов новой техники не претендует на исчерпывающую полноту, более того, бесконечное число возможных ситуаций жизненного цикла и соответствующие им модели на основе развивающихся знаний и потребностей общества не могут быть ограничены по сути. Минимально необходимый функциональный ряд моделей состояний представлен ниже.

Сложность моделируемых процессов объектов и систем ОНТ

позволяет построить современными методами только весьма приближённые модели, но цена отклонений в поведении реального объекта от реконструированного в модели может быть весьма высока, особенно в многопараметрических ресурсно-прочностных задачах и многомерных экспертных системах обеспечения техногенной безопасности.

Поэтому оправданным является использование наиболее мощных вычислительных систем для построения возможно более адекватных моделей, их исследования и оптимизации. Они должны быть устойчивы к сбоям в исходных данных, быстро функционировать после построения, допускать возможность реализации в виде специализированных микросхем, сохранять возможность "дообучения" по мере получения новой информации на всех этапах функционирования моделируемого объекта. В настоящий момент подобными качествами могут обладать только нейронные сети.

### **Вычислительная поддержка моделирования**

Работа вычислительного комплекса (ВК) с моделями организуется на двух уровнях:

1. Сам объект (предмет новой техники, промышленное сооружение и т.д.) содержит аппаратную, в виде нейрочипа, или программно-аппаратную модель, позволяющую оперативно обрабатывать текущую информацию, выдавать прогнозы и осуществлять управление при определенных возможностях текущей оптимизации ВК на базе СНК.

2. Информация о функционировании объекта или его моделей передаётся в СНК-центр, где анализируется для коррекции модельного ряда или уточнения адекватности модели конкретного этапа жизненного цикла объекта, включая гомеостаз и техногенез, с дальнейшей передачей уточнённой модели и информации о возможном нештатном её поведении на сам объект.

В результате должны быть созданы иерархические нейросетевые модели сложных технических систем, физических, химических и других процессов, использующие всю априорную информацию о моделируемом объекте с возможностью перестройки и адаптивного самообучения во время функционирования и с контролем точности и прогнозных возможностей в зависимости от вновь поступающей информации:

- технологии создания интеллектуальных вычислительных облаков на основе гетерогенных нейронных сетей адаптивной структуры с возможностью перераспределения нагрузки, а также распределенного хранения и обработки данных с пересылкой между узлами нейросетевых моделей данных, позволяющих радикально сократить трафик без существенной потери пересылаемой информации;
- технологии построения иерархических нейросетевых вычислительных систем на основе адаптивного взаимодействия территориально разнесенных вычислительных установок и различных их ресурсов: вычислительных, объемов хранилищ, коллекций данных, канальных емкостей и др. разного уровня: детального, узлового, агрегатного, системного, изделия, типа, вида и т.д.;

Нейросетевые технологии опираются на прикладные программные продукты:

- системы инженерных расчётов (CAD, CAM, CAE) в высокотехнологических отраслях промышленности на основе эволюционных и нейросетевых моделей, принципиально превосходящие имеющиеся в мире аналоги;
- построение и верификация сложных нейросетевых моделей для прогнозирования в различных областях (аварийные состояния, катастрофы и пр.) на основе известных законов природы и новых экспериментальных данных, поступающих в реальном режиме времени, при том, что данные, запросы к данным и сами модели могут иметь распределённый характер, а планирование и проведение наблюдения может осуществляться искусственной интеллектуальной системой;
- системы и средства идентификации технических объектов в процессе их жизненного цикла: имитационные модели при оптимальном проектировании, контроль соответствия изготавливаемой системы исходному проекту, модель реального технического объек-

та, поставляемого с самим объектом заказчику, уточнение модели в процессе функционирования объекта, выявление необходимости ремонта объекта и вывода его из эксплуатации на основе эволюционных методов и алгоритмов построения и обучения нейросетевых математических моделей;

- нейросетевые методы экспресс-классификации многомерных данных;
  - пакеты программ экстраполяции и интерполяции многомерных функций, генерации адаптивных сеток с применением нейросетевых технологий для гибридных суперЭВМ;
  - нейросетевые алгоритмы и пакеты программ для создания адаптивных нейросетевых интеллектуальных систем, для которых структура, алгоритмы обучения, их точность и условия останова управляются потоками входных данных и целями их обработки, которые могут меняться пользователем в процессе вычислений.
- Бурное развитие СНК в ближайшем будущем позволит ограниченными ресурсами решить проблему кибернетической поддержки заданных ТТХ создаваемых изделий новой техники.

### **Перспективные экзафлопные СНК для моделирования**

Нейросетевые алгоритмы решения специальных дифференциальных уравнений в частных производных образуют самостоятельный важный раздел модельных исследований, связанных с решением задач газо-, гидро-, аэро-, термодинамики и являются определяющими в развитии суперЭВМ и, следовательно, занимают значительное место в развитии и внедрении нейросетевых технологий, в создании СНК.

Наряду с использованием всё более мощных суперкомпьютеров существует ещё один путь увеличения вычислительной мощности - распределить вычисления по большому числу компьютеров. Для наблюдения сложных многопараметрических систем и процессов такой путь позволяет решить в реальном времени проблемы локальной обработки измерительных потоков в процессе сбора и передачи информации, структурной (спектральной) фильтрации связанных компонентов эллиптических траекторных измерений, прогнозной реконструкции параметров гомеостатических состояний, инструментом которых являются и так называемые облачные вычисления.

Особенно актуальными распределённые вычисления становятся при попытках построить адекватные модели полидинамических распределённых систем для решения мультифизических задач, при изучении которых накапливается чрезвычайно много разнородных данных, а обработка которых требует экзафлопной производительности. Если все данные пересылать для обработки в один центр и результаты их переработки - обратно, то не хватит никаких сетевых возможностей и никаких СНК мощностей.

Реальные распределённые системы обычно носят иерархический характер, управление ими должно также быть распределённым и иерархическим. Выработка оптимальных управляющих воздействий в такой системе требует соответствующей иерархии взаимодействующих моделей. Интеллектуальное управление подобной системой должно включать в себя иерархию взаимодействующих нейронных сетей - естественных или искусственных, причём последние имеют очевидные преимущества над первыми. Для активного использования СНК в моделировании должны быть разработаны:

- СУ базами данных с возможностью построения и верификации устойчивых нейросетевых моделей на основе известных законов природного синтеза и новых экспериментальных данных, при этом, данные, запросы к данным и сами модели могут иметь распределённый характер, а планирование и проведение экспериментов может осуществляться искусственной интеллектуальной системой;
- распределённые иерархические интеллектуальные системы - от уровня системы сенсоров до глобального масштаба распределённой обработки данных с выполнением экспертизы текущих ресурсных состояний и их готовностью эффективного управления целевой функцией в соответствии с ТТХ.

Принципиальными для повышения технологического уровня и адекватности модельных решений оригиналам являются реализов-

ванные в мемристорах тенденции параллельно-разнесенных сетевых вычислений, совмещения логических вычислений с функций хранения информации, существенного увеличения производительности при снижении энергопотребления и объемно-весовых параметров, невосприимчивости к излучениям, отказа от процедур загрузки.

Уникальная способность мемристоров позволяет также оперировать не только двоичными сигналами, но и манипулировать любыми другими значениями в промежутке от 0 до 1, открывая широчайшие перспективы для внедрения СНК в область волновой механики состояний. Естественное технологическое развитие в сторону клеточных нейрочипов позволяет перейти в моделях от скалярно-векторной обработки классических компьютеров к real-time обработке 4D- и 7D-массивов гомеостатических портретов состояний в СНК. При этом элементарно решаются задачи многопараметрической визуализации состояний и прогностики Природно-технических и иных систем.

В перспективе переход от позиционного представления информации контактных сенсоров в виде значений токов и напряжений к дистанционному локационному представлению в виде частоты узких импульсов одинаковой амплитуды позволяет достаточно существенно повысить информативность и помехозащищенность трансляции информации, резко понизить энергопотребление и, как следствие, повысить надежность схемы. Способ приближается к представлению информации в живых нейронных сетях.

Экзафлопные СНК должны принимать участие в облачных вычислениях, когда программы запускаются и выдают результаты работы в окно стандартного веб-браузера на локальном ПК, при этом все приложения и их данные, необходимые для работы, доступны на удаленном сервере в интернете.

В последние годы сформирована устойчивая тенденция к применению интеллектуальных методов в разработке систем оценки качества и тестирования программного обеспечения. Это касается применения здесь размытой логики, нейронных сетей, генетических алгоритмов, хаотических и фрактальных сетей, методов извлечения знаний и др.

Моделирование в экзафлопном темпе супернейрокомпьютеров позволяет практически анализировать гомеостатические состояния кибернетических систем любой степени сложности с опережением относительно опасных уровней развивающихся конструкционных патологий. Просто системное моделирование состояний должно стать такой же доступной технологической процедурой как мобильная связь или телевидение.

Такие возможности могут быть компактно реализованы в виде интегрированных мобильных экспертных систем на любых функционально ориентированных механических объектах (ФОМО), представляющих техногенную опасность для общества или окружающей среды.

### Перспективы гомеостатического модельного проектирования

Использование опережающих высокотехнологичных подходов системного научного мониторинга состояний (НМС) позволяет реализовать универсальный междисциплинарный, межвидовой и межотраслевой *новый технологический уклад* управлением при создании и эксплуатации объектов новой техники в машиностроении и строительстве. Роль таких системных подходов - не только создавать новые опережающие технологии, но и гарантировать положение страны на передовых рубежах оборонных исследований.

Системно сопряженные модели, образующие модельные ряды или кластеры, путем *гомеостатического модельного проектирования* (ГМП) реализуют комплексную опережающую технологию гарантированного *подтверждения ТТХ на протяжении всего жизненного цикла ОНТ*. Сам по себе универсальный подход для достижения опережающего научно-технологического уровня разработок также может стать модельным с точки зрения формирования базового каркаса национальной инновационной системы нового технологического уклада.

Глобальный интеллектуальный мониторинг текущего ресурсного состояния и непрерывная экспертиза степени боеготовности военной техники обеспечивают прорыв на совершенно новый уровень критических технологий обеспечения безопасности и расширяют возможности Вооруженных сил России по защите суверенитета и целостности страны, жизни и свободы ее граждан. **▲**

### Литература

1. Гусев Б.В., Сперанский А.А. Волновой мониторинг безопасности механических систем, РИА, альманах ДСР, 2011, № 3.
2. Сперанский А.А. и др. Новые технологические возможности волнового мониторинга состояний в задачах Оборонпрома, Двигатель, 2008, №1-3.
3. Уёмов А.И. Логические основы метода моделирования, М.: Мысль, 1971. - 311 с, с. 48.
4. Неуймин Я.Г. Модели в науке и технике. История, теория, и практика. Л., 1984.
5. Штофф В.А. О роли модели в познании Л., 1963.
6. Хорошев А.Н. Введение в управление проектированием механических систем: Учебное пособие. - Белгород, 1999. - 372 с. - ISBN 5-217-00016-3 Электронная версия 2011 г.
7. Васильев А.Н., Тархов Д.А. Нейросетевое моделирование. Принципы. Алгоритмы. Приложения. // СПб Государственный Политехнический Университет, 2009 г.
8. ГосНИИАС. Общие требования на разработку комплекса бортового оборудования самолётов гражданской авиации, Отраслевой стандарт, М., 2012.



Обеспечение жизненного цикла современных и перспективных творений человека невозможно без нового подхода к мониторингу их состояния

# ИСТОРИЯ И ТЕОРИЯ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗВИТИЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

**Сергей Викторович Кувшинов,**

директор института новых образовательных технологий РГГУ

**Р**азвитие авиационной техники сопровождается не только изменением ее материальных объектов, но и касается совершенствования подходов к ее созданию, т.е. методов синтеза новых структур [1].

Попытаемся представить выявленные проблемы и способы их решения в самолетостроении на базе анализа развития самолетостроения в Германии и СССР конца 1940 - начала 1950-х годов [2]. Проведенное исследование основывается на документах и материалах, взятых из отечественных и зарубежных трудов, монографий, патентов, научно-технических отчетов, а также справочной литературы и периодической отечественной и зарубежной печати [3]. При анализе источников, нами было обнаружено отсутствие терминологической однозначности в трактовке ключевого термина проектной созидательной практики - "проектные противоречия".

В целях установления терминологической однозначности нами был проведен анализ используемых терминов, принята во внимание сложившаяся в настоящее время преобладание понятий, и на основании этого предложено определение термина "проектное противоречие", а также некоторых других, неразрывно с ним связанных. Приведенные ниже определения не претендуют на всеобщность их употребления, тем более не носят рекомендательный характер, а приведены исключительно для однозначного понимания проблем, обсуждаемых в работе.

Проектное противоречие - это проблема, возникающая в процессе создания и разработки сложного технического объекта (например, самолета), связанная с единством и борьбой противоположных тенденций и различных технических факторов при определении его геометрических, энергетических, весовых и других проектных параметров; для устранения этой проблемы принимается решение, существенно влияющее на облик объекта. Способ разрешения проектного противоречия - это совокупность приемов и операций теоретического и практического характера, позволяющих устранять проектное противоречие в процессе разработки сложного технического объекта.

Создание сложного технического объекта представляет собой, безусловно, творческий процесс, алгоритмы которого уже давно исследуются [4]. Многие из них успешно применяются, среди них следует в первую очередь назвать теорию решения изобретательских задач (ТРИЗ) [5]. Не претендуя на систематизированные теоретические изыскания, мы в настоящей публикации поставили задачу показать ряд приемов и способов, реализованных в авиационной проектной практике. Не исключено, что многие из них могут прочно войти в соответствующие разделы технических наук, быть описаны математически, стать в определенной степени базой для анализа и, самое главное, синтеза различных технических решений.

Технические науки могут получить новый импульс в своем развитии, так как будут показаны связи в их развитии и развитии технических систем, созданных на их основе. Эта задача неоднократно обсуждалась, однако реальных результатов пока не получено [6].

При анализе компоновочных схем самолетов, создававшихся специалистами, нами был выявлен целый спектр способов разрешения проектных противоречий, чему был специально посвящены более ранние публикации. К 1945 г. активизация проектной мысли немецких специалистов в Германии достигла небывалых размеров, одновременно в изысканиях находилось свыше 120 проектов, многие из которых даже с позиций сегодняшнего дня можно назвать революционными [7]. Причины этого процесса заслуживают отдельного

обсуждения, хотя в иностранной печати к этому феномену уже несколько раз обращались [8].

Как было установлено в дальнейшем, данные способы носят общий инженерный характер, т.е. они применимы и к другим областям инженерной деятельности. Так наиболее часто использовавшимся приемом являлось компаундирование.

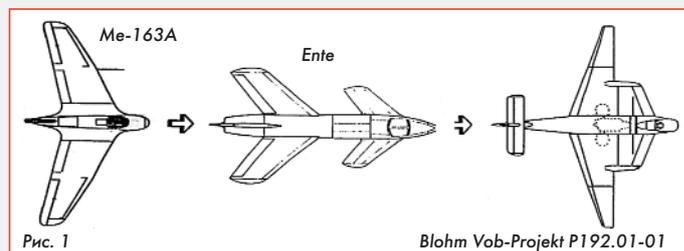
## Компаундирование

Для роста производительности или эффективности работы объекта в целом либо его агрегата, узла увеличивается количество агрегатов либо узлов, выполняющих однотипные функции. Причем соединение может производиться параллельно, как независимые агрегаты (при этом они могут связываться синхронизирующими устройствами), или они конструктивно могут объединяться в один агрегат.

Проследим, как данный способ разрешения проектных противоречий проявляется во внешнем облике германских самолетов. Проведем анализ применительно к отдельным агрегатам самолета.

А. Несущая поверхность - крыло:

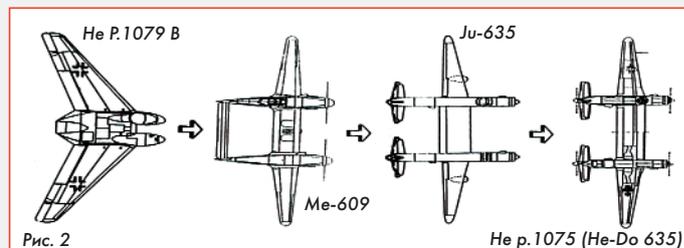
- увеличение количества крыльев в горизонтальном направлении (вдоль оси ОХ ЛА) (рис. 1): - "Бесхвостка", нормальная схема, схема "утка", "тандем", трехпланная схема (Me-163 A; Me P.-Ente; Blohm Vob-Projekt P-192.01-01) [9];



- увеличение количества крыльев в вертикальном направлении (вдоль оси ОУ): моноплан, биплан, триплан, полиплан;

- возможен также вариант увеличения количества крыльев в направлении осей ОХ и ОУ: моноплан, биплан-тандем, полиплан-моноплан.

Б. Фюзеляж: переход от однофюзеляжных схем самолета к многофюзеляжным и многобалочным (рис. 2) (He P.1079 B; Me-609; He p.1075 (He-Do 635); Ju 8-635) [10];



В. Хвостовое оперение: увеличение количества поверхностей горизонтального оперения и поверхностей вертикального оперения (He-280; Fw 261);

Г. Взлетно-посадочные устройства - шасси: от одноопорной схемы, к двухопорной схеме к трехопорной с носовой и хвостовой опорами, четырехопорной, велосипедной и, наконец, многоопорная (Ar 232; Me-323).

Д. Силовая установка: переход от однодвигательных самолетов к двухдвигательным, трехдвигательным и т.д. Для винтовых двигателей - использование двух соосно соединенных пропеллеров (Do-335 A-0; Me 264; Fw Ta-400; He P. 1076).

На рис. 1 показаны некоторые типы самолетов, на которых можно в явном виде проследить комплексное проявление принципа компоновки, т.е. на различных агрегатах одного летательного аппарата (Do-335 A-0; He p.1075 (He-Do 635); Fw Ta-400).

**Кинематизация**

Для разрешения проблемы создания сложного технического объекта и обеспечения его требуемых характеристик производится превращение неподвижных и не изменяющих своего положения в пространстве частей и агрегатов летательного аппарата в подвижные, изменяющие свою конфигурацию в зависимости от режима полета.

Проиллюстрируем данный принцип на отдельных конкретных примерах из опыта германского самолетостроения.

А. Кинематизация крыла (рис. 3): изменение площади несущей поверхности, стреловидности, угла установки, кривизны профиля.

Б. Кинематизация фюзеляжа: изменение угла наклона носовой части.

В. Кинематизация оперения: горизонтальное оперение (переставной стабилизатор, дифференциально отклоняющееся ЦПГО); вертикальное оперение, убираемое в фюзеляж, складываемое оперение).

Г. Шасси: убирающееся шасси, полубуриаемые поплавки.

Д. Силовая установка: винт изменяемого шага, регулируемый воздухозаборник, регулируемое сопло, двигатель изменяемого цикла.

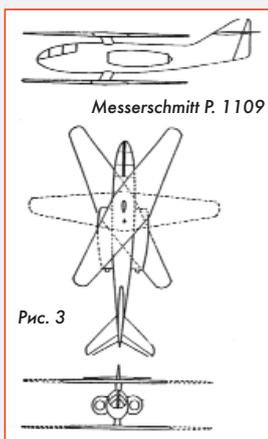


Рис. 3

**Динамизация**

Данный способ разрешения проектных противоречий - проявляется в том, что для достижения требуемых характеристик, часть конструкции ЛА либо его отдельные агрегаты превращались из пассивных объектов в активные, постоянно движущиеся в процессе функционирования аппарата. Отдельные примеры динамизации, реализованные на немецких летательных аппаратах, показаны на рис. 4. Проиллюстрируем этот принцип на примере крыла.

Развитие несущей поверхности можно условно представить по следующей модели: от летательных аппаратов с неподвижным крылом, - к махолету, затем - орнитоптеру, наконец аппараты с несущим винтом; или от неподвижного крыла к адаптивному с фиксированными положениями носка и флаперона и затем постоянно настраиваемому крылу по режиму полета.

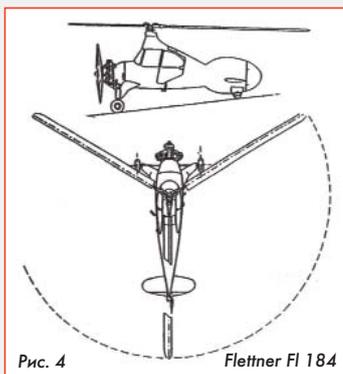


Рис. 4

Для шасси отражением данного принципа может служить раскрутка колес в полете перед посадкой.

Для механизации: - колеблющийся предкрылок, ролерон.

**Многофункциональность**

Многофункциональность проявляется как способ, при помощи которого множество функций, требуемых от летательного аппарата и его частей, обеспечивается конечным числом агрегатов, систем, т.е. один из агрегатов выполняет не одну, а несколько необходимых функций.

В истории авиации прослеживается следующая закономерность: чем больше функций возложено на один агрегат, узел, систему, тем изделие в целом получается более рациональным, эффективным, более легким (и, как следствие, более полно реализует свои возможности).

Несущая система - крыло ЛА. Ниже перечислены несколько функций, которые обеспечиваются крылом.

Исторически этот процесс идет в направлении увеличения функциональных возможностей крыла: создание подъемной силы; емкость для размещения топлива - топливный бак; пространство для размещения грузов внутри (например, крыло может выполнять роль грузоотсека, служить для размещения двигателей, воздухозаборников); место для подвески специального назначения, вооружения и других, требующих внешнего расположения на планере ЛА; поверхность управления в поперечном канале, средство управления силой сопротивления; агрегат, используемый в качестве передаточного (соединительного) звена в конструкции ЛА.

Фюзеляж: емкость для размещения экипажа, грузов и т.д.; соединение отдельных частей и агрегатов в единое целое; создание подъемной силы (несущий фюзеляж); фюзеляж как водоизмещающая емкость для поддержания самолета на плаву (лодка).

Стабилизирующие поверхности: - горизонтальное оперение: балансировка ЛА; управление по тангажу; управление по крену; емкость для размещения специального радиотехнического оборудования; пилон крепления двигателей. Вертикальное оперение: балансировка ЛА; управление относительно путевой оси; емкость для радиотехнического оборудования; пилон крепления двигателей.

