

Двигатель

Научно-технический журнал № 3 (39) 2005

Отечественная научная школа
всегда была сильна
накоплением и передачей опыта,
грамотной постановкой
и решением задач.
Будет очень обидно,
если мы все это потеряем.



Редакционный совет

Аршавский А.Л.,
гл. конструктор НПП "ЭГА"

Бондин Ю.Н.,
ген. директор ГП "НПК газотурбостроения
"Зоря"- "Машпроект", Николаев

Губертов А.М.,
зам. директора ФГУП "Исследовательский центр
им. М.В. Келдыша"

Данилов О.М.,
ген. директор ЗАО "Центральная компания
МФПГ "БелРусАвто", Москва

Дическул М.Д.,
пред. совета директоров ОАО "Пермский
моторный завод" и "Авиадвигатель"

Жарнов В.М.,
ген. конструктор ПО "Минский моторный завод"

Иноземцев А.А.,
ген. директор - ген. конструктор
ОАО "Авиадвигатель", Пермь

Каблов Е.Н.,
ген. директор ГНЦ ВИАМ, член-корр. РАН

Каторгин Б.И.,
ген. конструктор, ген. директор НПО
"Энергомаш", академик РАН

Клименко В.Р.,
гл. инженер ОАО "Аэрофлот - РМА"

Кобзев С.А.,
начальник Департамента локомотивного
хозяйства ОАО "РЖД"

Коржов М.А.,
руководитель проекта "Двигатель"
ОАО "АвтоВАЗ", Тольятти

Крымов В.В.,
зам. ген. директора ФГУП "ММП "Салют"
по науке

Кутенев В.Ф.,
зам. ген. директора ГНЦ НАМИ по
внешнеэкономическим связям

Муравченко Ф.М.,
ген. конструктор МКБ "Прогресс", Запорожье

Новиков А.С.,
ген. директор ММП им. В.В. Чернышева

Пустовгаров Ю.Л.,
ген. директор ОАО "УМПО"

Ружьев В.Ю.,
первый зам. ген. директора Российского
Речного Регистра

Селезнев Е.П.,
ген. конструктор, ген. директор
КБХМ им. А.М. Исаева

Скибин В.А.,
ген. директор ГНЦ ЦИАМ им. П.И. Баранова

Соколовский М.И.,
ген. конструктор, ген. директор
ОАО "НПО "Искра", Пермь

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

Троицкий Н.И.,
директор НИИ двигателей

Фаворский О.Н.,
академик, член президиума РАН

Чепкин В.М.,
первый зам. ген. директора НПО "Сатурн" по НИОКР

Черваков В.В.,
декан факультета авиадвигателей МАИ

Чуйко В.М.,
президент Ассоциации "Союз авиационного
двигателестроения"

РЕДАКЦИЯ

Главный редактор
Александр Бажанов

Заместитель главного редактора
Дмитрий Боев

Ответственный секретарь
Александр Медведь

Финансовый директор
Дмитрий Чекин

Редакторы:

Александр Гомберг, Андрей Касьян,
Валентин Шерстянников

Литературный редактор
Лидия Рождественская

Художественный редактор
Александр Медведь

Техническая поддержка
Ольга Лысенкова

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

Александра Бажанова,
Дмитрия Боева,
Александра Медведя,
Владимира Романова

**Адрес редакции
журнала "Двигатель":**

111116, Россия, Москва,
ул. Авиамоторная, 2
Тел.: (095) 362-3925
Факс: (095) 362-3925
engine@zebra.ru
www.engines.da.ru
www.dvigately.ru

УЧРЕДИТЕЛЬ И ИЗДАТЕЛЬ

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

Рукописи не рецензируются
и не возвращаются.

Редакция не несет ответственности
за достоверность информации
в публикуемых материалах.

Мнение редакции не всегда
совпадает с мнением авторов

Перепечатка опубликованных
материалов без письменного
согласия редакции не допускается.

Ссылка на журнал при перепечатке
обязательна.

Научно-технический журнал "Двигатель"
зарегистрирован в

Государственном Комитете РФ по печати
Рег. № 018414 от 11.01.1999 г.
Отпечатано

ЗАО "Фабрика Офсетной Печати"
Москва

Тираж 15 000 экз.

Периодичность: 6 выпусков в год.

Цена свободная



СОДЕРЖАНИЕ