Шасси: обеспечение длительной стоянки; руление по ВПП, разбег, пробег; поглощение энергии при посадке.

На рис. 5 и 6 приведены примеры использования многофункциональности как способа разрешения проектных противоречий.

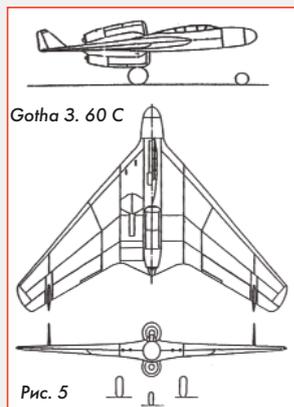


Рис. 5

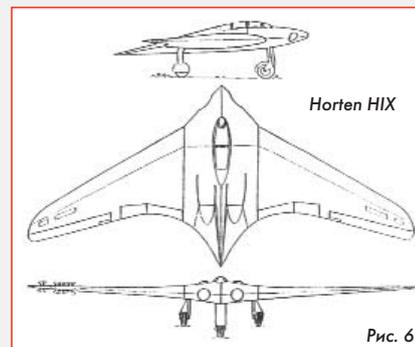


Рис. 6

(Данный способ имеет еще одно название - комплексирование.)

**Мультипликация**

Это способ разрешения проектных противоречий, сущность которого заключается в повышении эффективности использованием нескольких рабочих органов (часто различного типа), выполняющих одни и те же функции (рис. 7).

Несущая поверхность (создание подъемной силы): внутри герметичного крыла может находиться легкий газ, таким образом подъемная сила создается за счет аэродинамической и аэростатической силы; использование воздушного несущего винта и неподвижной плоскости на одном ЛА; использование на крыле управляющих поверхностей элеронов и креновых газоструйных рулей; применение обычной механизации крыла и систем обдува, т.е. энергетическая механизация.

Силовая установка: использование на одном самолете двух типов двигателей, например ПД и ТРД, т.е. два типа движителей - воз-

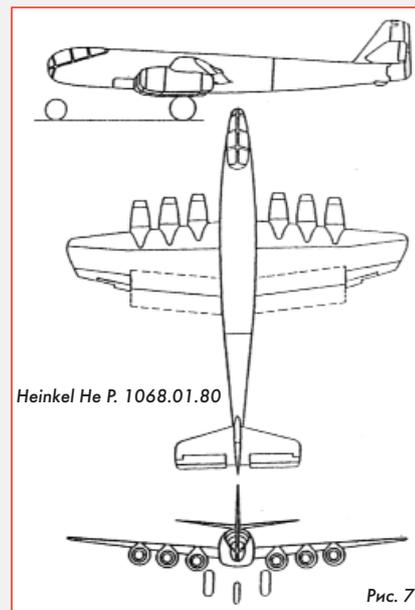


Рис. 7

душный винт и сопло; использование толкающего и одновременно тянущего винтов.

Шасси: система активного привода колес для увеличения проходимости по грунтовым аэродромам, а также транспортировки тяжелых самолетов в зоне аэропорта; использование колесно-лыжной опоры шасси и других комбинированных типов.

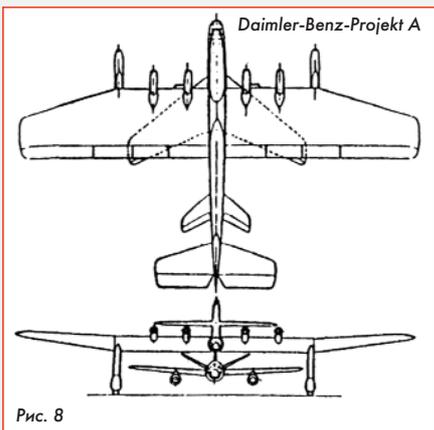
**Аналогия**

Способ "аналогия" проявляется в виде использования технических решений из других областей науки и техники для разрешения проектного противоречия в данной области. Весьма часто при таком способе происходит заимствование эволюционных решений у объектов окружающей природы. Для самолетов и крылатых ЛА можно указать следующие примеры заимствования: форма крыла первых самолетов напоминала формы крыльев птиц; кривизна крыла - имитация конструктивных форм; форма и конструкция фюзеляжа заимствована у плавучих тел - лодок, поплавков, кораблей; шасси - использование в ЛА элементов конструкции наземных транспортных агрегатов; оперение, как правило, копируемое с оперения птиц.

**Агрегатирование**

Способ разрешения проектных противоречий путем создания множества изделий или их комплексов. Они могут выполнять различные функции либо существовать в различных условиях путем изменения состава изделий или структуры их составных частей.

При тщательном анализе данного способа на историко-техническом материале выявилось несколько вариаций его практического осуществления (рис. 8): агрегатирование с самостоятельными изделиями;



агрегатирование присоединением, т.е. когда к основной базовой части могут присоединяться различные зависимые (дополнительные) составные части; агрегатирование изменением - в объекте могут применяться всевозможные варианты составных частей при различии их компоновки.

Рассмотрим использование агрегатирования на конкретных исторических примерах. Способ агрегатирования с самостоятельными изделиями проявился как широкое применение универсальных стартовых ускорителей, подвешиваемых к самолету практически любого назначения для обеспечения взлета с коротких либо неподготовленных взлетно-посадочных полос.

Весьма характерным примером данного способа также может служить осуществление десантирования бронетанковой техники.

Агрегатирование присоединением проявляется во множестве примеров использования дополнительной силовой установки. Для такой части самолета, как шасси, агрегатирование проявляется в способности самолета оставлять после взлета тележку шасси на земле.

Следующий пример - использование фюзеляжа либо его частей в качестве специализированных контейнеров, присоединяемых по мере необходимости и загружаемых заблаговременно в аэропортах вне зависимости от самолета. Существует также множество примеров авиаавтотранспортных средств, т.е. автомобилей, способных к переоборудованию в легкий самолет, которые свидетельствуют об успешном использовании данного способа. Агрегатирование изменением проявилось в разработке самолетов и в большей части беспилотных крылатых ЛА, конструктивно состоящих из отдельных функциональных модулей, например, крыла, фюзеляжа, оперения и т.п. Как правило, данный способ используется при возложении на ЛА комплекса различных функций по назначению.

**Инверсия**

Это способ разрешения проектных противоречий путем отказа от традиционного взгляда на задачу. При инверсии взгляд на реше-

ние задачи осуществляется с другой позиции, обычно диаметрально противоположной. Инверсия, как правило, позволяет получить новые технические решения, поражающие оригинальностью и смелостью мысли конструктора. Существует несколько принципов реализации инверсии: симметрия/асимметрия; изнутри/снаружи; вертикально/горизонтально; слева/справа; с начала/с конца; ведущее/ведомое; прямое/криволинейное; работа на растяжение/работа на сжатие. На рис. 9 и 10 показаны примеры реализации способа инверсии на агрегатах частях планера самолетов.

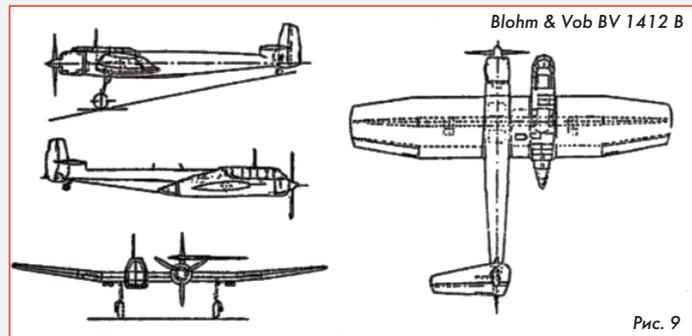


Рис. 9

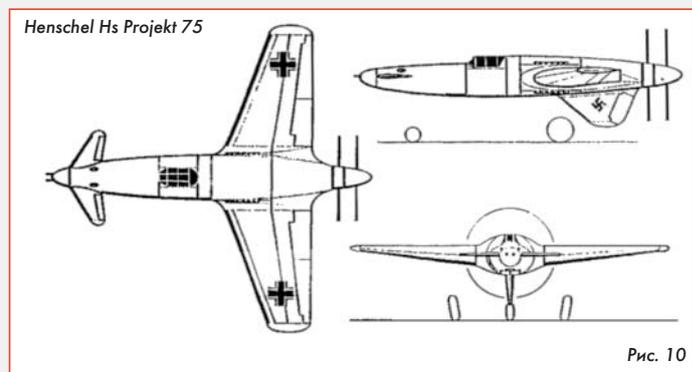


Рис. 10

**Компенсация**

Способ разрешения проектных противоречий, реализуемый как уравнивание нежелательных, негативных факторов, возникающих при синтезе нового объекта средствами противоположного действия. Компенсация используется при необходимости сократить темпы роста массы самолета, аэродинамического сопротивления (в том числе сопротивления трения), потерь различного рода энергии и т.д. Например, для уменьшения аэродинамического сопротивления неубираемого шасси (сопротивления колес и стоек) логично было бы уменьшить их размерность, убрать все "лишние" части и детали из потока.

При данном способе применяется своеобразный компенсатор - обтекатель - еще одна дополнительная деталь, со своим сопротивлением, вносимая в поток, в результате чего общее сопротивление резко снижается.

**Комбинирование**

Способ разрешения проектных противоречий "комбинирование" проявляется как использование в разрабатываемой конструкции в разном порядке и в разных сочетаниях отдельных технических решений, процессов, элементов. При этом получаем новое качество, дополнительный положительный эффект. Способ комбинирования может производиться по трем схемам объединения элементов: новое техническое решение и новое решение; новое и старое техническое решение; старое техническое решение и старое.

Причем комбинации могут быть различного характера (рис. 11). Покажем проявление данного способа на примере самолетов с допол-

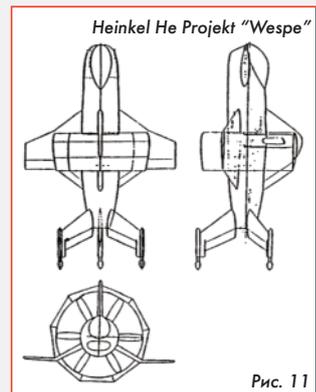


Рис. 11

нительной силовой установкой. Способ комбинирования по схеме "новое + новое" появился в создании истребителей сопровождения (конец 1940-х гг.), имеющих в составе силовой установки маршевые двигатели типа "ТВД" и дополнительные типа "ТРД" (например, самолеты "XR-81", "XF2R-1" и др.). При схеме "старое + новое" использовались в качестве маршевого двигателя уже хорошо зарекомендовавшие себя типы, а в качестве дополнительных - двигатели нового типа. Например, "ПД+ПВРД" для самолетов, "ПД+ЖРД", "ТРД+ЖРД", "ПД+ТРД" и др.

**Блочно-модульный способ**

Этот способ предусматривает разрешение проектных противоречий путем создания нового объекта, изделия из отлаженных, проверенных опытом эксплуатации модулей и блоков. Использование данного способа дает хорошие результаты при создании самолетов-модификаций. При этом могут целиком быть заимствованы готовые агрегаты, такие как крыло, двигатели, оперение и т.д. За

достаточно большой исторический период сформировался определенный ряд стандартных модулей, используемых при разработке новых объектов. Например, авиационные колеса, для которых при создании нового самолета в очень редких случаях разрабатывался новый типоразмер. Приборные панели, приборное оборудование в кабине пилота - также, как правило, используются в виде готовых модулей. Блочно-модульный способ является

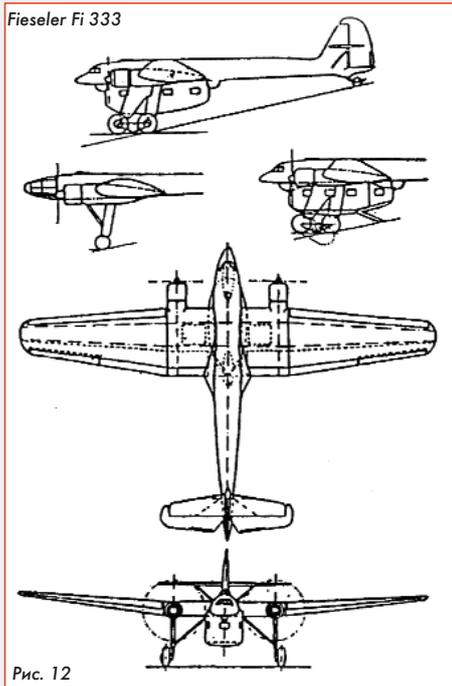


Рис. 12

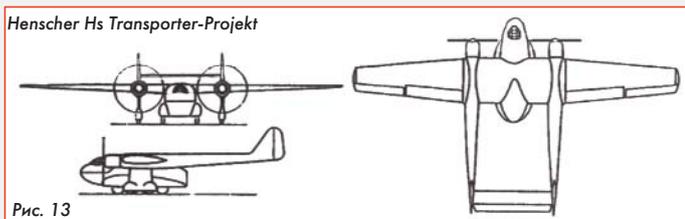


Рис. 13

прогрессивным способом унификации, обеспечивающим экономию времени при разработке изделия (рис. 12,13).

**"Энергетический скачок"**

Данный способ проявляется в создании нового технического решения путем использования нетрадиционных источников энергии, необходимой для функционирования объекта. Практически все развитие аэрокосмической техники подчиняется данному способу разрешения проектных противоречий. Достижение требуемых высот и скоростей полета стало возможным благодаря последовательному переходу на новые типы энергетических машин, начиная с парового двигателя и заканчивая образцами самолетов с ядерной силовой установкой.

**Изменение принципа действия**

При возникновении проектного противоречия весьма эффективным в процессе его разрешения может оказаться способ, в основе которого лежит изменение принципа действия части либо устройства, затрудняющих получение требуемых свойств объекта в целом. Данный способ часто употребляется совместно с другими способами описанными выше. Одной из отличительных особенностей дан-

ного способа является то, что его привлечение, как правило, приводит к качественному скачку в конструкции, свойствах, характеристиках разрабатываемых изделий (рис. 14). Пример использования данного принципа - переход от дирижабля к термолану.

Проведенный нами анализ способов разрешения проектных противоречий показывает что: многие способы применялись проектировщиками на бессознательном, интуитивном уровне, находящемся в большой зависимости от опыта и продолжительности работы в данной области техники; практически все выявленные способы не формализованы до настоящего времени, даже в виде кратких рекомендаций по их применению; способы разрешения проектных противоречий самолетов можно рассматривать как общие закономерности в развитии сложных технических систем; различные способы проявляются не только в анализируемый период, но с первых проектов и экспериментальных построек и продолжают использоваться до настоящего времени; в отдельные периоды в зависимости от сложности решаемых проблем одни из них чаще использовались разработчиками, другие реже.

Под закономерностью развития технических объектов понимается необходимое, устойчивое, повторяющееся отношение между явлениями. Содержание закономерности - это некоторое предположение о том, что может или должно быть в процессе развития техники и чего не может быть. Особенностью проявления способов разрешения проектных противоречий или закономерностей является то, что эти закономерности имеют отношение не только к внешнему облику сложных технических объектов, но и к внутренней и внешней структуре составных элементов. Многие исследователи указывали на наличие определенного вида закономерностей, присущих технике [11].

Автором были проанализированы способы разрешения проектных противоречий применительно к самолетостроению, однако обобщение историко-технического материала позволит сделать предположения о всеобщем характере данных способов применительно к технике и стать вкладом в формирующуюся в настоящее время науку - технетику [12].

Решение всего комплекса проблем полифункциональности техники все еще требует объединения усилий различных по профилю специалистов.

В конце 50-х годов XX в. исследователь С. Мозер говорил о необходимости "совместной работы интересующихся философией техников и заинтересованных философов - оптимальное объединение таких специалистов, конечно, далеко не всегда реализуемо и часто даже проблематично, то многодисциплинарности и системности возникающих в современной технике проблем должны соответствовать, и действительно соответствуют, с одной стороны, все возрастающее разграничение и специализация проектно-ориентированных дисциплин, а с другой, - усиливающаяся кооперация всех вовлеченных в решение той или иной проектной задачи специалистов из различных сфер науки и техники с так называемыми генералистами" [13]. Генералистами обычно называют ученых, которые способны уточнять на моделях проблемы, сформулированные в отдельных проектных дисциплинах, и делать возможным использование для их решения аналитических, теоретико-системных методов, применяя главным образом оперативные теории. При этом важно понимать, что необходима не только кооперация с представителями экспериментального естествознания и субстантивных теорий, ориентированная на развитие фундаментальных исследований в той или иной области, но и совместная проектноориентированная работа техников-практиков, инженеров-ученых с генералистами, представителями общественно-научных дисциплин, а также теоре-

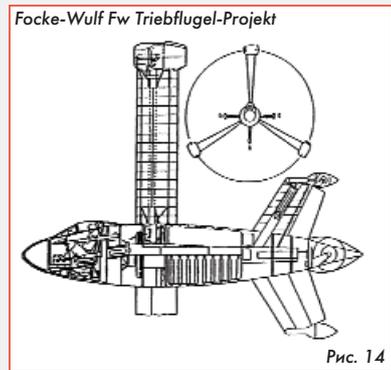


Рис. 14

тиками и практиками проектирования и планирования.

Сама по себе даже междисциплинарная кооперация представителей технических наук различных направлений оставляет сегодня желать лучшего. Общее учение о технических науках, ориентированное на методичку и методологию научно-технического исследования, могло бы, несомненно, помочь связать отдельные научно-технические направления, что действительно становится настоятельной необходимостью ввиду все углубляющегося их отчуждения. К этой междисциплинарной кооперации побуждают системные проблемы, все чаще возникающие в области современных сложных технологий. При этом тесное сотрудничество между "философами-универсалистами" и "инженерами-учеными" необходимо не только в области критики норм и ценностей, но и в форме осуществления всеохватывающей социально-философской интерпретации и развития философии техники как "приближенной к действительности" философской дисциплины.

Философское объяснение, критический вклад философов-универсалистов, к сожалению, пока сильно отстает от сформулированного требования. Обычно движение в указанном направлении начинается с научно-методологической постановки проблемы в пограничных областях науки и связанных с ними сфер проектирования с целью развития своего рода системной философии.

Книга Е. Ласло "Введение в системную философию" является типичным примером поиска путей движения в этом направлении [14]. Именно при анализе социотехнических систем, предполагающем учет культурно-философских, антропологических, экологических и многих других аспектов, философия как теория науки и как социальная нормативная дисциплина должна вносить свой вклад. Эти новые задачи философии техники ждут еще своей развернутой формулировки в прагматическом плане, что неизбежно предполагает отказ от традиционной догматически монолитной метафизики техники.

Важность обучения будущих инженеров гуманитарным и социальным наукам, а также философским вопросам техники неоднократно отмечалась ведущими учеными и специалистами. Суть обучения сводилась к тому, что инженерам необходима рефлексия над техникой в контексте гуманитарных и социальных наук, экономики и права, а также социальной ответственности.

В ряде американских университетов с конца 1960 - начала 1970-х годов уже существуют отделения, где преподаются и изучаются вопросы философии науки и техники. В 1987 г. была создана "Национальная ассоциация по науке, технике и обществу". В Испании, Голландии, Франции, Чехии, Польше и Венгрии также существуют соответствующие кафедры в технических университетах или подразделения в исследовательских институтах. В нашей стране в Санкт-Петербурге, Томске, Москве и ряде других городов проводятся с начала 1970-х годов интенсивные исследования в этой области, которые нашли выражение в публикациях целого ряда монографий и сборников, а с 1978 г. - серий статей, материалов "круглых столов" и других заметок в журнале "Вопросы философии". Высококвалифицированному, перспективному инженеру все больше приходится решать задачи управления, брать ответственность за те или иные решения, что, в конечном счете, приносит ему более высокий престиж, доходы. Такая новая форма деятельности может, однако, быть успешно осуществлена специалистом лишь тогда, когда все больше проблем и вопросов нетехнических областей обсуждаются, изучаются и осваиваются самим инженером, когда в планы его обучения включаются междисциплинарные, но тесно связанные с его специальностью гуманитарные дисциплины, в преподавании которых должны подчеркиваться значимость представлений о социальных ценностях, способность к гуманной ориентации, когда речь идет о благе общества в целом. Обобщенная теория технических, проектных и системных наук находится, к сожалению, еще в зачаточном состоянии. Такого рода обобщающее учение о технических науках, или, по терминологии профессора Г. Рополя, некая "всеобщая технология", развивается параллельно и в связи с общей теорией систем, прикладным системным анализом и системотехникой, а также общетехническими и другими системными науками [15].

"В целом же традиционная философия техники игнорировала -

и почти полностью - социальные факторы и исторические условия и истолковывала феномен техники, и даже саму сущность техники, через те или иные (притом самые различные) основные ее черты. Многостороннюю (мультифункциональную), учитывающую многие факторы социальную философию техники можно создать лишь с одновременной разработкой социологии техники и социологии самой технической интеллигенции, философия техники (техника сама по своему существу является социальным феноменом) без социологии технической интеллигенции была бы пустой, а социология техники и технической интеллигенции без учета социально-философских аспектов в их историческом контексте была бы слепой, если использовать перефразированное выражение Канта" [16], - пишет Е. Ласло.

Слова немецкого философа К. Ясперса о том, что техника и ее последствия важны сегодня для понимания всех жизненных проблем, не были до сих пор приняты достаточно серьезно не только философами, но и техническими университетами, в которых все еще отсутствуют крайне необходимые кафедры методологии технических наук, истории, философии и социологии техники. Поверхностная ориентация на единичные проекты и однопредметное исследование едва ли может привести к решению социально-философских проблем "информационно-системно-технического века".

Когда мы говорим о технократических концепциях и о технократах, мы, естественно, подразумеваем инженера как центральную фигуру в современной технической деятельности: - в проектировании, во всех сферах реализации и применения техники. Именно инженер "держит в руках" технику, и в его деятельности неизбежно возникают не только научные и технические, но и нравственные, психологические, социальные и даже политические проблемы, независимо от того, осознает он это или нет. Поэтому и отношение к инженерам сегодня сложно и подчас противоречиво.

В результате превознесения роли инженеров - руководителей производства и менеджеров - возникли технократические концепции, извратившие их роль. Это, в свою очередь, вызвало целый поток литературы, в которой одни порицают инженера как деятеля внутри культуры, не способного выполнять приписываемую ему роль, другие встают на его защиту. В рамках критики технократов сформировалась концепция так называемого "инструментального разума", суть которой сводится к тому, что в процессе профессионального формирования и деятельности инженера в условиях современного индустриального общества формируется механический, рассудочный тип профессионала. А в его социально-политическом поведении господствуют "инструментальность", механичность, бесчеловечность и бездумность в общечеловеческом и нравственном планах.

Инженер с "инструментальным разумом" может действовать как лишенный гибкого и нормального человеческого интеллекта робот, совершенно не считающийся с человеком и подчиняющий все интересам техники и производства. Такой "обесчеловеченный" инженер, по мнению сторонников концепции "инструментального разума", представляет огромную "технократическую" опасность для общества. Против такой довольно мрачной характеристики инженера и в его защиту выступили многие философы техники в частности, Г. Люббе. Инженер должен руководствоваться сознанием своего морального долга перед обществом и заботиться, прежде всего, о снабжении его всем необходимым (энергией, водой, продовольствием), пользуясь техническими средствами и рычагами, находящимися в его руках. В этом, по мнению критиков "инструментального разума", и заключается не политическая, а моральная и социальная "ангажированность" инженера, его гражданственность.

Понимание того влияния, которое оказывают объекты техники на людей, позволяют создателям (разработчикам) более системно, обдуманно, гуманистично подходить к организации новых технических и технологических структур, дают возможность прогностической оценки влияния техники на развитие общества в целом. 

#### Литература

1. Meyer G. Luftfahrt: Wie der Mensch das Luftreich eroberte. Leipzig; Jena: Urania-Verlag, 1959.
2. Alles-Fernandes P. Flugzeuge von A bis Z. Koblenz: Bernard & Graefe Verlag, 1998.

Осенью этого года состоится событие из тех, какие всегда приятно отмечать, пусть даже к тебе самому они непосредственного отношения не имеют.

В биографии доктора технических наук, профессора, действительного члена Российской академии естественных наук Анатолия Николаевича Петухова указано, что: "В 1963 г. окончил Московский авиационный технологический институт по специальности инженер-механик по авиационным двигателям и приглашён С.В. Серенсеном для работы в ЦИАМ в лабораторию прочности". А раз оно так, есть повод поздравить одного из виднейших учёных ЦИАМ, признанного специалиста мирового уровня в области усталостной прочности и износа высоконапряжённых конструкций с 50-летием творческой (без тени натяжки так!) деятельности на ниве отечественной науки.

Одно только перечисление наград разного достоинства за проделанные работы займёт не один абзац:

- орден Знак Почёта (1982 г.) за освоение и внедрение двигателя ТВ-3-117 на вертолётах типа "Ми" и "Ка";
- премии Совета Министров СССР 1982 г. и 1991 г.

В 1986 г., как автор более 20 изобретений, А.Н. Петухов был награждён медалью "Изобретатель СССР".

Научные достижения А.Н. Петухова были отмечены золотыми медалями имени профессора Н.Е. Жуковского (ЦАГИ, 1995 г.), академика А.А. Благонравова (ИМАШ РАН, 1995 г.), академика С.Т. Кишкина (РАН и ВИАМ, 2007 г.), К.Э. Циолковского (Федерация космонавтики РФ, 2009 г.).

Международная Ассоциация авиационного двигателестроения - АССАД наградила А.Н. Петухова именными медалями и премиями имени генеральных конструкторов: В.Я. Климова (1994 г.), А.М. Льюльки (2003 г.), А.Г. Ивченко (2008 г.).

В 2010 г. VI Международный симпозиум по трибофатике "VI INTERNATIONAL SIMPOSIUM ON TRIBO-FATIGUE" наградила А.Н. Петухова Почётным Дипломом "За вклад в развитие трибофатики".

Для тех, кто не совсем в теме, трибофатика - наука, изучающая проблемы трения и износа, а также исследование механизма процесса фреттинга и фреттинг-усталости, вызывающие в малоподвижных соединениях (в пресовых посадках, замковых соединениях лопаток ГТД и др.) снижение сопротивления усталости соединения более чем в два раза. Именно по проблеме фреттинга А.Н. Петухов в 1972 г. защитил кандидатскую диссертацию.

А.Н. Петухов - начальник сектора отделения "Динамика и прочность двигателей" ФГУП "Центральный институт авиационного моторостроения им. П.И. Баранова" - доктор технических наук, профессор, действительный член Российской академии естественных наук известен в научных кругах РФ и в промышленности, как крупный учёный.

Много сил отдаёт Анатолий Николаевич подготовке инженерных и научных кадров РФ, являясь профессором РГТУ МАИ и МАТИ им. К.Э. Циолковского, читая специальные курсы по проектированию, технологии производства и конструктивной прочности двигателей ЛА. Он подготовил несколько сотен инженеров, бакалавров, магистров для РФ и для зарубежных стран. В числе его учеников 12 кандидатов технических наук и 4 доктора технических наук.

А кроме того, А.Н. Петухов на общественных началах является:

- членом диссертационных Советов ЦИАМ им. П.И. Баранова, Московского авиационного технологического института и НИАТ - Национального института авиационных технологий;

- членом Учёных советов ФГУП ЦИАМ им. П.И. Баранова и Института машиноведения РАН им. А. А. Благонравова;

- более десяти лет руководит межотраслевым семинаром "Проблемы конструкционной прочности современных газотурбинных двигателей и энергетических установок", являясь одновременно редактором сборника трудов этого семинара.

Им написано более 50 книг - монографий и в составе коллектива авторов, а вообще - около 350 печатных трудов. И это - реальный рабочий материал прочнистов всего мира. Труды Петухова и многие его статьи стали настольными пособиями для учёных, инженеров-практиков, аспирантов, студентов авиационных и технических вузов. Его труды в области конструкционной прочности металлических материалов и ГТД известны в странах СНГ и дальнего зарубежья. Он внёс и вносит значительный вклад в разработку и создание отечественных двигателей II - V поколений, в развитие науки о прочности авиационного и ракетного двигателестроения.

Анатолий Николаевич заполняет не занятое научными изысканиями время такими делами, каковыми многие гордятся как единственной целью жизни. Он - плодотворный и весьма талантливый художник, участник нескольких творческих союзов. Выставки его работ проводились в разных московских и подмосковных галереях, они неоднократно отмечались дипломами, включены в известные в России сборники и каталоги, а выпущенный под его непосредственным контролем альбом работ моментально стал библиографической редкостью.

Наконец, как принято говорить в таких статьях "а в свободное от работы время"... Так вот, в свободное от всей этой необыкновенной массы дел время, Анатолий Николаевич ещё и пишет статьи в наш журнал, являясь одним из его авторов, наиболее "спрашиваемых" читателями. Его статьи - и популяризаторские, по теме непосредственной его деятельности, и освещающих различные стороны общественной жизни, и повествующие о тех, с кем довелось работать - всегда находят своих читателей.

**Поздравляем, Анатолий Николаевич!  
Новых Вам задумок, хороших дел,  
новых картин - и нам - новых Ваших статей.  
Будьте здоровы и так же плодотворны.  
Редакция журнала "Двигатель".**



heimprojekte der Luftwaffe. Jagdflugzeuge 1939-1945. Stuttgart: Motobru Verlag, 1994.

10. Walter S., Ingolf M. Geheimprojekte der Luftwaffe. Jagdflugzeuge 1939-1945. Stuttgart: Motobru Verlag, 1994.

11. Берг Л.С. Номогенез, или Эволюция на основе закономерностей. Пг., 1922.

12. Кудрин Б.И. Введение в технетику. Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та, 1993.

13. Moser S. Metaphysik einst und jetzt. Kritische Untersuchung zu Begriffund Ansatz der Ontologie. Berlin, 1958. S. 232.

14. Laslo E. Introduction to Systems Philosophy. Toward a new Paradigm of Contemporary Thought. N.Y.; L.; P., 1972.

15. Lenk H., Ropohl G. Tehnische Intelligenz im systemtechnologischen Zeitalter. Dusseldorf, 1986.

16. Цит. по: Ленк Х. Размышления о современной технике / Пер. с нем.; под ред. В.С. Степина. М.: Аспект Пресс, 1996. С. 21.

3. Bergschicker H. Deutsche Chronik 1933-1945. Berlin: Verlag der Nation, 1981, 1988, 1990; Bukowski H., Griehl M. Junkersflugzeuge 1933-1945. Dessau: Podzun-Pallas, 1991.

4. Альтшуллер Г.С. Творчество как точная наука. М.: Московский рабочий, 1979.

5. Альтшуллер Г.С. Алгоритм изобретения. М.: Московский рабочий, 1973.

6. Иванов Б.И., Чешев В.В. Становление и развитие технических наук. Л., 1977.

7. Bornemann M. Geheimprojekt Mittelbau. Bonn: Auflage - Bernhard & Graefe Verlag, 1994. S. 254; Garlinski J. Deutschlands letzte Waffen im 2. Weltkrieg: Motorbuch Verlag, 1981.

8. Agoston T. Teufel oder Technokrat. Hitlers graue Eminenz. Berlin; Bonn; Herford, Verlag E.S.: Mittler & Sohn, 1993.

9. Dressel J. Natter Bachem Ba 349 und andere deutsche Kleinstraketenjager. Podzun: Pallas-Verlag, 1989; Walter S., Ingolf M. Ge-

# СОВРЕМЕННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ВСАСЫВАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ НАСОСОВ ЖРД

КБ химического машиностроения им. А.М. Исаева - филиал ФГУП "ГКНПЦ им. М.В. Хруничева":  
**Валерий Юрьевич Пиунов**, заместитель генерального конструктора  
**Юрий Иванович Константинов**, начальник сектора  
**Алексей Леонидович Кузнецов**, инженер-конструктор  
**Юрий Николаевич Фабрин**, начальник бюро, к.т.н.  
**Ирина Юрьевна Холопова**, инженер-конструктор

*Рассматриваются вопросы нового направления в проектировании насосов со сверхвысокими антикавитационными качествами и минимальными энергетическими затратами на обеспечение их необходимой всасывающей способности. Questions of the new direction in design of pumps with ultrahigh anti-cavitation qualities and the minimum power costs of ensuring their necessary soaking-up ability are considered.*

**Ключевые слова:** кавитация в насосах ЖРД, насосы с высокими антикавитационными свойствами, ТНА, бустерные агрегаты.

**Keywords:** cavitation in pumps (Rocket Engines), pumps with high anti-cavitation properties, turbopump unit, busterly units.

## Введение

Основными требованиями, предъявляемыми к жидкостным ракетным двигателям, являются показатели: надежность, экономичность и минимальные массогабаритные характеристики.

Одной из основных систем двигателя, влияющих на перечисленные показатели, является турбонасосная система подачи топлива (ТСПТ).

В современных двигателях ТСПТ должна обеспечивать давления в напорных магистралях двигателей, выполненных по "открытой" энергетической схеме, 200 атм и более, по "замкнутой" энергетической схеме - 450 атм и более.

Для обеспечения таких высоких давлений в напорных магистралях насосов с минимальными массогабаритными и экономичными характеристиками ТНА необходимы условия бескавитационной работы насосов при высоких оборотах ротора.

Неоценимый вклад в изучение процессов создания методик расчета и проектирования высокооборотных насосов внесли: В.Ф. Чебаевский, В.И. Петров, А.С. Шапиро, Б.В. Овсянников, А.П. Васильев, В.И. Мелашенко и др.

В настоящее время, для обеспечения бескавитационной работы насосов при минимальных давлениях в баках двигательной установки, применяются малонапорные насосные агрегаты, обеспечивающие необходимые давления на входах в основные насосы. К таким насосным агрегатам относятся:

- а) струйные насосы (эжекторы). Их основными недостатками являются значительные осевые размеры и низкий к.п.д.;
- б) бустерные ТНА. Основными недостатками применения этих агрегатов являются:

- значительное усложнение пневмогидравлической схемы двигателя из-за введения дополнительных агрегатов с сопутствующими системами управления и регистрации параметров;

- при запуске двигателя от автономного питания турбины основного ТНА бустерные насосы работают в турбинном режиме, т.е. являются сопротивлением на входах в основные насосы, так как рабочим телом турбин бустерных ТНА являются компоненты насосов, взятые из напорных магистралей основных насосов. Это при определенных условиях работы двигателя снижает его надежность.

В настоящей статье представлены новые направления в проектировании насосов со сверхвысокими антикавитационными качествами.

Авторы статьи выражают признательность академику РАК, д.т.н., профессору В.И. Петрову и инженеру И.В. Баньковской за научно-техническую помощь в написании статьи.

## Новые направления развития ТСПТ разработки КБхиммаш им. А.М. Исаева

В середине 80-х годов в КБхиммаш им. А.М. Исаева было разработано новое направление повышения антикавитационных качеств шнекоцентробежных насосов для ЖРД.

Теоретической базой разработки нового направления послужили результаты научно-исследовательских работ, проводимых ранее предприятием в тесном сотрудничестве с соответствующими кафедрами МВТУ им. Н.Э. Баумана, его филиала в г. Калуга и МАИ им. Орджоникидзе.

Целью научно-исследовательских работ, подтвержденных экспериментами, было изучение гидродинамических процессов в проточной части высокооборотных насосов, где особое внимание уделялось вопросам кавитации.

Новое направление отличалось простотой конструктивного решения и качественно повышало всасывающую способность насоса. Кавитационный показатель, характеризующий всасывающую способность насосов Скр, был увеличен с 4000...5000 ед. до 8000 ед.

Принципиальная схема технического решения показана на рис. 1. Как видно из схемы технического решения, перед лопастью системой шнекоцентробежного насоса установлен дополнительно малоразмерный бустерный шнек, функция которого - повышение давления перед предвключенным шнеком. При этом наружный диаметр бустерного шнека выбран таким, чтобы скорость обтекания его входной кромки не превышала допустимого порога скорости для заданного давления компонента на входе в насос. Внедрение этого технического решения позволило создать в КБхиммаш им. А.М. Исаева двигатель тягой 10 тс по "замкнутой" схеме с энерго-массовыми характеристиками, не превзойденными до настоящего времени.

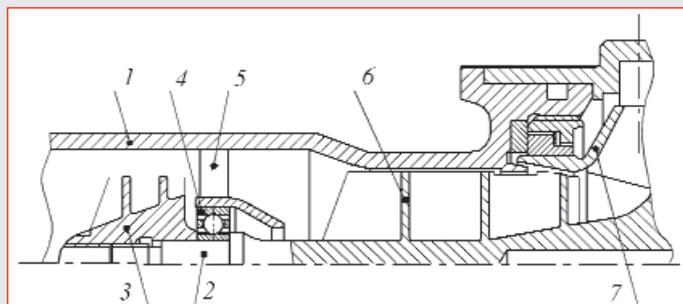


Рис. 1: 1 - корпус насоса, 2 - вал, 3 - бустерный шнек, 4 - подшипник, 5 - пилоны, 6 - предвключенный шнек, 7 - центробежное колесо

Так, например, масса ТНА, при давлениях компонентов за насосами 450 атм., составляет 14 кг (вместе с автономной пусковой турбиной).

Разработанное в КБхиммаш им. А.М. Исаева направление создания насосов со сверхвысокими кавитационными качествами получило признание как в нашей стране, так и за рубежом. Предприятие обладает авторскими свидетельствами СССР и зарубежными патентами США, Великобритании, Германии, Финляндии и др. стран.

За разработку и внедрение нового направления группа сотрудников предприятия и МГТУ им. Н.Э. Баумана была удостоена звания лауреатов премии Совета министров СССР в области энергетики.

Далее в развитие направления создания насосов со сверхвысокими антикавитационными качествами показаны конструктивные решения, направленные не только на повышение критического коэффициента быстротходности (Скр), но и на сокращение габаритов насоса и энергетических затрат, на повышение антикавитационных свойств насоса.

На рис. 2 показана конструкция насоса с радиальным входным патрубком, в котором установлена подшипниковая опора.

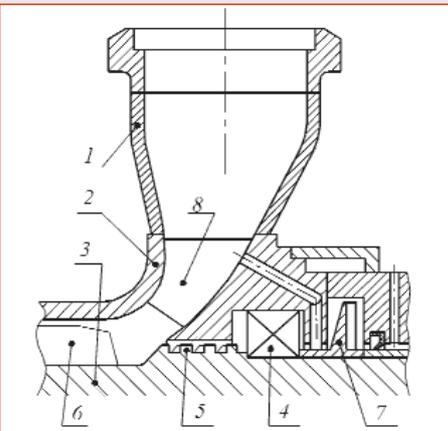


Рис. 2: 1 - входной патрубок, 2 - корпус, 3 - вал, 4 - подшипник, 5 - винтовой насос, 6 - предвключенный шнек, 7 - импеллер, 8 - пилоны

В разработанной конструкции в зазоре между корпусом-обтекателем подшипника и валом, проходящем через входной патрубок, установлен винтовой насос. Функциональное назначение винтового насоса - обеспечить дозированный расход охлаждающей жидкости через подшипник и повышение давления жидкости на входе в предвключенный шнек шнеко-центробежного насоса, выполняя функцию бустерного шнека. Техническое решение позволяет сократить осевые габариты насоса, а учитывая то, что винтовые насосы при малых расходах создают высокие напоры, повышается эффективность влияния его на антикавитационные качества насоса.

В 2011 г. патент по этому техническому решению удостоен диплома в номинации "100 лучших изобретений России".

На рис. 3 представлена конструкция насоса повышающая эффективность винтового насоса.

В представленной конструкции для повышения давления жидкости, идущей в винтовой насос, используется, через систему диффузоров и конфузоров, энергия жидкости, закрученная импеллером,

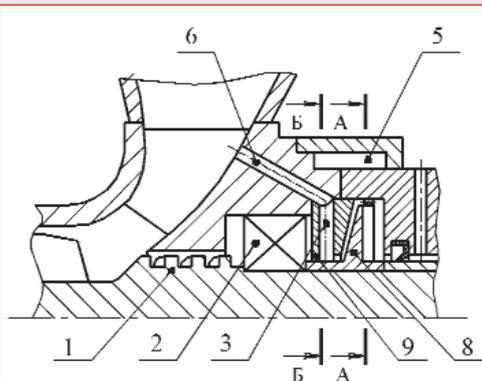


Рис. 3: 1 - винтовой насос, 2 - корпус, 3 - камера смешения, 4 - конфузоров, 5 - камера высокого давления, 6 - отверстия подвода жидкости в камеру смешения, 7 - диффузоры, 8 - импеллер, 9 - отверстия подвода жидкости

являющимся элементом системы уплотнения насоса по валу. Таким образом, повышается давление и за винтовым насосом.

Как известно, кавитационная каверна в шнеко-центробежных насосах образуется на наружном диаметре входной кромки шнека, и зависит, как от величины давления на входе в насос, так и от скорости её обтекания. Чем выше скорость обтекания кромки, тем ниже статическое давление жидкости в зоне её обтекания.

На рис. 4 показана конструкция насоса с осевым входом, в которой пилон, крепящие втулку подшипника установленного между бустерным и предвключенным шнеками, выполнены в виде спрямляющего аппарата.

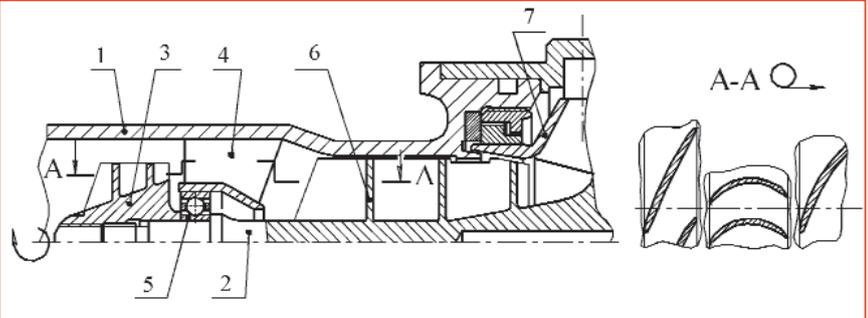


Рис. 4: 1 - корпус насоса, 2 - вал, 3 - бустерный шнек, 4 - пилон, 5 - подшипник, 6 - предвключенный шнек, 7 - центробежное колесо

Пилон представляет собой лопатки, входные и выходные концы которых загнуты по направлению вращения ротора насоса.

Угол установки входной части лопатки соответствует направлению абсолютной скорости потока жидкости после бустерного шнека. Угол установки выходной части лопатки согласован с расходной скоростью потока.

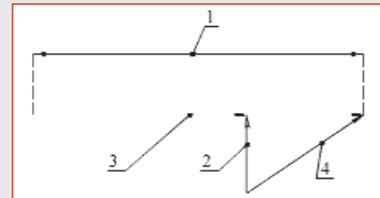


Рис. 5: 1 - окружная скорость входной кромки лопатки шнека, 2 - расходная скорость потока, 3 - относительная скорость обтекания входной кромки шнека, 4 - абсолютная скорость потока

План скоростей на входе в предвключенный шнек показан на рис. 5.

В представленной конструкции насоса энергия жидкости, полученная бустерным шнеком, с минимальными потерями переводится к предвключенному шнеку, тем самым повышает антикавитационные качества и к.п.д. насоса.

На рис. 6 показана конструкция шнекоцентробежного насоса, в которой для повышения антикавитационных качеств центробежного колеса и его КПД, используются утечки через щелевое уплотнение заднего бурта центробежного колеса, а в ТНА для замкнутых схем двигателя, через щель из полости гидрозатвора, разделяющего полости турбины и прилегающего насоса.

Жидкость из щелевых уплотнений через отверстия в ступице колеса поступает в приемную камеру, а затем в лопастную систему.

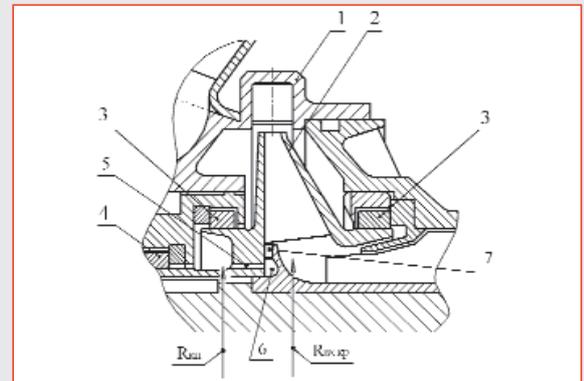


Рис. 6: 1 - корпус насоса, 2 - центробежное колесо, 3 - щелевые уплотнения заднего бурта, 4 - щелевое уплотнение полости гидрозатвора, 5 - отверстия перепуска, 6 - приемная камера, 7 - лопастная система обтекателя

Особый интерес представляет насос с комбинированной системой технических решений, направленных на повышение всасывающей способности. В насосе кроме бустерного шнека и спрямляющего аппарата применен щелевой эжектор с "точной" подачей активной жидкости.

На рис. 7 показана конструкция такого насоса с радиальным входным патрубком.

В разработанной конструкции лопатки спрямляющего аппарата выполнены пустотелыми с разгонными участками и щелевыми критическими сечениями. Жидкость из напорной магистрали насоса поступает в пустотелые полости лопаток, разгоняется, а за тем, через критические сечения с нужным направлением поступает на вход в предвключенный шнек.

Представленная конструкция простая в исполнении, экономичная и позволяет практически обеспечить любую всасывающую способность насоса.

**Выводы**

3.1 Представленные в статье конструкции насосов разработкой КБхиммаш им. А.М. Исаева являются новым направлением в проектировании насосов со сверхвысокими антикавитационными качествами и на данный момент определяют мировой технический уровень развития ракетного насосостроения.

3.2 Использование технических решений нового направления позволяет проектировать малогабаритные насосы со сверхвысокими антикавитационными качествами и с минимальными энергетическими затратами на обеспечение их необходимой всасывающей способности. Эти насосы значительно повышают надежность двигателя благодаря исключению из его пневмогидравлической схемы бустерных агрегатов с их системами управления и регистрации.

3.3 Технические решения позволяют модернизировать серийно изготовленные двигатели с минимальными материальными затратами, так как затрагиваются только входные устройства насосов.

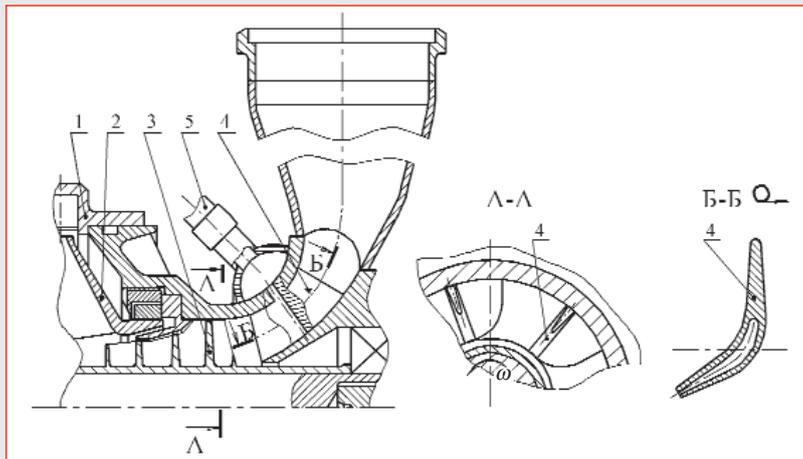


Рис. 7: 1 - корпус насоса, 2 - центробежное колесо, 3 - шнек, 4 - лопатки спрямляющего аппарата, 5 - трубопровод подвода активной жидкости

**Литература**

1. А.С. 693734 (СССР). Шнекоцентробежный насос / Л.Ф. Калашников, Р.И. Константинов, В.В. Николаев, А.С. Шапиро // - 1979.
2. Патент 2412378 (РФ). Лопастной насос / Р.И. Константинов, В.Ю. Пиунов, Ю.Н. Фабрин, И.Ю. Холопова и др. // БИ.-2011-№5.
3. Патент 2462621 (РФ). Лопастной насос / Р.И. Константинов, И.Ю. Холопова и др. // БИ.-2012-№27.
4. Шнекоцентробежный насос / А.И. Каширин, Р.И. Константинов, А.Л. Кузнецов, Ю.Н. Фабрин, И.Ю. Холопова // Заявлено 12.03.2013 № 2013111270.
5. Центробежный насос / Р.И. Константинов, А.Л. Кузнецов, В.Ю. Пиунов, Ю.Н. Фабрин, И.Ю. Холопова // Заявлено 18.10.2011 № 2011142121.
6. Лопастной насос / Р.И. Константинов, В.Ю. Пиунов, М.И. Позняк, Ю.Н. Фабрин, И.Ю. Холопова // Заявлено 15.06.2012 № 2012125018.

Связь с автором: kbhimmash@korolev-net.ru

**ИНФОРМАЦИЯ: Интерактивная фотореалистичная визуализация 3D-моделей**

Компания "Топ Системы" сообщает о создании собственного модуля интерактивной генерации фотореалистичных изображений в готовящейся к выходу 14-й версии флагманского продукта T-FLEX CAD. Уникальная российская разработка основана на программном движке NVIDIA OptiX, обеспечивающем интерактивную трассировку лучей на графических процессорах NVIDIA.

Возможность создания фотореалистичных моделей становится все более и более востребована в промышленном дизайне. Работа с цифровыми моделями позволяет снизить стоимость разработки прототипов, повысить качество проектов и ускорить выход готовых продуктов на рынок. Между тем, большинство российских и зарубежных приложений для проектирования не располагают подобной функцией. В рамках подготовки к выпуску новой версии параметрической системы автоматизированного проектирования и черчения T-FLEX CAD разработчики компании особое внимание уделили подсистеме визуализации трёхмерных моделей и разработали собственный модуль генерации фотореалистичных изображений.

Новый модуль основан на технологии

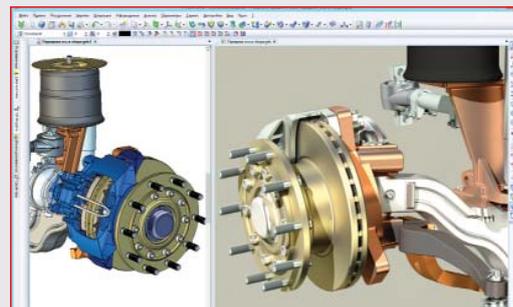
NVIDIA OptiX, использующей вычислительные ресурсы графических процессоров с поддержкой архитектуры NVIDIA CUDA. Он предназначен для генерации качественных фотореалистичных изображений с учётом таких свойств материала, как прозрачность, коэффициент преломления, свойства поверхности и т.д. Ультрабыстрая трассировка лучей на процессорах NVIDIA позволяет сделать процесс создания изображений по-настоящему интерактивным.

Модуль генерации фотореалистичных изображений полностью интегрирован в систему T-FLEX CAD. Он позволяет мгновенно оценивать внесённые изменения, как в модель, так и в свойства сцены - освещение, окружение и т.д. В комбинации с мощнейшими параметрическими возможностями системы, данный модуль должен стать эффективным пользовательским инструментом для подготовки технических иллюстраций и маркетинговых материалов на разрабатываемые изделия.

При работе с системой генерируемое фотореалистичное изображение выводится в специальное окно системы, в которое картинка выводится в реальном времени, без каких-ли-

бо задержек. При изменении модели можно обновить картинку нажатием одной кнопки, увидев изменения с теми же настройками сцены. В этом окне доступны все элементы пользовательского интерфейса T-FLEX CAD - главное меню, панели кнопок, главная панель. Модель в окне можно вращать мышью, как это делается в обычном 3D окне. В то время как, постепенно улучшаясь, генерируется изображение, в другом окне модель можно дорабатывать или редактировать.

Новый механизм фотореалистичной визуализации, выполненный с применением технологий NVIDIA, будет доступен пользователям в 14-й версии системы T-FLEX CAD в конце текущего года.



# Полный вперед!

с 2,5 тоннами в 5 осях



Фирма Hermle - ведущий изготовитель 5-осевых обрабатывающих центров - расширяет свою производственную программу: наши высочайшая точность, надежный сервис и компетентность в области автоматизации теперь позволяют обрабатывать заготовки весом до 2500 кг.

[www.hermle-vostok.ru](http://www.hermle-vostok.ru)

Представительство «Хермле ВВЭ АГ» в Москве · ул. Полковная д.1, стр. 6 · 127018 Москва, Россия · Тел.: +7 495 221 83 68 · [info@hermle-vostok.ru](mailto:info@hermle-vostok.ru)



# ТУРБУЛЕНТНОСТЬ. ФУНДАМЕНТАЛЬНОЕ УРАВНЕНИЕ СВЕРХЗВУКОВОЙ ГАЗОВОЙ ДИНАМИКИ И НОВЫЙ МЕТОД ПРОФИЛИРОВАНИЯ СОПЕЛ ЖРД

Юрий Михайлович Кочетков, д.т.н.

*Профилеирование сверхзвуковых сопел ракетных двигателей преследует целью достижение максимального удельного импульса тяги для данного двигателя за счет оптимального геометрического расширения продуктов сгорания. Сопла профилируют практически для всех двигателей на химическом, ядерном и солнечном принципе, где рабочим телом является вещество. Существующие способы профилирования сверхзвуковых сопел сводятся к использованию невязких и несжимаемых уравнений Эйлера с последующим введением в общую систему уравнений пограничного слоя для расчета течений непосредственно у стенки, тем самым подменяя прямое использование уравнений Навье–Стокса внутри всей сверхзвуковой области сопла. Предлагается новый метод, построенный на базе фундаментального уравнения сверхзвуковой газодинамики.*

Основными трудностями, которые возникают при решении уравнений Навье–Стокса являются их нелинейность и высокий порядок. Часто этими особенностями пренебрегают и переходят к решению линеаризованных уравнений Эйлера, но поскольку они становятся невязкими, возникает проблема с граничными условиями. Приходится ставить вместо условий прилипания условия непротекания. После таких упрощений появляются две новые дисциплины в науке. Это - теория пограничного слоя и теория о потерях удельного импульса тяги. Обе эти теории обладают высокой степенью эмпиризма и из-за кажущейся на неискушенный взгляд простоты часто используются при расчетах и не всегда оправданно. Так, например, применение методов турбулентного пограничного слоя в сверхзвуковом сопле является недоказанным, а причисление термодинамического удельного импульса тяги к соплам, спроектированным с помощью уравнений Эйлера, по крайней мере - неточным. Поэтому, с уважением признавая титанические труды предшественников, следует констатировать, что некоторые моменты их деятельности, их взгляды на отдельные вопросы необходимо поправлять с учетом новых фактов. Так, например, настало время уточнить режим течения в сверхзвуковом сопле. Какой он? Турбулентный или ламинарный? Для этого сначала докажем теорему.

### ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ТУРБУЛЕНТНОСТИ

Турбулентность может возникнуть по двум причинам: из-за наличия вязкости и положительного градиента давления. И в том и в другом случае под турбулентностью понимают состояние потока, при котором формируются вихревые течения или просто вихри. Такое определение, данное лордом Кельвином, следовало из экспериментов Осборна Рейнольдса, и оно логично, потому что все другие виды движения подвижных сред поступательное и волновое не приводят к обратным циклическим течениям.

Итак, считается, что турбулентное течение - это вихревое течение. Оно - не потенциальное и не послойное. Математическая запись такого течения может быть представлена в виде:

$$\text{rot } \vec{V} \neq 0 \text{ или } \text{rot } \text{rot } \vec{V} \neq 0.$$

В первом случае - эти символы отражают наличие вихрей в потоке; во втором - наличие областей кручения потока.

Рассмотрим два случая течения, которые возникают при работе ЖРД.

**Первый случай** - это течение в области зоны смешения вплоть до зоны горения, а точнее правой части (завершающей) зоны горения.

Что здесь происходит. Турбулентный поток, состоящий например, из двух турбулентных струй окислителя и горючего с дозвуковой скоростью через форсунки поступает в зону горения. У каждой струйки (рис. 1) имеется свое количество движения и оно сохранится, если не будет фазового перехода. Кроме того, у каждой струйки возможен свой вектор вращения  $\vec{\omega}$  или вектор кручения  $\vec{\Omega}$ . Но! После достижения зоны горения в точке пересечения струек произойдет химическое взаимодействие и образуется новый продукт - продукт сгорания. После химической реакции зона горения наполняется продуктами фазового перехода. При этом нарастает масса газа. Поток становится изотропным и к правой границе он подходит равномерным с практически нулевой скоростью  $M \approx 0$ . После достижения этой границы поток под влиянием перепада давления ( $\text{grad } P$ ) начинает продвигаться к соплу. В зоне горения суммарное количество движения подошедших струек тока и достигших этой области становится равной нулю. Внутри этой области все криволинейные линии тока и вихревые линии пропадают. Остаются только прямолинейные линии тока, характеризующие поступательное движение в сторону сопла. Очевидно, что при этом никакой турбулентности, начиная от правой границы зоны горения в потоке не будет и  $\text{rot } V = \text{rot } \text{rot } V = 0$ .

**Во втором случае**, при движении по камере сгорания поток может турбулизироваться. Встречающиеся препятствия и вязкость, проявляющаяся вблизи стенок, начинают искривлять линии тока. При этом каждая линия тока существенно влияет на возникновение режима турбулентности. Если в предыдущем случае линии тока обладали химическим средством и могли вступать в реакцию, как бы пересекаясь между собой и образуя общий объем, заполненный продуктами сгорания, то в случае двух совершенно одинаковых линий тока разговора ни о каком пересечении быть не может.

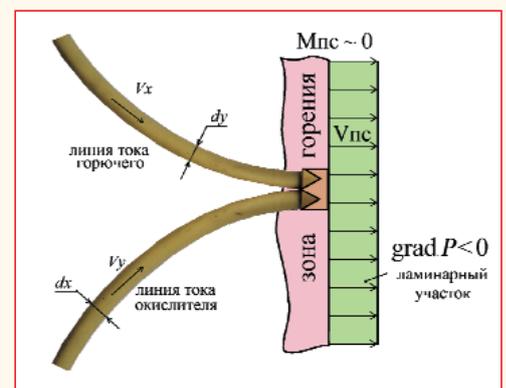


Рис. 1. "Пересечение" линий тока горючего и окислителя  $\text{rot } V_{пс} = 0$

Более того, известный из газодинамики фундаментальный факт о том, что в дозвуковом потоке линии тока чувствуют перед собой преграду, говорит, что они разойдутся. Этот факт предполагает некий прогноз течения. То есть, если бы мы захотели узнать, из какой точки вышла та или иная линия тока, то это мы могли бы сделать, восстановив её от места фиксации до начала, какая бы замысловатая кривая при этом ни была.

Таким образом, две произвольные линии тока никогда не наткнутся друг на друга и не пересекутся. Они как козочки из известной сказки перейдут речку по узкому мостику. На рис. 2 эта ситуация символически представлена с помощью проволоочной аналогии. Видно, что вблизи друг друга линии тока изгибаются, и возникает геометрическая кривизна. Это - иллюстрация случая зарождения турбулентности. Ведь что такое линия тока? Это - геометрическое место точек, где сосредотачиваются основания касательных к ней, то есть основания векторов абсолютных скоростей газового потока. И если линия тока искривляется, то вектор скорости меняет свое направление в сторону нормали. Далее, обращаясь к определению величины завихренности в потоке

$$\text{rot } \vec{V} = \left( \frac{\partial V_z}{\partial y} - \frac{\partial V_y}{\partial z} \right) \vec{i} + \left( \frac{\partial V_x}{\partial z} - \frac{\partial V_z}{\partial x} \right) \vec{j} + \left( \frac{\partial V_y}{\partial x} - \frac{\partial V_x}{\partial y} \right) \vec{k},$$

отметим, что каждый коэффициент в данной формуле, стоящий при ортах  $\vec{i}, \vec{j}$  и  $\vec{k}$  будет отличаться от нуля. Это означает, что вихрь в такой ситуации присутствует и турбулентность имеет место.

**ТЕОРЕМА О ЛАМИНАРНОМ ТЕЧЕНИИ В СВЕРХЗВУКОВОМ ПОТОКЕ**

Известно [1], что в сверхзвуковом потоке отсутствует влияние вверх по потоку. По образному выражению Прандтля, сверхзвуковой поток слепо натывается на препятствие. Это значит, что возмущение от препятствия не успевает распространиться вперед, не успевает предупредить частицы жидкости, движущиеся навстречу препятствию, о том, что их ожидает; в результате характер обтекания препятствий, характер движения сверхзвукового потока оказывается совершенно отличным от обычных картин движения несжимаемой жидкости. Было показано, что с момента достижения потоком звуковых скоростей возникает замечательный фундаментальный эффект - появление скачков уплотнения в условиях его ускорения. Взамен турбулентности в дозвуковом течении, в сверхзвуковом приходят дискретные сгустки потока - ударные волны, внутри которых, так же как и при наличии вихревых течений (турбулентности) возрастает энтропия.

Уточним один момент. Возрастание энтропии не всегда приводит к появлению вихревых течений. В сверхзвуковых потоках возрастание энтропии приводит к появлению ударных волн. Причём ударная волна является сгустком турбулентности в сверхзвуковой области. Она выполняет те же самые функции, что и турбулентность в дозвуковом потоке и появляется тогда, когда параметры потока возрастают. Так как ударная волна занимает очень тонкую область, в проекции - это, как правило, прямая линия, то все остальное пространство до неё и после неё - ламинарное, а значит оно послонное, такое же, как и ламинарный пограничный слой.

Для доказательства теоремы о ламинарности сверхзвукового потока воспользуемся графической аналогией, представленной на рис. 3.

Допустим, что две линии тока пересекаются в сверхзвуковом потоке. В соответствии с Прандтлем, они почувствуют друг друга только после столкновения. Будем рассматривать течение в этой точке. Поскольку обе

линии тока равноценны, то в результате следует ожидать, что после столкновения они, скорее всего, пойдут параллельно друг другу и могут быть представлены как один двужильный электрический провод, направленный по биссектрисе. Эта модель не единственная, и она, в общем для нашего рассмотрения не принципиальна. Для полноты картины упомянем, что после образовавшейся

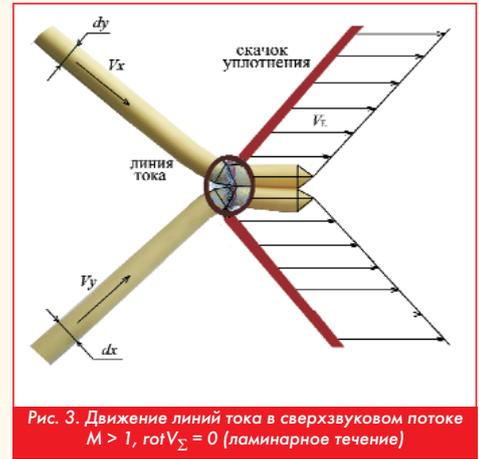


Рис. 3. Движение линий тока в сверхзвуковом потоке  $M > 1, \text{rot } V_{\Sigma} = 0$  (ламинарное течение)

принятой конфигурации очевидно необходимо учесть появление какого скачка, выходящего из точки пересечения. И его тоже можно определить. Но нас интересуют не это. Нас интересуют события, происходящие в самой точке. Для конкретности рассуждений представим "пересекающиеся" линии тока не как математические линии в геометрии, а как некие струйки тока с размерами  $dx$  и  $dy$  (плоский случай). Тогда, поскольку струйки тока прямолинейные, то скорости  $V_x$  и  $V_y$  вдоль них постоянные. Более того, поскольку это струйки тока, то скорости их в поперечном направлении неизменны. На противоположных границах каждой из струек скорости одинаковы

$$V_x(dy) = \text{const} \text{ и } V_y(dx) = \text{const}.$$

Теперь по аналогии с предыдущим случаем запишем формулу для величины  $\text{rot } \vec{V}$ . Достаточно это проделать для плоского случая

$$\text{rot } \vec{V} = \left( \frac{\partial V_x}{\partial y} - \frac{\partial V_y}{\partial x} \right) \vec{i}.$$

Но! Поскольку мы уже показали, что производные поперек струек равны нулю, то и их разность также равна нулю в точке "пересечения".

Этот факт был очевиден и без доказательства, так как известно из многочисленных опытов, что встречных движений в сверхзвуке быть не может.

Никакой вихрь не сможет существовать в сверхзвуковом потоке. Ему на смену приходит скачок уплотнения. Таким образом, можно сформулировать следующую теорему:

**В сверхзвуковом потоке турбулентность отсутствует. Течение в сверхзвуке всегда ламинарное.**

Далее покажем, что во всех практических случаях ЖРД турбулентность в сверхзвуковых соплах отсутствует. Для этого все-таки обратимся к теории пограничного слоя. Воспользуемся универсальным логарифмическим законом пограничного слоя, который был получен в соответствии с гипотезой Прандтля и великоленными опытами Никурадзе и Рейхарда. Определим с его помощью толщину ламинарного подслоя и далее сравним эту толщину с областью пристенного дозвукового потока с внешней границей ( $M = 1$ ). Расчеты, проведенные по методикам [2, 3], показали, что толщина ламинарного подслоя составляет долю порядка 0,1, а дозвуковая граница для реальных ракетных двигателей на порядок меньше (рис. 4). Поскольку сравнения проводились для самых предельных случаев (полууглы на входе в сопло до двенадцати градусов и показатели адиабаты до 1,12), то был сделан вывод о том, что дозвуковая пристенная область в сверхзвуковом сопле тонет в ламинарном подслое. Это означает, что внутри области, ограниченной контуром сверхзвукового сопла течение всегда ламинарное, а значит послонное и потенциальное. В соответствии с этими дополнительными доказательствами подтверждается правильность вывода [4] фундаментальных уравнений сверхзвуковой газовой динамики. В векторной форме после преобразований эти уравнения выглядят как одно

$$\rho \frac{d\vec{V}}{d\tau} = - \text{grad} \left( p + \frac{4}{3} v \frac{dp}{d\tau} \right).$$

Самый правый член в этом уравнении характеризует одновре-



Рис. 2. Огибание линий тока в дозвуковом потоке  $M < 1, \text{rot } V > 0$  (турбулентность)

менно вязкость и сжимаемость подвижной среды.

Одним из граничных условий, необходимых при решении данного уравнения следует задавать условие прилипания вязкого потока к стенке сверхзвукового сопла  $V_{||} = 0$ .

**НОВЫЙ МЕТОД ПРОФИЛИРОВАНИЯ СВЕРХЗВУКОВЫХ ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ КРУГЛЫХ СОПЕЛ ДЛЯ ЖРД**

Начиная процесс профилирования следует вспомнить об удельном импульсе тяги. Что же это такое с точки зрения не термодинамики, а газодинамики. Это - скорость потока на выходе из сопла. Таким образом, если после решения нового векторного уравнения получится профиль скорости потока на срезе сопла, то результирующая этого профиля вдоль продольной оси и будет искомым значением реального удельного импульса тяги. Что замечательно? А то, что после этого не нужно вводить какие-либо потери, а именно: потери из-за рассеивания, потери из-за трения и потери из-за химической неравновесности. Они уже учтены в самих уравнениях и, собственно, в методе. Ну и естественно отпадает потребность в использовании теории пограничного слоя, поскольку вблизи стенки уже выстроится автоматически высокоградиентное течение с тормозящимися слоями.

Теперь о профилировании. Сразу приходит в голову метод характеристик [3] и, видимо, в последующих работах его целесообразно будет развить. Посмотрим, можно ли по-другому спроектировать сопло. Может быть, оно будет оптимальным? Идея нового метода заключается в послойном оптимизировании. Вся сверхзвуковая область сопла разбивается на усеченные конусы высотой  $dx$ . В каждом интервале  $dx$  строится своя серия конусов с различными полууглами наклона образующих к оси. Далее проводится серия расчетов для различных конусов с разными полууглами наклона к оси, используя приведенное выше уравнение. Для каждой локальной серии конечных сопел выбирается такое, при котором результирующая скорость потока на срезе максимальна. Для локальных максимальных скоростей устанавливается связь с оптимальной степенью расширения конического сопла, а, значит, с оптимальным удельным импульсом тяги.

Далее, после выбора из предыдущего сечения все необходимые данные, включая результаты термодинамических расчетов в каждом сечении, формируются новые рекуррентные условия для следующего сечения, где рассчитываем несколько раз течение в надстроенном новом коническом сопле на другом интервале и определяем оптимальное значение удельного импульса тяги для следующей оптимальной степени расширения (рис. 5).

Такой послойный расчет исключает появление ошибок на каждом шаге, так как в каждом сечении оптимизируется локальный удельный импульс тяги.

Расчет проводится в зависимости от поставленной задачи. Это могут быть, например, ограничения по степени расширения на выходе из сопла. Кроме того, можно будет определить предельную степень расширения сопла, при которой будет рассчитано максимально возможное значение удельного импульса тяги.

По-видимому, изложенное выше следует обобщить с точки зрения программных реализаций. Это даст возможность провести сравнение с имеющимися методами профилирования. Данный метод послойной оптимизации имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционными методами.

1. Потери в сверхзвуковых соплах ЖРД на рассеивание, трение и химнеравновесность являются либо чисто газодинамическими ( $\xi_r, \xi_{tr}$ ),

либо чисто термодинамическими ( $\xi_{xn}$ ). Специально они не рассчитываются, так как послойный расчет термогазодинамики учитывает все нюансы.

2. Профилирование производится с переменным по длине показателем адиабаты.

3. При необходимости укоротить сопло, спроектированное новым методом для его дальнейшей оптимизации с целью достижения энерго-массового совершенства, не требуется укороченное сопло оптимизировать с газодинамической точки зрения.

4. Данный способ профилирования позволяет установить предельную степень расширения, при которой можно определить максимальное (предельное) значение удельного импульса тяги для данного топлива, используемого в конкретном ЖРД.

5. Применение предлагаемого способа для расчета профилирования сверхзвуковых сопел РДТТ также возможно, но потребуются введение потерь, характерных для РДТТ (из-за двухфазности и т.д.).

**Литература**

1. Я.Б. Зельдович. Теория ударных волн и введение в газодинамику. // М-Л. Издательство АН СССР, 1946 г.
2. Д.А. Мельников, У.Г. Пирумов, А.А. Сергиенко. Сопла реактивных двигателей. // Аэродинамика и газодинамика. М. Наука, 1976 г.
3. В.С. Авдучевский, В.К. Кошкин, Ю.А. Рыжов и др. Основы теплопередачи в авиационной и ракетно-космической технике. М. Машиностроение, 1975 г.
4. Ю.М. Кочетков. Турбулентность сверхзвуковых течений. (Памяти Гилевича) // Двигатель № 2, 2013 г.

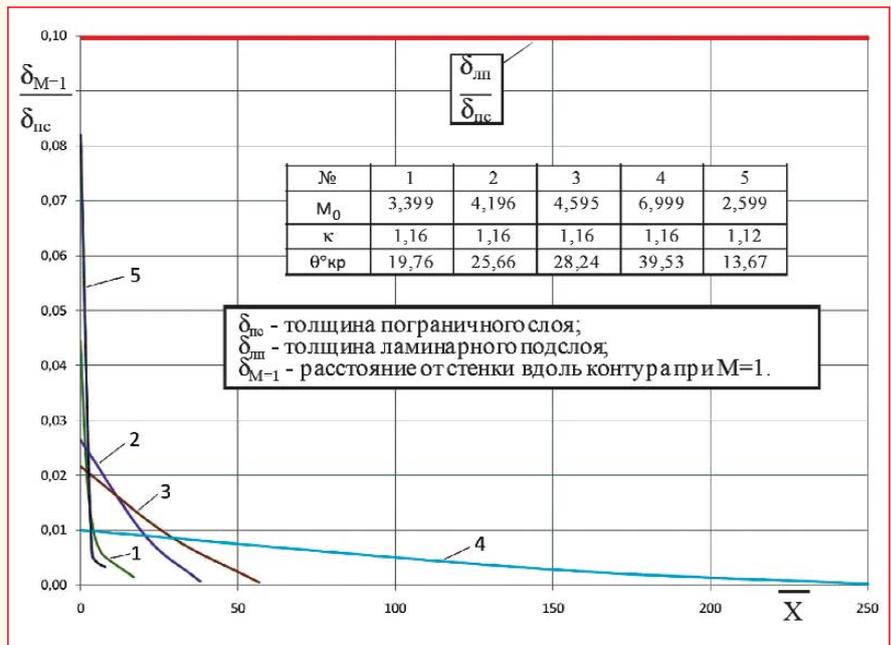


Рис. 4. Соотношения характерных толщин

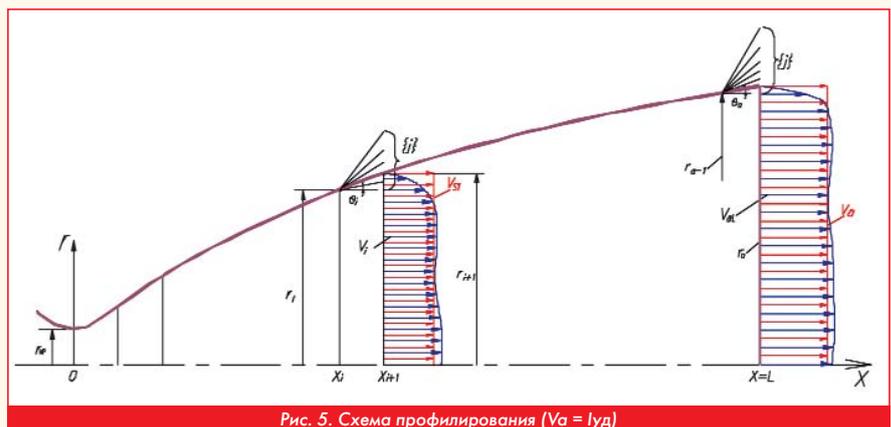


Рис. 5. Схема профилирования ( $V_a = I_{уд}$ )

# ЦИФРЫ • ФАКТЫ • КОММЕНТАРИИ



# ПРОБЛЕМАТИЧНОЕ НАЧАЛО И ДРАМАТИЧЕСКИЙ КОНЕЦ РАЗРАБОТКИ РАКЕТЫ-НОСИТЕЛЯ Н1

**Вячеслав Фёдорович Рахманин,**

главный специалист ОАО "НПО Энергомаш имени академика В.П. Глушко"

(Продолжение. Начало в № 6 - 2011, 1-6 - 2012, 1-2 - 2013)

Из общего комплекса работ по созданию научно-технической и промышленной базы ракетостроения следует выделить результаты работ по вышеуказанным темам.

По теме Н-1 была разработана экспериментальная ракета Р-3А, ставшая последней в ряду ракет, созданных в СССР на базе А-4. Путём модернизации конструкции и форсирования двигателя по тяге до 44 тс удалось обеспечить расчётную дальность полёта Р-3А до 1200 км, что создавало возможность наносить ракетный удар по большинству баз НАТО, расположенных как вдоль границ СССР, так и в глубине Европы. Это обстоятельство послужило основанием для принятия правительственного решения разработать на базе экспериментальной ракеты Р-3А боевую ракету Р-5, тем более, что к этому времени СССР стал обладателем атомной бомбы, появление которой коренным образом изменило военно-политическое положение в мире. Для превращения ядерного заряда в стратегическое оружие нужен был носитель, и этим первым в СССР носителем ядерного заряда стала ракета Р-5М (вариант ракеты Р-5 повышенной надёжности). В 1956 г. ракета Р-5М с ядерным боезарядом была принята на вооружение.

Главным направлением работ по теме Н-2 было определение области применения ракетных топлив, содержащих в качестве окислителя жидкий кислород или азотную кислоту. Проведённые в ОКБ-1 под руководством В.П. Мишина расчёты показывали, что азотнокислотное топливо件годно для использования в ракетах дальностью 3500...4000 км, для обеспечения большей дальности нужно применять только жидкий кислород. Результаты расчётов других исследователей, в том числе в НИИ-88 и НИИ-4 МО, показывали возможность создания межконтинентальных баллистических ракет с применением и высококипящего топлива. Эту техническую концепцию поддерживал М.К. Янгель, который в 1950-1954 г. работал в НИИ-88, а в июле 1954 г. получил назначение возглавить вновь созданное ракетное ОКБ-586 в Днепропетровске. Во время работы главным конструктором этого ОКБ Янгель создал научно-техническую школу разработки баллистических ракет среднего и дальнего действия на высококипящем долгохранимом топливе. В то же время необходимо отметить, что принимая во внимание

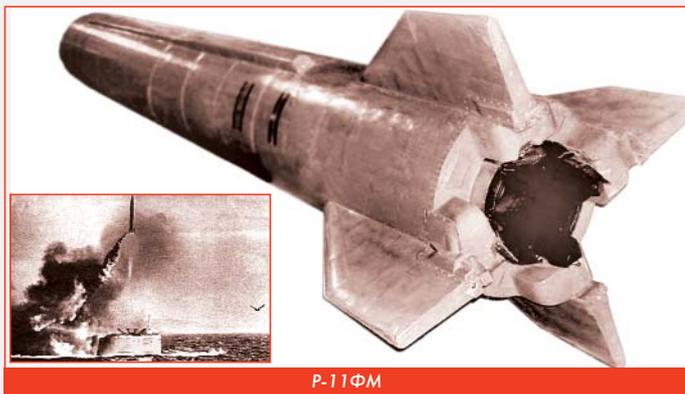
постоянные требования военных, ОКБ-1 разработало ракету Р-11 дальностью полёта 270 км, работающую на высококипящем топливе азотная кислота и керосин с двигателем, разработанным под руководством А.М. Исаева. Эта ракета использовалась как для наземного базирования, так и в варианте Р-11ФМ для пусков с подводных лодок. Это была первая ракета в ряду ракет морского базирования. И все они имели высококипящее топливо, т.к. ракеты с жидким кислородом для размещения на подводных лодках непригодны. Создание семейства ракет Р-11 стало единственным случаем использования ОКБ-1, руководимом Королёвым, высококипящего топлива.

Решение задач, изложенных в теме Н-3, нацеливало наших разработчиков ракет дальнего действия на создание ракетного вооружения, способно доставить ядерный боезаряд на территорию США. Для европейского театра военных действий предназначалась находящаяся тогда ещё в разработке ракета Р-3. Полученные первые обнадёживающие результаты работ по теме Н-3 позволяли поставить более конкретную задачу, изложенную в Постановлении СМ СССР от 13.02.53 г., которым устанавливалось, что *"особо важными задачами НИИР по ракетам дальнего действия являются теоретические и экспериментальные исследования, обеспечивающие разработку управляемой двухступенчатой баллистической ракеты с прицельной дальностью - не менее 8000 км, весом боевой части - не менее 3 т, тягой двигателей на первой ступени - 180-200 тс, второй ступени - 45-50 тс"*.

По сути целью указанной в Постановлении НИИР являлась разработка эскизного проекта (ЭП) межконтинентальной баллистической ракеты (МБР). В развитие Постановления была открыта научно-техническая тема Т-1: *"Теоретические и экспериментальные исследования по созданию двухступенчатой баллистической ракеты дальностью полёта 7000 - 8000 км"*. В процессе выполнения работ по этой теме в октябре 1953 г. вышло правительственное решение об увеличении массы головной части с 3,0 т до 5,5 т.

Для реализации такого изменения технического задания необходимо было внести корректировку в разрабатываемый проект ракеты, особенно серьёзным изменениям подвергались двигатели. После проработки в ОКБ-456 Глушко в январе 1954 г. на совещании главных конструкторов предложил вместо ранее планировавшихся однокамерных двигателей использовать четырёхкамерные, что позволит не только уменьшить вертикальный размер и массу двигателя, использовать имеющееся технологическое оборудование, но и применить более мобильную программу экспериментальной отработки для повышения тяги и, особенно, удельного импульса. Предложение было принято, и двигатели получили вид, известный теперь всему миру.

Созданный при выполнении работ по теме Н-3 научно-технический задел позволил достаточно быстро вести работы по теме Т-1 и к февралю 1954 г. были определены и согласованы с непосредственными участниками работ ключевые этапы отработки будущей МБР, что послужило основанием для выпуска 20.05.54 г. Постанов-



Р-11ФМ

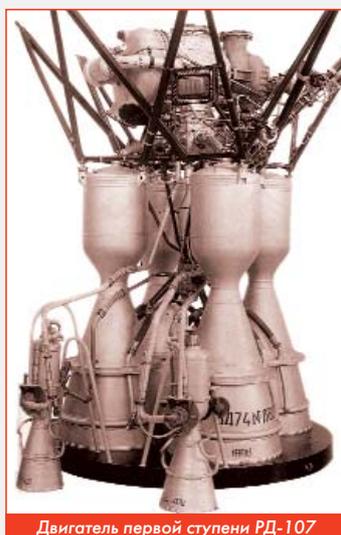
ления о разработке ракеты дальнего действия, получившей обозначение Р-7. Детализируя принятое решение о разработке Р-7, 26.06.54 г. вышло Постановление "О плане НИР по специальным изделиям", в котором излагалось содержание, порядок проведения и сроки выполнения работ по созданию ракеты Р-7.

Выполненные работы по теме Т-1 в июле 1954 г. были оформлены в виде эскизного проекта (ЭП) и представлены к защите. Экспертная комиссия во главе с академиком М.В. Келдышем рассмотрела ЭП, выдала ряд замечаний и при условии их устранения рекомендовала его к утверждению. 20 ноября 1954 г. эскизный проект ракеты Р-7 был одобрен СМ СССР.

Эскизный проект предусматривал выполнение большого объема работ. Помня о печальном опыте метода "лихой кавалерийской атаки" при попытке разработать ракету Р-3, на этот раз работы строились с использованием "наступления широким фронтом" - планировалось дополнительно к уже имеющимся результатам различных исследований проведение теоретических и экспериментальных работ по 27 научно-техническим направлениям, в которых принимают участие более сотни научных организаций и промышленных предприятий. Предусматривалось также изготовление на базе ракеты Р-5М двух экспериментальных ракет: Р-М5РД - для отработки различных ракетных систем и Р-5Р - для испытания системы радиоуправления. Все расчётные и экспериментальные исследования, включая пуски экспериментальных ракет, должны были завершиться до начала лётных испытаний Р-7.

Наиболее длительная и трудоёмкая из всех ракетных систем разработка двигателей, получивших обозначение РД-107 (первая ступень, тяга на земле 83 тс) и РД-108 (вторая ступень, тяга в пустоте 96 тс), началась уже в 1953 г., задолго до утверждения ЭП. Опыта создания таких двигателей не было, это была первая отечественная конструкция двигателей для ракеты дальнего действия и в неё вошли конструкторские решения как разработанные нашими специалистами в 30-х - 40-х годах, так и заимствованные из двигателя ракеты А-4. Отработка велась в последовательном выполнении этапов "от простого к сложному", начиная с автономной отработки конструкции отдельных агрегатов с последующей проверкой их функционирования и работоспособности в составе двигателя. При отработке работы двигателей на основном режиме пришлось изрядно потрудиться, чтобы обеспечить стабильные характеристики устойчивости. Надо отметить, что кислородно-керосиновое топливо весьма склонно к неустойчивому горению, особенно при высоких давлениях и больших поперечных размерах камер ЖРД. В связи с этим отработка устойчивого горения потребовала проведения многочисленных огневых испытаний, при этом отдельные экземпляры двигателей неоднократно подвергались испытаниям. Но это не было методикой отработки, для экономии количества используемой экспериментальной матчицы, некоторые двигатели, успешно прошедшие испытания, после визуального контроля их состояния и замены одноразовых элементов, повторно направлялись на испытания по изменённой программе пуска.

В те годы не использовали определение величины надёжности ракетных систем и ракет в целом в численном выражении, оперировали процентными показателями успешных пусков. Приводя статистику стендовых испытаний двигателей, особо отмечали количество двигателей, успешно прошедших неоднократные пуски. Следует особо подчеркнуть, что исключительно высокая как фактическая, так и расчётная надёжность двигателей РД-107 и РД-108, находящихся в эксплуатации более 55 лет и выведших в космос около 1800 экземпляров ракет



Двигатель первой ступени РД-107

типа Р-7, была заложена и обеспечена тщательной наземной отработкой при их стендовых автономных испытаниях и в составе ступеней ракеты. Эти испытания стали завершающим этапом наземной отработки. Вначале были проведены "холодные" испытания одиночных боковых и центрального блоков ракеты, при которых отработывалась заправка и подпитка баков жидким кислородом, определялись температурные режимы в баках, топливных магистралях для уточнения циклограммы запуска двигателей в составе ступени. Далее последовало проведение стендовых огневых испытаний одиночных блоков и всей ракеты в целом с целью проверки совместной работы на запуске и номинальном режиме маршевых двигателей и рулевых камер, определения вибрационных нагрузок на элементы конструкции, эффективности бортовой аппаратуры управления режимом работы двигателей. В период с августа по декабрь 1956 г. на стендовой базе вблизи Загорска (ныне Сергиев Посад) прошли испытания в составе ступеней 5 боковых и с декабря 1956 г. по январь 1957 г. 3 центральных двигательных блоков. Успешное их завершение позволяло перейти к намеченному программой наземной отработки проведению стендовых огневых испытаний всего "пакета" из пяти двигательных блоков. Эти испытания потенциально представляли большую опасность в связи с нахождением на стенде большого количества ракетного топлива. Таких испытаний нигде и никогда не проводилось. Состоялось специальное совещание главных конструкторов, на котором обсуждались результаты отработки всех ракетных систем с учётом проведённых лётных испытаний экспериментальных ракет: трёх пусков ракет Р-5Р в мае-июне 1956 г. и десяти пусков ракет Р-5РД в период с февраля по август 1956 г. На совещании было принято решение разрешить пуски "пакета" и они успешно прошли 20 февраля и 30 марта 1957 г. Путь к началу официальных лётных испытаний ракеты Р-7 был открыт. В моём представлении именно тогда, по итогам проведённого всего комплекса наземной отработки у Глушко сформировалась концепция, которую я услышал от него и записал в блокнот в середине 60-х годов: "В ракетной технике всё, что можно, должно быть отработано на земле".

В заключение этой части изложения отработки двигателей следует отметить, что для контроля правильности сборки и исключения попадания деталей с не выявленными контролем производственными дефектами приёмо-сдаточная методика предусматривала перед поставкой каждого двигателя в товар проведение огневого контрольно-технологического испытания (КТИ) с последующей заменой элементов одноразового использования. Пригодность партии двигателей проверялась и подтверждалась проведением ресурсного контрольно-выборочного испытания (КВИ).

Начало лётно-конструкторской отработки ракеты Р-7 было положено проведением 10 апреля 1957 г. первого заседания Государственной комиссии по проведению лётных испытаний во главе с председателем ВПК В.М. Рябиковым (состав комиссии утверждён СМ СССР 31 августа 1956 г.). Технический руководитель Госкомиссии С.П. Королёв доложил результаты отработки ракетных систем при наземных автономных стендовых испытаниях и при проведении пусков экспериментальных ракет Р-5Р и Р-5РД. Особое внимание докладчик обратил на положительные результаты стендовых огневых испытаний как единичных блоков, так и ракеты в целом. В докладе также были изложены цели и задачи предстоящей лётной отработки ракеты. По результатам доклада Королёва и выступлений главных конструкторов ракетных систем Госкомиссия приняла решение приступить к проведению лётных испытаний.

Лётные испытания ракет Р-7 начались в мае 1957 г. Пуск первой ракеты состоялся 15 мая и завершился аварийным отключением одного из боковых блоков из-за возникновения пожара на 98-й секунде полёта в хвостовой отсеке вследствие негерметичности в стыке одной из магистралей горючего. Хотя формально пуск был аварийный, но он позволил проверить правильность функционирования всех наземных и бортовых систем, подтвердил нормальную работу двигателей на запуске и номинальном режиме. Королёв оптимистически оценил результаты первого пуска новой ракеты: "Со старта ушла отлично. Ракета летать будет!".



Старт Р-7

Второй пуск, намеченный на 11 июня, не состоялся из-за выявленного уже на стартовом сооружении производственного дефекта в двигателе центрального блока.

Третий пуск был произведен 12 июля, на 33-й секунде полета произошло аварийное отключение из-за потери управляемости ракеты.

Стартовавшая 21 августа четвертая ракета Р-7 успешно выполнила полетное задание - достигла заданного района падения на Камчатке, однако головная часть разрушилась при входе в плотные слои атмосферы. Такой результат сочли за техническую частность, главное - полет состоялся.

Об этом событии 27 августа 1957 г. было сделано достаточно подробное официальное сообщение ТАСС, напечатанное во всех крупных газетах СССР. Приведем из этого сообщения главную информацию: *"На днях осуществлен запуск сверхдальней, межконтинентальной, многоступенчатой баллистической ракеты. Испытания прошли успешно. Пройдя в короткое время огромное расстояние, ракета попала в заданный район."*

*Полученные результаты показывают, что имеется возможность пуска ракет в любой район земного шара. Решение проблемы создания межконтинентальных баллистических ракет позволит достигать удаленных районов, не прибегая к стратегической авиации, которая в настоящее время является уязвимой для современных средств противозушной обороны".*

Случилось так, что сообщение о выдающемся научно-техническом достижении СССР не получило общественного резонанса. Широкие слои населения практически не поняли значения этого события. А вот военно-политические круги США, для кого главным образом и предназначалось это сообщение, вначале отнеслись к нему с недоверием. Сочли, что это очередной политический трюк Хрущева, а еще больше потому, что уж очень не хотелось им, чтобы сообщение соответствовало действительности и у "Советов" появилось ядерное вооружение межконтинентальной дальности. В таком случае это был второй, еще более ощутимый удар по стратегии "холодной войны" - в 1949 г. США лишились монополии на обладание атомной бомбой и вот теперь, с появлением межконтинентальной ракеты, США навсегда потеряли свою географическую неуязвимость.

Следующий пуск ракеты Р-7 состоялся в том же конструкторском исполнении 7 сентября 1957 г. Результат этого пуска - полное повторение предыдущего: обе ступени ракеты отработали без замечаний, головная часть с макетом ядерного заряда опять разрушилась в плотных слоях атмосферы. Проявление одинакового дефекта при двух последовательно проведенных испытаниях нельзя было отнести к категории случайных. И хотя аварийная ситуация редко воспринимается в качестве положительного результата, в данном случае это был результат контрольной проверки работоспособности конструкции головной части в натурных условиях, имитировать которые при наземной отработке не представляется возможным. Собственно, именно для этого и проводятся летные испытания ракетных систем.

После четвертого пуска проведение летных испытаний было временно прервано. Полученные результаты требовали принятия решения по изменению конструкции головной части для обеспечения достижения ею земной поверхности. Для этого требовалось, во-первых, время, во-вторых, опять же время, время для разработки новой, более надежной конструкции, изготовления измененной головной части и последующей проверки её работоспособности при проведении летных испытаний. Это, казалось бы, рядовая пауза в реализации программы летной отработки боевых ракет, стала знаковой вехой в развитии мировой космонавтики.

Сложившаяся ситуация хорошо характеризуется народной мудростью: "Нет худа без добра". В данном случае "добром" стали поло-

жительные результаты работы обеих ступеней ракеты. В сложившейся обстановке Королёв предложил не пассивно ожидать изготовления новых головных частей, а использовать это время для запуска искусственного спутника Земли. За время же, необходимое для изготовления новых головных частей, промышленность восполнит изъяты из военной программы ракеты, что позволит вести дальнейшие летные испытания в соответствии с графиком, скорректированным после двух фактически неудачных пусков ракет Р-7 из-за разрушения головных частей. Такое рациональное использование вынужденной паузы в проведении летных испытаний существенно приблизит сроки выведения в околоземное космическое пространство рукотворного спутника Земли и гарантированно даст возможность обогнать рвущихся в космос "американцев" (любимое словечко Королёва).

Это предложение родилось не на пустом месте, ему предшествовала длительная и обстоятельная подготовительная работа. Существует общепринятое мнение, что "американцы умеют считать деньги". У нас же в ту пору в условиях послевоенного восстановления разрушенного народного хозяйства энтузиастам космических полетов для реализации их сокровенных планов считать вообще было нечего. Однако государственная программа создания боевых ракет дальнего действия создавала возможность использовать эти ракеты и в научных целях.

Став главным конструктором первой в СССР ракеты дальнего действия, С.П. Королёв не мог пройти мимо возможности создания на её базе геофизической ракеты для запуска научной аппаратуры в верхние слои атмосферы. Вместе с ростом дальности полета и увеличением массы головной части боевых ракет соответственно увеличивалась высота и масса забрасываемых геофизическими ракетами полезных нагрузок. Так с появлением первых же боевых ракет дальнего действия нашёл практическое применение принцип конверсии военной техники, хотя в то время этот термин не использовался.

Каждый тип боевой ракеты, разрабатываемый под руководством Королёва, вначале в отделе № 3 СКБ НИИ-88, а затем в ОКБ-1, имел свой научно-технический аналог. Работы по запуску геофизических ракет координировались специально созданной комиссией под председательством Президента АН СССР С.И. Вавилова.

В соответствии с Постановлением СМ СССР от 30 декабря 1949 г. на базе ракеты Р-1 были разработаны геофизические ракеты Р-1А, Р-1В, Р-1Д и Р-1Е. Эти ракеты находились в эксплуатации с мая 1950 г. до июня 1956 г. и использовались для изучения параметров верхних слоев атмосферы, а также для запуска подопытных животных. Так, 22.07.51 г. впервые на ракете Р-1В состоялся успешный полет с возвращением на землю в специальном герметичном контейнере двух собак - Дезика и Цыгана.



Капустин Яр. 1951 г.

Геофизические ракеты Р-2А обеспечивали подъем на высоту до 210 км контейнера с научной аппаратурой массой более 260 кг. В период с 1957 по 1960 гг. было пущено 13 ракет Р-2А, 11 запусков прошли успешно. Пуски этих ракет проводились в соответствии с программой научных исследований в интересах АН СССР.

Создание геофизических ракет на базе боевых было продолжено и после разработки ракеты Р-5. Таких ракет было создано три разновидности: Р-5А, Р-5Б и Р-5В. В процессе пусков этих ракет проводились научные исследования в атмосфере и ближайшем околоземном космическом пространстве. При пуске одной из ракет Р-5А, который состоялся 21.02.58 г., был установлен мировой рекорд высоты подъема для многоступенчатых ракет - достигнута высота 473 км с полезной нагрузкой 1520 кг, при этом 1350 кг было возвращено на землю. Выбранная система спасения груза на парашюте впоследствии широко использовалась в отечественной космической технике.

Не маловажно отметить, что в процессе пусков геофизических ракет параллельно с проведением научных исследований отрабо-

тывалась конструкция отдельных фрагментов различных ракетных систем в плане дальнейшего их использования в космических носителях и аппаратах. Но это были ещё дальние подступы к созданию как самой космической ракеты, так и искусственного спутника Земли, в начале беспилотного, а затем пилотируемого, с возвращением космонавтов на землю. Эта практическая часть работы выполнялась под руководством С.П. Королёва с участием ряда главных конструкторов ракетных систем.

Решением теоретических вопросов космического полёта в эти годы занимался ряд энтузиастов космической техники, наибольший же вклад в решение научно-практических вопросов создания и полёта искусственного спутника Земли внёс М.К. Тихонравов, поэтому сосредоточим внимание на его работах. Он с первых лет отечественного промышленного ракетостроения занимался проектно-теоретическим обоснованием возможности использовать уже имеющуюся ракетную технику для осуществления полёта в космическое пространство. В конце 1945 г. Тихонравов вместе с группой научных работников НИИ-1 (бывшие сотрудники РНИИ - НИИ-3) предлагает использовать немецкую ракету А-4 для запуска 2-х человек на высоту до 200 км. Проект получил наименование ВР-190. Для разработки реального технического проекта группу авторов этой идеи во главе с Тихонравовым в 1946 г. перевели из НИИ-1 в НИИ-4 Академии артиллерийских наук (ААН). Однако выполнить этот проект не удалось, и Тихонравов в 1947 г увлёкся идеей создания составных ракет. Работая в этом направлении, он генерирует идею создания проекта "связки" ракет, вошедшего в историю отечественной ракетной техники под наименованием "ракетный пакет Тихонравова". В техническом отношении "ракетный пакет" представлял собой компоновку из нескольких одинаковых жидкостных ракет, уже находящихся в эксплуатации. В пакете ракеты расположены параллельно и имеют между собой механические и гидравлические связи. На старте все двигатели пакета ракет запускаются одновременно, их питание топливом осуществляется из баков одной ракеты. В полёте, после израсходования топлива эта ракета отбрасывается в сторону, двигатели остальных ракет продолжают получать топливо из баков второй ракеты. И так далее, пока не останется одна ракета, которая и доставит груз в расчётную точку.



М.К. Тихонравов и С.П. Королёв

Учитывая место работы Тихонравова - НИИ-4 ААН, а также тематическую направленность работ института на создание ракетного вооружения, идея проекта "ракетного пакета" была изложена Тихонравовым в феврале 1948 г. на НТС НИИ-4 в докладе, озаглавленном "Пути повышения предельной дальности стрельбы баллистическими ракетами дальнего действия на жидком топливе". Участники НТС весьма скептически восприняли идею пакета, большие сомнения вызвала возможность технического выполнения гидравлической связи нескольких ракет. Тем не менее, начальник НИИ-4 генерал А.И. Нестеренко убедил президента ААН академика А.А. Благонравова включить доклад Тихонравова в повестку очередной сессии академии.

На сессии ААН, состоявшейся в июле 1948 г., Тихонравов сделал доклад о применении ракетного пакета, несколько изменив первоначальное название: "Пути осуществления больших дальностей стрельбы ракетами". Доминантой доклада было утверждение, что предлагаемая по пакетной схеме компоновка ракет позволяет уже в настоящее время обеспечить достижения практически любой дальности полёта. На сессии ААН присутствовали, в основном, профессиональные артиллеристы, у которых содержание и выводы доклада не вызвали большого интереса, чего нельзя сказать об участвующих в работе сессии членах Академии артиллерийских наук



С.П. Королёв и Ю.А. Победоносцев

С.П. Королёву и Ю.А. Победоносцеву. После окончания сессии Королёв подробно ознакомился с результатами исследований группы Тихонравова и в 1949 г. направил в НИИ-4 техническое задание на выполнение договорной работы "Исследование возможностей и целесообразности создания ракет дальнего действия типа "пакет". Параллельно Королёв заключил договор на выполнение исследовательской работы "Баллистические возможности составных ракет" с институтом математики им. В.А. Стеклова. Выполнение этой работы в институте было поручено группе сотрудников во главе с академиком М.В. Келдышем.

Первые результаты исследований, полученные в ходе выполнения договорной работы с НИИ-4, были изложены в докладе "Ракетные пакеты и перспективы их развития", сделанном Тихонравовым в марте 1950 г. на научно-технической конференции НИИ-4. Сроки проведения конференции совпали с работой комиссии инспекции Минобороны, проверяющей научно-техническую деятельность НИИ-4. Комиссию возглавлял генерал П.П. Чечулин, в её состав входили С.П. Королёв и В.П. Мишин. Из доклада Тихонравова следовало, что применение пакетной схемы с использованием уже имеющихся в СССР боевых ракет обеспечивается не только межконтинентальная дальность полёта, но и выведение на околоземную космическую орбиту рукотворного спутника Земли, включая пилотируемый вариант.

Неожиданно для авторов доклада его выводы вызвали резкую критику со стороны ряда членов НТС НИИ-4. Их выступления носили саркастический характер, высказывалось прямое недоверие, Тихонравова и членов его группы называли наивными прожектерами, а их деятельность - ненаучной фантастикой. Были и более "крепкие" эпитеты. Общий тон критическому отношению к работе группы Тихонравова задавал председатель проверяющей комиссии генерал Чечулин. Главным объектом его критики явились исследования в области запуска искусственного спутника Земли как не только несвоевременные, но и ненужные, так как отвлекают от работ по основному направлению тематики НИИ-4 - созданию ракетного вооружения дальнего действия. Это было не только частное мнение одного человека, в выступлении генерала Чечулина была озвучена позиция большинства начальствующего состава Вооружённых Сил. Так практически на начальном этапе развития ракетостроения проявился философский закон единства и борьбы противоположностей.



П.П. Чечулин

Присутствующие на конференции в качестве членов комиссии Королёв и Мишин промолчали. В обстановке общей критики космической части доклада Королёв не счёл возможным вмешиваться во внутренние дела института из другого министерства, а Мишин, как выяснилось позднее, был противником проведения работ по созданию искусственного спутника Земли.

Критика результатов работы группы Тихонравова имела серьёзные последствия. Дальнейшее проведение работ по искусствен-

ному спутнику Земли в НИИ-4 было запрещено, Тихонравова сместили с должности заместителя начальника института и назначили консультантом, через некоторое время начальник НИИ-4 генерал А.И. Нестеренко был переведён на другое место службы, начальником института назначили генерала П.П. Чечулина.

Однако работы в НИИ-4 по договору с ОКБ-1 продолжались, от конструктивно сложной схемы полёта с гидравлической связью отказались, "связка" ракет с механическим соединением получила название "простейший пакет". К такому же виду компоновки ракет пришла и группа под руководством Келдыша в Институте математики. Постепенно от идеи "связки" уже существующих ракет перешли к исследованиям создания многоступенчатых ракет с продольным (типа "пакет") или поперечным (танDEM) разделением ступеней. Несмотря на запрет, члены бывшей группы Тихонравова в инициативном порядке, без включения в план и официального информирования своего непосредственного начальства, продолжали работать по проблеме запуска искусственного спутника Земли.

В 1953 г. Тихонравов провёл сравнительный анализ возможностей запуска искусственных спутников Земли в СССР и США. Результаты анализа для наглядности оформил в виде двух альбомов, в которых убедительно показывал, что обе конкурирующие страны в ближайшие годы имеют возможность осуществить эту космическую операцию. Быть ли СССР первым - зависит от интенсивности работ в этом направлении. Эти альбомы Тихонравов демонстрировал руководителям различных государственных структур и командованию Вооружённых Сил СССР. В результате такой наглядной агитации начальство НИИ-4 (генералы А.И. Соколов и Г.А. Тюлин) в начале 1956 г. приняли решение включить в тематический план института НИР № 72 *"Исследования по вопросу создания искусственного спутника Земли"*. Руководителем назначили Тихонравова. В процессе выполнения темы планировалось определить и исследовать проблемы при создании спутника и наметить пути их решения. Работы по теме завершились выпуском *"Предложений о возможности и необходимости создания искусственного спутника Земли"*, с которыми ознакомился и одобрил Королёв. По его предложению Тихонравов подготовил докладную записку *"Об искусственных спутниках Земли"* для представления её в Правительство СССР. Содержание этой записки можно охарактеризовать цитированием основной мысли: "ИСЗ есть неизбежный этап на пути развития ракетной техники, после которого станут возможными межпланетные сообщения".

Докладная записка после согласования её содержания в ОКБ-1 и рассмотрения на Президиуме АН СССР в мае 1954 г. была направлена Королёвым в Оборонный отдел ЦК партии и министру оборонной промышленности Д.Ф. Устинову. В сопроводительном письме Королёв предлагает развернуть научные исследования *"для проведения первых поисковых работ по спутнику и более детальной разработки комплекса вопросов, связанных с этой проблемой"*. Поддержки от партийных и государственных структур Королёв не получил, сочли, что работы по созданию спутника не своевременны, т.к. будут отвлекать от решения главной задачи - создания боевой межконтинентальной ракеты.

Оценив отказ как недопонимание международного значения приоритета запуска спутника, Королёв 16 июня 1955 г. направляет в те же адреса новую докладную записку, в которой среди ряда доводов в пользу необходимости ускорения работ, связанных с запуском спутника, приводит такой: *"Создание искусственного спутника Земли будет иметь огромное политическое значение как свидетельство высокого уровня развития нашей техники"*. И снова "недопонимание".

Для Королёва было характерно добиваться принятия "пробиваемого" им решения методом "штурма". Поскольку в данном случае все его, казалось бы, хорошо аргументированные попытки превратить в реальность многовековую мечту выведения в космос рукотворного аппарата разбивались о неверие в возможность совершения такого "чуда" в ближайшие 2-3 года, Королёв решил изменить свою тактику и перейти к "осаде". Посчитав, что его предложения не принимаются всерьёз не только из-за непонимания их значимости,

но и из-за недостаточного авторитета в высших партийных и государственных кругах предлагающего, т.е. самого Королёва (напомним, что к середине 1955 г. на вооружении Советской Армии имелись разработанные Королёвым ракеты Р-1 и Р-2, которые по оценкам военных практически не изменили соотношения боевого потенциала Вооружённых Сил СССР и противостоящих им войскам НАТО. А Золотую звезду Героя Социалистического труда за создание ракеты стратегического назначения Р-5М Королёв получил позднее излагаемых событий, 20 апреля 1956 г.). Недостаток своего личного авторитета Королёв решил усилить авторитетом АН СССР. На призыв Королёва к членам академии подключиться к разработке программ научных исследований с помощью искусственного спутника Земли (ИСЗ) первым откликнулся М.В. Келдыш, уже знакомый Королёву по работам над "ракетным пакетом".

Обращение Королёва к академиком и отклик Келдыша сыграли решающую роль в развитии последующих событий. Келдыш полностью разделял позиции Королёва о необходимости ускорения работ по запуску ИСЗ и поддержал его предложение подключить академическую науку к решению этой проблемы. Он хорошо ориентировался в академической среде, и это помогло ему в период с декабря 1955 г. по март 1956 г. путём личных встреч, проведения совещаний и выступлений на конференциях заинтересовать видных учёных в проведении космических исследований. Келдыш сумел убедительно показать, насколько расширяется возможность научных исследований при выводе приборов и аппаратуры в космическое пространство, за пределы земной атмосферы. Активная поддержка запуска ИСЗ видными академиками стала одним из решающих положительных факторов.

Следует заметить, что заинтересованность академической науки в запуске ИСЗ несколько сместило акценты доводов в предложениях Королёва. Если он концентрировал внимание руководителей страны на международной демонстрации достижений советской науки и техники, способствующих созданию космической ракеты и обеспечивающим этим для страны приоритет в выходе в космос и обещающих дальнейшее развитие космонавтики, не приводя получения при этом конкретных военных, научных и экономических дивидендов уже в ближайшее время, то академики показывали, какие уникальные результаты научных исследований, проведение которых невозможно в земных условиях, могут быть получены от приборов, вынесенных в космическое пространство и как это продвинет советскую фундаментальную науку. Такие аргументы, приводимые выдающимися советскими учёными, не могли остаться без внимания.

30 января 1956 г. было принято правительственное Постановление № 149-88, которым предусматривалось создание в 1957-1958 гг. и выведение на околоземную орбиту ИСЗ (объект Д) массой 1000...1400 кг с аппаратурой для научных исследований массой 200...300 кг. В Постановлении были определены и ответственные за его реализацию: научное руководство и обеспечение аппаратурой - АН СССР, решение всех технических вопросов - соответствующие промышленные министерства СССР, проведение пусков - Минобороны СССР.

Ведущая роль Келдыша в продвижении решения о запуске ИСЗ получила соответствующую оценку, его назначили руководителем Научно-технического Совета по координации деятельности НИИ и КБ по созданию первого ИСЗ. Келдыш приобрёл широкую известность и авторитет как в академических кругах, так и в высших партийно-государственных структурах и в 1960 г. его избрали вице-президентом, а в 1961 г., после полёта Ю.А. Гагарина, - Президентом АН СССР.

Получив в январе 1956 г. столь долгожданное правительственное решение, ОКБ-1 приступило к разработке эскизного проекта "объекта Д" и к концу 1956 г. успешно завершило эту работу. В сентябре 1956 г. эскизный проект был рассмотрен Спецкомитетом при Совмине СССР. Но не все участники работ по Постановлению от 30 января 1956 г. работали столь же активно и успешно. К концу года стало ясно, что назначенные сроки разработки и изготовления научно-исследовательской аппаратуры срываются и к указанному в Постановлении сроку до начала Геофизического года в июле

1957 г. - вывести на орбиту спутник с научной аппаратурой не удастся.

Свою обеспокоенность срывом намеченных сроков запуска ИСЗ и необходимость проведения дополнительных мероприятий для успешного запуска Королёв изложил в докладной записке, направленной в начале 1957 г. правительству СССР: "Предложения о первых запусках искусственных спутников Земли до начала Международного геофизического года".

Приведём некоторые фрагменты из этой записки: "Согласно решению от 30 января 1956 г. на базе межконтинентальной ракеты разрабатывается ракета-носитель искусственного спутника Земли с весом контейнера спутника около 1200 кг, куда входит большое количество разнообразной аппаратуры для научных исследований, подопытные животные и т.д.

Первый запуск этого спутника установлен в 1957 г. и, учитывая большую сложность в создании и отработке аппаратуры для научных исследований, может быть произведён в конце 1957 г.

Вместе с тем в США ведётся интенсивная подготовка к запуску искусственного спутника. В сентябре 1956 г. США сделали попытку запустить на базе Патрик, штат Флорида, трёхступенчатую ракету и на ней спутник, сохраняя это в секрете.

Американцам не удалось запустить спутник [...]

По отдельным сведениям, имеющимся в печати, США готовятся в ближайшие месяцы к новым попыткам запуска искусственного спутника Земли, желая, очевидно, любой ценой добиться приоритета". Далее в докладной записке выражалась просьба поручить промышленным министерствам с участием АН СССР подготовить две ракеты, пригодных для запуска спутника, организовать авторитетную Координационную межведомственную комиссию для руководства всеми работами по запуску спутников в СССР, провести необходимые мероприятия для создания на территории СССР системы наблюдения за полётами искусственных спутников Земли.

Учитывая объективные обстоятельства с задержкой изготовления приборов, правительство было вынуждено установить новый срок запуска "объекта Д" - апрель 1958 г. Перенос срока позволял создать необходимое научное оборудование и изготовить "объект Д", но одновременно создавалась возможность для наших американских конкурентов первыми в истории человечества вывести на космическую орбиту рукотворный спутник Земли или, как его называли американцы - сателлит. С таким положением дел Королёв не мог согласиться и он внёс предложение вместо запаздывавшего по срокам изготовления "объекта Д" в авральном режиме работы создать спутник простейшей конструкции, имеющий на борту только коротковолновый радиопередатчик и блок его электропитания. В этом случае такой простейший спутник, (получивший в дальнейшем наименование ПС) может быть изготовлен и его запуск осуществлён в намеченные ранее сроки - апрель 1957 г. Это предложение было одобрено и 15 февраля 1957 г. вышло Постановление "О мероприятиях по проведению Международного геофизического года", которым предусматривался запуск "ПС" после двух успешных пусков Р-7.

Политический лидер страны, а именно к нему в конечном итоге попало предложение Королёва, на тот момент не пони-

мал исторического значения приоритета запуска спутника и индифферентно прореагировал на предложение ускорить проведение этого пуска. Хорошо ещё, что не отказал! Н.С. Хрущёв не возражал против проведения "рокировки" двух ракет, но своё согласие оговорил получением согласия военных. Военные, хотя и отрицательно относились к "причудам" Королёва, Келдыша и других главных конструкторов и учёных, но в данной ситуации, получив твёрдое заверение не нарушить график проведения лётных испытаний, возражать не стали. Так, при полном безразличии военно-политической верхушки страны к работам в области космической техники, произошло историческое событие, разделившее историю человеческого общества на две части - до и после запуска рукотворного спутника Земли, а день 4 октября 1957 г. стал исторической вехой для начала отсчёта космической эры в жизни человечества.

Об этом историческом событии мировая общественность узнала из "Сообщения ТАСС о запуске первого искусственного спутника Земли" от 5 октября 1957 г. Текст "Сообщения ТАСС..." насыщен многочисленными техническими сведениями о конструкции спутника, параметрах траектории его полёта, а также множеством другой научно-технической информации. Чувствуется, что к составлению текста приложили руку специалисты ОКБ-1 и НИИ-88. Но не в идеологическом же отделе ЦК составлять такой документ, хотя не обошлось и без участия специалистов этого отдела. Поскольку "Сообщение ТАСС..." довольно объёмное, приведём из него несколько фрагментов, содержащих историческую информацию для широких слоёв населения: "В течение ряда лет в Советском Союзе ведутся научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по созданию искусственного спутника Земли. Как уже сообщалось в печати, первые пуски спутников в СССР были намечены к осуществлению в соответствии с программой научных исследований Международного геофизического года.

В результате большой напряжённой работы научно-исследовательских институтов и конструкторских бюро создан первый в мире искусственный спутник Земли. 4 октября 1957 г. в СССР произведён его успешный запуск.

[...] Успешным запуском первого созданного человеком спутника Земли вносится крупнейший вклад в сокровищницу мировой науки и культуры. Научный эксперимент, осуществляемый на такой

<p>Сымянское восстание на Тамбовщине (2 стр.).</p> <p>И. Новиков.— Кременчугскую ГЭС построить досрочно (2 стр.).</p>	<p>ООН. Ассамблея должна осудить политику «с позиции силы» (4 стр.).</p> <p>Выступление президента Сирии Шукри Куатли (4 стр.).</p>
<p><b>СС</b></p> <p><b>Сообщение ТАСС</b></p> <p>В течение ряда лет в Советском Союзе ведутся научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по созданию искусственных спутников Земли.</p> <p>Как уже сообщалось в печати, первые пуски спутников в СССР были намечены к осуществлению в соответствии с программой научных исследований Международного геофизического года.</p> <p>В результате большой напряжённой работы научно-исследовательских институтов и конструкторских бюро создан первый в мире искусственный спутник Земли. 4 октября 1957 года в СССР произведён успешный запуск первого спутника. По предварительным данным, ракета-носитель сообщила спутнику необходимую орбитальную скорость около 8.000 метров в секунду. В настоящее время спутник описывает эллиптические траектории вокруг Земли и его полет можно наблюдать в лучах восходящего и заходящего Солнца при помощи простейших оптических инструментов (биноклей, подзорных труб и т. п.).</p> <p>Согласно расчетам, которые сейчас уточняются прямыми наблюдениями, спутник будет двигаться на высотах до 900 километров над поверхностью Земли; время одного полного оборота спутника будет 1 час 35 минут, угол наклона орбиты к плоскости экватора равен 65°. Над районом города Москвы 5 октября 1957 года спутник пройдёт дважды — в 1 час 46 мин. ночи и в 6 час. 42 мин. утра по московскому времени. Сообщения о последующем движении первого искусственного спутника, запущенного в СССР 4 октября, будут передаваться регулярно широкоэвещательными радиостанциями.</p> <p>Спутник имеет форму шара диаметром 58 см и весом 83,6 кг. На нем установлены два радиопередатчика, непрерывно излучающие радиосигналы с частотой</p>	

большой высоте, имеет громадное значение для познания свойств космического пространства и изучения Земли как планеты нашей Солнечной системы.

В течение Международного геофизического года Советский Союз предполагает осуществить пуски ещё нескольких искусственных спутников Земли. Эти последующие спутники будут иметь увеличенные габариты и вес, и на них будет проведена широкая программа научных исследований.

Искусственные спутники Земли проложат дорогу к межпланетным путешествиям и, по-видимому, нашим современникам суждено быть свидетелями того, как освобождённый и сознательный труд людей нового, социалистического общества, делает реальностью самые дерзновенные мечты человечества".

Сухой деловой тон "Сообщения ТАСС..." лучше всего характеризует первую реакцию руководства страны на это эпохальное событие. Да и у самих творцов космической ракеты и спутника "ПС" в первые часы после запуска среди нахлынувших на них чувств доминировало чувство удовлетворения за успешное завершение столь долгожданного события. И только последовавший после "Сообщения ТАСС..." шквал восторженных отзывов в мировой прессе позволил виновникам торжества осознать грандиозность свершённого ими исторического научно-технического подвига. Нет возможности цитировать эти восторженные оценки, но две из них всё-таки необходимо привести. Председатель американского Национального комитета по проведению Международного геофизического года Дж. Каплан так откликнулся на запуск первого спутника: "Я поражён тем, что им удалось сделать за такой короткий срок, какой они имели в своём распоряжении, который нисколько не больше срока, имевшегося в нашем распоряжении". Не обошлось и без "ложки дётя". Некоторые средства информации, недружественно настроенные к СССР и старавшиеся принизить значимость успеха советской науки и техники, разыгрывали "немецкий мотив": советскую космическую ракету создали немецкие специалисты, вывезенные в СССР в конце 1946 г. В ответ на эту инсинуацию приведу цитату из статьи, опубликованной в авторитетном "Тайме": "Запуск спутника является заслугой советской науки. Хотя после второй мировой войны немецкие специалисты были вывезены в СССР и США, большинство из них из СССР возвращено, а оставшиеся занимаются преподавательской деятельностью. Уровень ракетной техники в СССР существенно превысил уровень, достигнутый в Германии в период войны. Русские теперь идут своим путём".

Была и ещё одна реакция на запуск ИСЗ, которая хотя и не получила широкой известности, но не упомянуть о ней было бы неправильно. Имеется ввиду реакция американских военно-политических кругов на доносящиеся из космоса сигналы "бип-бип-бип...". Они однозначно подтвердили, что августовское сообщение ТАСС об успешном пуске межконтинентальной баллистической ракеты не политический блеф, а реальность. И, используя политическую терминологию советских СМИ того времени, американским "поджигателям войны" и "пентагоновским ястребам" в своих военных планах придётся считаться с советским "оружием возмездия".

Неожиданный обвал восторженных откликов на запуск спутника заставил Н.С. Хрущёва и других руководителей государства изменить своё отношение к развитию космической техники. Политик и хозяйственник по занимаемой в государстве должности, Хрущёв может быть так и не понял всей научно-технической значимости создания и выведения на орбиту Земли спутника, но в этом событии он увидел возможность пропагандировать советский государственный строй и социалистическую форму ведения хозяйства. Это обстоятельство развернуло ситуацию на 180 градусов: 10 октября 1957 г. теперь уже Хрущёв предложил Королёву срочно готовить запуск второго спутника и приурочить его к празднику 40-й годовщины Октябрьской революции в качестве праздничного подарка советскому народу. Так установившаяся традиция делать "трудовые подарки" к государственным праздникам проникла и в ракетостроительную область, что потом не раз вызывала неоправданную спешку и создавала аварийные ситуации.

Ошеломительный успех запуска первого ИСЗ высоко поднял

планку к запускам последующих спутников. Теперь каждый спутник, начиная со второго, должен был решать какую-нибудь новую научную или техническую задачу.

Учитывая короткое время для подготовки к полёту второго спутника, приняли решение использовать имеющийся опыт запуска животных (собак) при вертикальных полётах ракет типа Р-1В и им подобных.

Так 3 ноября 1957 г. был запущен "биологический" спутник, в герметичном контейнере которого находилась, получившая после этого полёта всемирную известность собака Лайка. Следующим, третьим спутником стал запущенный 15 мая 1958 г. "объект Д" массой 1327 кг, который должен был быть первым спутником, но задержка его изготовления отодвинула пуск более чем на полгода.

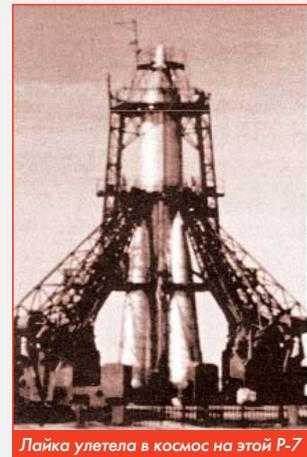
Запуски ИСЗ явились первым шагом в освоении космоса, для выхода за пределы околоземного космического пространства требовалось достижение второй космической скорости - 11,2 км/с. Для этого нужно было на двухступенчатую ракету Р-7 в варианте "Спутник" установить третью разгонную ступень.

20 марта 1958 г. вышло правительственное Постановление о разработке третьей ступени (блока Е). Выпущенный эскизный проект предусматривал создание кислородно-керосинового ЖРД тягой 5 тс, причём его разработка велась в кооперации: ОКБ-154 (главный конструктор С.А. Косберг) разрабатывало ТНА и агрегаты автоматики, а ОКБ-1 (руководитель двигательного отделения М.В. Мельников) - камеру сгорания. Наземная отработка блока Е была проведена в рекордно короткий срок и два пуска трёхступенчатой ракеты состоялись 23 сентября и 12 октября 1958 г. Оба окончились авариями из-за возникновения продольных низкочастотных колебаний давления в магистралях подачи топлива в двигатели первой и второй ступени. Для устранения этого дефекта впервые в мировой практике ракетостроения в топливную магистраль установили гидравлический демпфер продольных колебаний давления.

Первый успешный пуск трёхступенчатой ракеты состоялся 2 января 1959 г. с целью доставки космического аппарата "Луна-1" на поверхность Луны. Но на Луну он не попал, а стал спутником Солнца из-за ошибки в расчёте траектории его полёта. Последующие пуски были также посвящены изучению Луны: запущенный 14 сентября 1959 г. космический аппарат "Луна-2" достиг поверхности Луны, а аппарат "Луна-3", запущенный 4 октября 1959 г., осуществил фотографирование и передачу на Землю изображения обратной, невидимой с Земли, стороны Луны.

Создание трёхступенчатой ракеты обеспечивало не только выход в дальний космос, но и увеличивало массу выводимой на околоземную орбиту полезной нагрузки с 1400 до 4700 кг, а этого было достаточно для практического решения полёта человека в космос. И такая цель была указана в Постановлении от 22 мая 1959 г., которым поручалось разработать космический корабль-спутник. Этот документ стал основополагающим в ряду последующих Постановлений.

10 декабря 1959 г. вышло правительственное Постановление "О развитии исследования космического пространства", в котором перед научными организациями и промышленными предприятиями были поставлены задачи по осуществлению полётов человека в космическое пространство. Последующим Постановлением от 4 июня 1960 г. "О плане освоения космического пространства" предписывалось с мая по декабрь 1960 г. провести отработку бортовой аппаратуры и систем жизнеобеспечения корабля-спутника. С некото-



Лайка улетела в космос на этой Р-7



С.А. Косберг

рым опережением выхода этого Постановления 15 мая 1960 г. состоялся первый запуск корабля-спутника. Об этом мировая общественность была проинформирована соответствующим сообщением ТАСС. Ниже приводятся несколько фрагментов из этого сообщения: "В течение последних лет в Советском Союзе проводятся научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по подготовке полета человека в космос."

[...] На орбиту спутника Земли 5 мая 1960 г. в СССР осуществлён запуск космического корабля-спутника. [...] Запуск предназначен для отработки и проверки систем корабля-спутника, обеспечивающих его безопасный полёт и управление полётом, возвращение на Землю и необходимые условия для человека в полёте. Этим пуском положено начало сложной работы по созданию надёжных космических кораблей, обеспечивающих безопасный полёт человека в космосе.

[...] Отработка первых данных, полученных с корабля-спутника показала, что установленная на нём аппаратура работает нормально. Наземные станции ведут регулярные наблюдения за кораблём-спутником".

В рамках этой программы с целью проверки надёжности спуска с орбиты в августе 1960 г. были запущены и успешно возвращены на Землю собаки Белка и Стрелка. В этот период были проведены и другие пуски, не все они были удачными, тем не менее, 11 октября 1960 г. вышло Постановление, в котором предписывалось провести подготовку и запуск в декабре 1960 г. космического корабля "Восток" с человеком на борту. Отдавая должное значимости этого пуска, в Постановлении указывалось: "Считать запуск корабля-спутника с человеком на борту задачей особого значения". Однако эту дату пришлось перенести на более поздний срок, т.к. не все предшествующие этому событию пуски ракет были успешными. В марте 1961 г. Госкомиссия под председательством К.Н. Руднева приняла решение о возможности полёта человека в космос на корабле-спутнике "Восток", а 3 апреля вышло Постановление "О запуске космического корабля-спутника с космонавтом на борту".

12 апреля 1961 г. состоялся второй триумф советской науки и техники. Череда успешных запусков советских, а затем и американских спутников постепенно притупила остроту восприятия этих событий как уникальных научно-технических достижений. Запуск на орбиту, полёт в невесомости вокруг земного шара и последующее благополучное возвращение космонавта Ю.А. Гагарина на Землю вновь привели в восторг человеческое общество. И если после запуска первого спутника были попытки принизить научно-технический

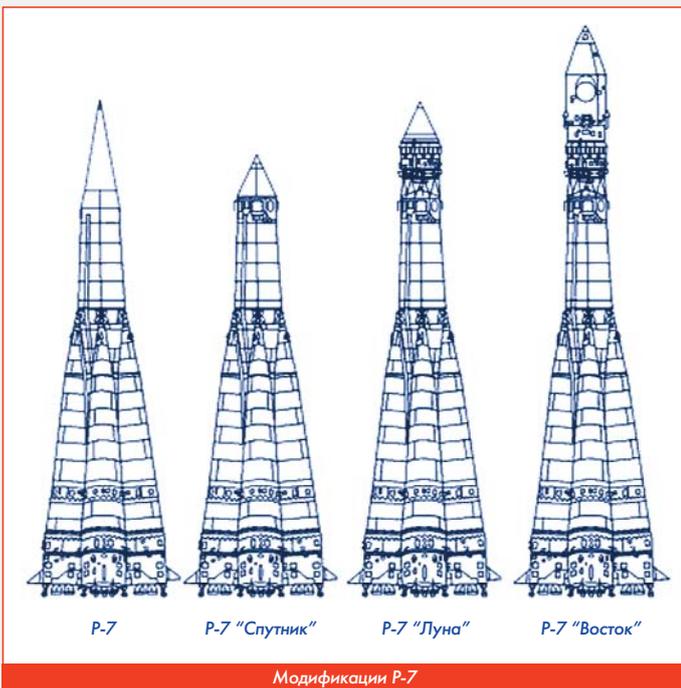


успех Советского Союза, в оценках полёта Гагарина такого не наблюдалось. Более того, в адрес Н.С. Хрущёва направили свои поздравления многие главы государств, среди них президент Франции Ш. де Голль, премьер-министр Великобритании Г. Макмиллан и президент США Д. Кеннеди. Высоко оценили новое достижение СССР в освоении космоса и зарубежные СМИ. Журнал "Таймс" писал: "Честь и хвала русским. Они, подобно мореплавателям-открывателям новых земель XV века, разбудили воображение. Теперь за полётами в космос, бесспорно, последует изучение этого нового мира". А газета "Нью-стейтсмен" так откликнулась на полёт Гагарина: "Успешное осуществление Россией орбитального полёта человека, и ещё в большей степени факт возвращения его на Землю, служит мрачным напоминанием о том, что во всей области космической техники Россия по-прежнему идёт далеко впереди Запада. Единственная американская ракета, которую можно было бы сравнить с русскими ракетами - многоступенчатый "Сатурн" - всё ещё находится в начальной экспериментальной стадии".

Приведённая цитата указывает на одну из сторон соперничества двух сверхдержав того времени. США, многие годы являющиеся общепризнанным мировым научно-техническим лидером, получили ощутимый удар по своему авторитету в одной из наиболее наукоёмких технических областей - космонавтике. И чтобы вернуть себе безусловное лидерство, США должны были дать такой ответ, который получил бы неоспоримо высокую оценку в истории космонавтики.

И такой ответ был найден. Но прежде, чем изложить об этом событии, целесообразно, как и у СССР, рассмотреть историю развития космонавтики в США.

(Продолжение следует.)





# ЛЕДОКОЛЫ РОССИИ

## ОСВОЕНИЕ ПРОСТОРОВ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ

**Виктор Сергеевич Шитарёв,**  
капитан дальнего плавания

Когда заходит разговор об Арктике, невольно приходит на ум высказывание М.В. Ломоносова: "Могущество России Сибирью прирастать будет". Уже в те далекие годы он предвидел огромное значение бескрайних сибирских просторов для нашего народа и Государства Российского. Но освоение Сибири невозможно без широкого использования транспорта. В решении транспортных проблем в Сибири Советский Союз всегда вкладывал огромные усилия. При этом нельзя отдавать предпочтение какому-то одному виду транспорта. Работы хватит всем.

Уже открыто сквозное движение поездов по "магистрале века" БАМ. Надёжно служит покорителям бескрайних просторов российской Арктики авиация - самолёты и вертолёты, найдётся работа и для дирижаблей. Не остаётся без дела и автотранспорт - автомобили и вездеходы. Но видимо и сегодня ещё существуют места, где окажется, что как поётся "...а олени лучше...". Короче, каждому виду транспорта надо определить круг задач, в решении которых этот вид транспорта окажется наиболее эффективен. Всегда интенсивно работал речной флот Советского Союза. Особенно он был полезен в устьях и верхнем течении великих сибирских рек. Каждый раз, включаясь в борьбу за раннее открытие навигации речные ледоколы и мелко сидящие их коллеги - морские взламывали весенние льды, которые течением выносило в открытое море, что, в свою очередь, предотвращало разгул стихии при большом наводнении. Однако о моряках, работавших на трассе СЕВМОРПУТИ, поговорим особо.

Итак, 17 декабря 1932 г. вышло Постановление СНК СССР об образовании Главного управления Северного морского пути, перед которым были поставлены задачи: "Проложить окончательно морской путь от Белого моря до Берингова пролива, оборудовать этот путь, держать его в исправном состоянии и обеспечить безопасность плавания по этому пути". Продолжая хронологию, отметим, что 9 апреля 1939 г. Указом Президиума Верховного Совета СССР создан Народный Комиссариат Морского Флота СССР, а 22 сентября 1939 г. создано Мурманское Морское пароходство. Так началась планомерное освоение трассы СЕВМОРПУТИ.

Теперь проследим развитие торгового Флота Государства Российского. С момента создания СЕВМОРПУТИ прошло 80 лет. За это время было сделано немало. Достаточно сказать, что в Советском Союзе была открыта круглогодичная навигация в Западном секторе Арктики. Шло активное освоение и её Восточного сектора. В будущем на повестку дня готовился к обсуждению порос о круглогодичном плавании на всей трассе СЕВМОРПУТИ по северным морям Арктики из Атлантики в Тихий океан.

В общем, Арктика ставит перед моряками и судостроителями всё новые и новые задачи. Казалось бы, ещё совсем недавно, в начале пятидесятых годов, её основные "секторы" были известны ледовым капитанам. Но вот в 1959 г. вступил в строй атомоход "Ленин" с атомной энергетической установкой (ЭУ) мощностью 44 000 л.с. Ввод в эксплуатацию этого богатяра позволил продлить навигацию на трассе СЕВМОРПУТИ, одновременно увеличилась и скорость движения караванов транспортов, заметно снизилась на пути и аварийность. В навигацию 1960 г., несмотря на тяжёлые ледовые условия в проливе Вилькицкого, благодаря работе атомохода проводка судов не прекращалась ни на одни сутки, тогда же "Ленин" принял участие в оказании помощи ледоколам "Красин" и "Капитан Мелехов" затёртых во льдах вместе с транспортом "Володарский" и "Разлив", которых льды несли на рифы. Преодолев сильное сжатие, атомоход вывел их на чистую воду, в безопасный район.

В навигацию 1961 г., помимо своей основной работы, "Ленин" осуществил высадку высокоширотной дрейфующей станции "Северный полюс - 10", установил в различных точках Полярного бассейна автоматические метеостанции. Первые годы эксплуатации подтвердили высокую надёжность атомной паропроизводящей установки (АППУ). В конце 60-х годов совместными усилиями энергетиков, машиностроителей и судостроителей была создана новая ядерная энергетическая установка, с более высокими эксплуатационно-экономическими показателями. После модернизации, завершившейся к 100-летию со дня рождения В.И. Ленина, атомоход вновь вышел в арктические рейсы.



Пульт управления реакторами ледокола "Ленин"

Реакторный отсек ледокола "Ленин"



Ледокол "Ленин"

Последние семь арктических навигаций подтвердили правильность инженерно-технических решений, а многолетняя работа атомохода в Арктике позволила накопить большой практический опыт, подтверждающий целесообразность использования атомных энергетических установок на ледоколах и крупных транспортных судах. Стала также очевидной необходимость постройки более мощных ледоколов. Так появились атомоходы второго поколения - "Арктика" (некоторое время носивший имя "Леонид Брежнев") и "Сибирь" с энергетическими установками по 75 000 лошадиных сил.

В мае - июне 1975 г. проводились испытания ледокола "Арктика" в припайных льдах Енисейского залива, Земли Франца-Иосифа и пролива Шокальского. Результаты испытаний и опыт последующей эксплуатации атомохода показали, что он способен уверенно преодолевать непрерывным ходом однолетние льды предельной толщины, успешно форсировать многолетние ледовые перемычки и двигаться в условиях сжатия. Тензометрические испытания позволили установить, что корпусные конструкции (на которых были наклеены специальные датчики напряжений - тензометры) располагают достаточным запасом прочности для работы в самых тяжёлых ледовых условиях.

Первые караваны транспортных судов были проведены "Арктикой" через Карское море на Дудинку и Игарку. Ледовую перемычку Енисейского, на преодоление которой обычные ледоколы затрачивали 2 - 3 суток, атомоход прошёл без остановок за 6 часов. Это позволило начать навигацию на несколько недель раньше обычного. В июле 1975 г. ледоколы "Арктика" и "Адмирал Макаров" были направлены в Восточный сектор Арктики к застрявшим во льдах транспортам и ледоколам. Расстояние 1700 миль ледоколы прошли за 6,5 суток со средней скоростью около 11 узлов. При этом "Адмирал Макаров" с дизель-электрической энергетической установкой мощностью 41 000 лошадиных сил иногда заклинивался во льдах, и атомоходу приходилось его окалывать. Первый год эксплуатации "Арктика" закончила в канун 1976 г. А 7 августа 1977 г. в 04 часа 00 минут по московскому времени произошло событие, воспринятое во всём мире как новая выдающаяся победа советской науки и техники, атомоход достиг географического Северного полюса.

А когда в 1977 г. был сдан заказчику атомоход "Сибирь", навигационный период в Арктике увеличился до 8 - 9 месяцев, а в Западном секторе Арктики навигация стала, практически, круглогодичной. Более чем вдвое возросла скорость движения караванов транспортных судов, активизировалась работа дизель-электрических линейных ледоколов. Весной 1978 г. атомоход "Сибирь" за 16 суток выполнил сквозную высокоширотную проводку с Запада на Восток транспортного судна "Капитан Мышевский".

Вскоре изменились Правила Регистра СССР, предъявляющие к новым судам более жёсткие требования, касающиеся безопасности мореплавания, надёжности машин и механизмов, систем, контрольно-измерительных приборов и автоматики. Вступили в действие новые международные конвенции. Заметно обновился парк механизмов, оборудования и аппаратуры, поставляемых промышленностью. Пополнился опыт эксплуатации ледоколов в зимних условиях на трассе СЕВМОРПУТИ. Все эти факторы учитывались при проектировании нового атомохода "Россия", хотя основные элементы судна и характеристики, практически, не изменились.

Зимняя Арктика преподнесла ледокольщикам ещё



"Арктика"



"Сибирь"



Ледоколы "Красин" и "Адмирал Макаров"

один неприятный сюрприз - лавинообразное облипание подводной части носовой оконечности ледокола снежно-ледяной массой. Причём этот ком иногда достигал таких размеров, так тормозил движение ледокола, что судно останавливалось. Стало ясно, что за счёт наращивания мощности ЭУ дальнейшее улучшение льдопроходимости невозможно. Возникло резкое увеличение составляющей трения в общем балансе ледового сопротивления при низких температурах, повыси-

лось взаимодействие гребных винтов со льдом. Их прочные стальные лопасти способны выдержать, довольно, сильные удары о ледяные глыбы, но иногда и они ломаются. Ремонт повреждённого гребного винта обычно выполняет на месте происшествия команда водолазов, которая имеется в составе экипажа линейного ледокола. Надо ли говорить, что такая работа в условиях ледового плавания весьма сложная и небезопасная - надо удалить со ступицы винта под водой обломки повреждённой лопасти, а на её место установить новую запасную лопасть. Не будем сбрасывать со счетов и то, что ремонт выполняется в условиях арктической стужи, полярной ночи и других "полярных надбавок".

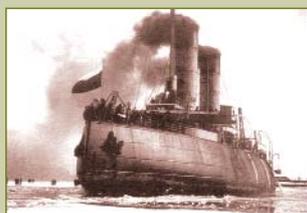
Над проблемами улучшения льдопроходимости ледоколов морские специалисты работают уже давно. В этой области сделаны ряд изобретений и, в частности, появилась система пневмообмыва корпуса, здесь передовые позиции принадлежат советскому корпусу корабельных инженеров. Первым в мире (16.10.1966) устройство для повышения льдопроходимости судна начал патентовать Л.И. Уваров, его заявка была опубликована 15.04.1976 г., авторское свидетельство



Ледокол "Капитан Белоусов"



"И. Сталин"



"Ермак"

№ 510414 - в носовой части судна ниже ватерлинии подаётся воздух. Несколько позже аналогичное устройство было изобретено в Финляндии на верфи А/О "Вяртсиля" в Хельсинки, (11.11.1967), авторское свидетельство № 47061, опубликовано в 1971 - 72 годы и запатентовано в Англии, США, Италии, Франции и Канаде. Эти системы хороши в летнее время года. А как быть зимой, когда температура наружного воздуха достигает минус 56 градусов Цельсия? В 1971 г. в Советском Союзе была изобретена новая система пневмообмыва, авторское свидетельство № 359192. Принцип действия её аналогичен, но вместо воздуха в системе работает пар. Ещё два изобретения по этой тематике 1980 - 1981 гг. сделаны в мурманском филиале ЦНИИМФ, одно из них в 1984 г. было запатентовано в Канаде.

А вот другая, не менее важная проблема. Для нормальной работы ЭУ атомохода требуется большое количество забортной воды, порядка 10...12 тыс. тонн в час с заданными температурными параметрами. Например, отработавший в турбинах пар, надо сконденсировать в воду, которая снова будет использоваться в парогенераторе. Казалось бы, системы судовых холодильников отработаны идеально, ведь они появились ещё в прошлом веке. Но в зимней Арктике всё дело обстоит совсем иначе. Через кингстонную решётку в систему охлаждения попадают вместе с водой снег и битый лёд. В условиях низких температур водозаборное устройство замерзает, прекращается поступление забортной воды в холодильники, и ЭУ ледокола не может работать на полную мощность. Работы по усовершенствованию систем охлаждения были начаты ещё на атомоходе "Ленин". На новом атомном богатыре "Россия" был учтён опыт эксплуатации всех его собратьев.

Арктика мелководна, все её моря заливного типа, взять к примеру Белое, Карское и другие моря - это заливы, хотя и представляют собой обширные водные акватории. Все арктические моря расположены на континентальном шельфе России. В юридическом аспекте к ним применим статус внутренних вод России. Это наши воды, "...здесь русский дух, здесь Русью пахнет...". Мелководье Арктики предъявляет даже к атомоходам в отношении осадки жёсткие требования.

Первым в серии мелкосидящих ледоколов был построенный в Финляндии и вступивший в эксплуатацию в 1954 году "Капитан Белоусов". Судно имело

водоизмещение 5380 т, имело наибольшую длину 93,16 м; ширину 19,4 м и осадку 7 м. Мощность дизель-электрической ЭУ составляла 10 500 л.с. Таким образом, на одну тонну водоизмещения ледокола приходилось 1,96 л.с. Сравнивая эту характеристику с аналогичными характеристиками довоенных (ВОВ) линейных ледоколов, заметим, что "И. Сталин" при максимальной загрузке машин имел 0,9 л.с.; "Красин" - 1,0 л.с.; "Ермак" - 1,0 л.с.

"Капитан Белоусов" имел 4 гребных винта - 2 носовых и 2 кормовых. Он хорошо работал в битом льду, чему способствовали носовые гребные винты, затягивавшие битый лёд под корпус ледокола. Ледокол прекрасно работал на Балтике, но в Арктике он смог выполнять работы лишь вспомогательного ледокола, измельчать лёд в канале позади линейного ледокола.

Серия мелкосидящих ледоколов типа "Капитан Белоусов" позволила накопить соответствующий опыт ледового плавания на мелководье и создать новый ледокол этого типа. В июле 1977 г. в состав ледокольного флота Мурманского морского пароходства вошёл "Капитан Сорокин". Он был построен на той же судовой верфи, что и его предшественник, А/О "Вяртсиля" в Хельсинки. Надо заметить, что со стапелей этой фирмы сошли линейные дизель-электрические ледоколы: в 1960 - 1966 гг. пять ледоколов типа "Москва" мощностью 22 000 э.л.с.; в 1974 - 1976 гг. - три ледокола типа "Ермак" мощностью 36 000 э.л.с.

Головной в серии "Капитан Сорокин" - дизель-электрический, трёхвинтовой (все винты кормовые) линейный ледокол мощностью 24 840 э.л.с. Водоизмещением 14 716 т. Он предназначался для проводки судов на мелководных акваториях и устьев рек Арктического бассейна. Его наибольшая длина 129,38 м; ширина по ватерлинии 25,64 м; максимальная осадка 8,5 м; скорость на чистой воде 19,54 узла. Опыт эксплуатации ледокола в устьях сибирских рек показал, что он может успешно осуществлять проводку транспортных судов непрерывным ходом со скоростью около 10 узлов.

Младшим собратом "Капитана Сорокина" является головным в серии многоцелевой ледокол "Мудьюг" вступивший в состав Северного пароходства в конце 1982 г. Он предназначен для обслуживания судов на подходах к портам в замерзающих неарктических морях, выполнения спасательных работ в ледовых условиях и морской буксировки. Построен там же. Судно двухвинтовое, с дизель-редукторной ЭУ и винтами регулируемого шага (ВРШ), мощность ЭУ на чистой воде 12 380 л.с.; длина наибольшая 92,0 м; ширина по ватерлинии 20,05 м; осадка 6,0 м. Ледокол рассчитан на нормальную работу при морозах до минус 40 °С.

Таким образом, Советский Союз обладал самым современным и лучшим ледокольным флотом в Море. Но построить мощный ледокольный флот - это ещё полдела. Необходимо ещё и транспортные суда способные идти за ледоколом. Но и в этой области Советский Союз имел немалый опыт. Уже первые плавания по трассе СЕВМОРПУТИ показали, что обычные транспорта для этих целей не пригодны, в 1937 г. погиб п/х "Рабочий", три других судна, находившихся в караване, получили ледовые повреждения. И сегодня Арктика не смирила свой буйный нрав, достаточно вспомнить навигацию 1983 г. в её восточном секторе. Одно судно погибло и многие получили ледовые повреждения; а нашим атомным богатырям пришлось показать всё, на что они способны.

Ледокол "Россия"



Обратимся к временам, как говорить, не столь отдалённым. В 1938 г. со стапелей ленинградского судостроительного завода сошёл линейный ледокол "И. Сталин". Как и его предшественники, это был пароход, судно имело три гребных винта, на винты подавалась мощность 10 000 л.с., которую развивали три паровых поршневых машины, на каждый винт поровну. Вместе с ним сошёл на воду, первый в мире ледокольный пароход "Дежнёв" водоизмещением 6530 т и паровой машиной мощностью 2500 л.с. За "Дежнёвым" был спущен на воду однотипный "С.А. Леваневский". Ледоколом в то время командовал ледовый капитан М.П. Белоусов. Новый ледокол был направлен в район дрейфа "Г. Седова". До северной широты 80 градусов "И. Сталин" прошёл, сравнительно, легко, затем начались тяжелые двухметровые льды. В этом плавании принимал участие и ледорез "Ф. Литке" под командованием капитана Ю.К. Хлебникова. 22 сентября на северной широте 83 градуса суда остановили тяжёлые многолетние льды, до "Г. Седова" оставалось пройти всего 50 миль.

Арктическую навигацию 1939 года "И. Сталин" провёл успешно. Выполняя предписанные ему обязанности, "И. Сталин" совершил экспериментальный рейс по СЕВМОРПУТИ из Мурманска до бухты Угольной, что находится восточнее Певека, и обратно. В течение времени с декабря 1939 г. по январь 1940 г. ледокол вывел на чистую воду дрейфовавший 27 месяцев пароход "Г. Седов", которым командовал капитан К.С. Бадигин. Оба судна были награждены орденами Ленина, а седовцы и М.Н. Белоусов были удостоены звания Героя Советского Союза.

В конце 1940 года, несмотря на тяжёлую ледовую обстановку, из льдов были выведены все суда торгового флота. Новострой "Дежнёв" и "С.А. Леваневский" для трассы СЕВМОРПУТИ, по сути дела, были грузопассажирскими судами. Они могли принимать на борт не только грузы, но и пассажиров - в основном это был персонал различных полярных станций. Продолжительность арктической навигации к тому времени возросла до 113 суток. Поэтому ледовые плавания для этих судов позволили накопить опыт и определить проектное задание на постройку и разработку проекта ледокольных транспортных судов следующего поколения.

И вот в июле 1953 г. со стапелей голландской верфи "Де Схальде" был спущен на воду дизель-электроход "Лена". Проект его был разработан советскими корабелями. Это было судно совершенно нового типа, вобравшее в себя всё лучшее и прогрессивное, весь опыт ледового судостроения, накопленный к тому времени в практике постройки судов ледового класса. Полная грузоподъёмность новостроя составила 7560 т; длина наибольшая 130,19 м; ширина 18,5 м (меньше чем у ледокола типа "Капитан Белоусов"); максимальная осадка 8,15 м; мощность энергетической установки (ЭУ) 8200 л.с. Толщина ледовой обшивки в носу 30 мм; в районе цилиндрической части корпуса 20 мм и в корме 35 мм. С ледовыми гребными винтами была достигнута скорость 15 узлов. Дальность плавания с нормальными запасами составляла 10 900 миль, с максимальными запасами она достигала 15 600 миль. Суточный расход ГСМ при работе машин со 100 % нагрузкой 35,5 т. Судно уверенно работало в метровом льду, на полном ходу могло форсировать ледовые перемычки. 4 марта 1854 г. на "Лене" был поднят Государственный флаг Советского Союза.

Суда этой серии оставили заметный след в деле освоения трассы СЕВМОРПУТИ, а также в антарктических плаваниях. Командовал "Леной" опытный ледовый капитан А.И. Ветров. В свою первую арктическую навигацию судно установило рекорд, за 9 суток из Архангельска был доставлен груз в Тикси. Приняв груз леса "Лена" пришла в Певек, а затем в бухту Провидения. На обратном пути судно занималось ледовой проводкой транспортных судов, а 30 октября вернулось в Архангельск, совершив первый в истории СЕВМОРПУТИ двойной сквозной рейс с грузами для арктических портов. Через два месяца в состав флота вошли ещё два однотипных судна - "Обь" и "Енисей". Следующий, 1955 год принёс экипажу "Лены" очередной успех. После сложного плавания в тяжёлых ледовых условиях, судно 14 августа прибыло в Нагаево, а затем во Владивосток. Приняв на борт груз, и совершив по пути заход в Мурманск "Лена" прибыла в Лондон. Так был впервые сделан двойной сквозной трансарктический рейс по маршруту Архангельск - Владивосток - Мурманск - Лондон. Расчёты советских морских специалистов во многом подтвердились. Проект судна оказался удачным. В 1956 г. морской флот Советского Союза получил однотипные "Ангарту", в 1957 г. "Байкал" и "Индирикку".

В том же 1957 г. в Мурманское пароходство начали поступать суда серии "ГЭС" - "Рионигэс", "Куйбышевгэс" и другие. Но они оказались менее удачны и на трассе СЕВМОРПУТИ особого успеха не имели. В навигацию 1958 г. отлично работал экипаж дизельэлектрохода "Индирикка". В январе этого года судно пришло в Архангельск. Восторгу горожан не было предела, когда они наблюдали как большое судно шло по скованной льдом Северной Двине так же легко, как по чистой воде. В том рейсе "Индирикка" доставила в Архангельск груз шпигбергского угля.

Ну а как же "старички", "Дежнёв" и "С.А. Леваневский"? А они продолжали плавать по СЕВМОРПУТИ, в 60-х годах были модернизированы, их паровые котлы перевели на жидкое топливо. Эти суда хорошо потрудились и принесли большую пользу. Дизель-электроходы типа "Лена" продолжали в последующие годы исправно работать на трассе СЕВМОРПУТИ. В 1963 г. капитану "Индирикки" было присвоено высокое звание Героя Социалистического Труда, так Родина отметила труд Андрея Фёдоровича Пинежанинова. Навигация 1967 г. принесла Мурманскому морскому пароходству ещё одно знаменательное событие. Теплоход "Нововоронеж" вышел 31 июля из Гамбурга с грузами торговых фирм Франции и ФРГ. Пройдя СЕВМОРПУТЁМ, судно через 28 дней точно по расписанию прибыло в Японию. При плавании через Суэцкий канал длина пути составила бы 11 500 миль; вокруг Африки - 14 300 миль; а по трассе СЕВМОРПУТИ - 7300 миль. Таким образом, средняя скорость на переходе составила 10...11 узлов.

Об антарктических рейсах дизельэлектроходов типа "Лена" также можно много рассказать интересного. Здесь наибольший успех выпал на долю "Оби", которая в 1955 г. была переоборудована на Рижском судоремонтном заводе в научно-исследовательское судно. Ходила в Антарктику и "Лена". В дальнейшем этот тип судов совершенствовался. Появилась "Амгузма", давшая название новой серии, возросла грузоподъёмность, улучшились ходовые качества судов. Судно этой серии "Наварин" швартовалось к ледовому причалу у мыса Харасовей.

(Продолжение в следующем номере)



Капитан "Сорокин"



Ледокол "Мудьюг"



Ледорез "Ф. Литке"



Дизель-электроход "Лена"



Ледоколы "Ленин" и "Арктика"



Проводка судов ледоколом "Сибирь"

# Sodick



## **32000** линейных электроискровых станков в эксплуатации

**(500 в России, Украине и др. странах б/СССР; на 12.2012 г.)**

Единственный в мире изготовитель электроискровых (электроэрозионных) станков с проверенными временем плоскопараллельными линейными двигателями (ЛД).

Производство электроискровых линейных станков (станков с ЛД) с 1998 г.

Все линейные станки **Sodick**, включая самые первые 1998-1999 гг., по настоящий момент сохраняют неизменную точность позиционирования!

Испытанные пятнадцатью годами эксплуатации плоскопараллельные ЛД, разработанные для ЭИ станков, и ЭИ станки, сконструированные специально под плоскопараллельные ЛД. Собственная разработка, опытно-конструкторские работы, а также производство ЛД, Nd-Fe-B магнитов и систем управления для ЛД. Собственные системы компьютерных ЧПУ, ПО и CAD/CAM.



Точность позиционирования:  
гарантия **10** лет  
Впервые в отрасли!

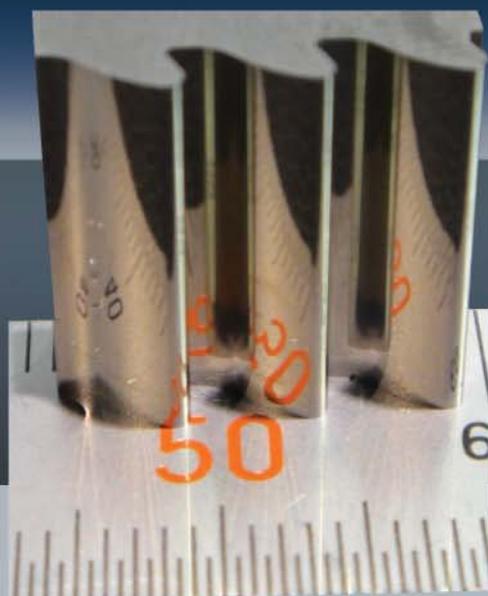
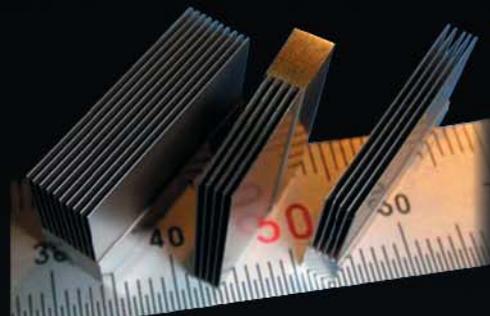
### **60 лет опыта производства ЭИ станков!**

# НАНОШЕРОХОВАТОСТЬ

Шероховатость  $Ra=0,006$  мкм  
( $Rz=50$  нано = 14-й класс!)  
на серийном линейном  
вырезном станке в масле!

## Sodick

[www.sodick.ru](http://www.sodick.ru)



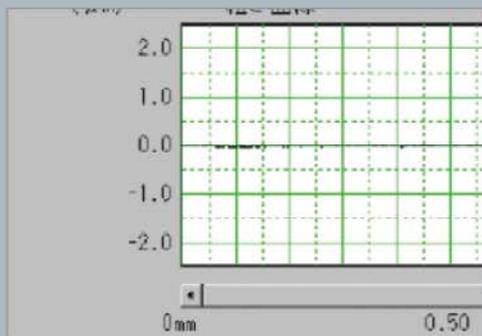
## AP250L

Рекордное зеркальное выхаживание  
до уровня  $Rz=50$  нанометров;

Сверхточная вырезка твердых сплавов  
без выпадения кобальта;

Прецизионная вырезка тонкой проволокой  
высоких пуансонов.

**ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ В МАСЛЕ =**  
**= ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ В ВОДЕ**



Параметр-на	Значение	Единица
Ra	0.0061	мкм
Ra(1)	0.0072	мкм
Ra(2)	0.0088	мкм
Ra(3)	0.0062	мкм
Ra(4)	0.0060	мкм
Ra(5)	0.0043	мкм
Rz	0.0576	мкм
Rz(1)	0.0600	мкм
Rz(2)	0.0440	мкм

## Рекорд отрасли!



Измерение размеров

Вес от 1,7 кг !

“Вечная” LED лампа

Диаметр от 3,9 мм

Длина до 9,6 м

**Видеоэндоскопы EVEREST XLG3 и XLG0+ (GE IT, США)  
для технической диагностики на производстве**

Подробности на сайте [WWW.XLGO.RU](http://WWW.XLGO.RU)

Контакт: (495) 600-36-42, 970-97-19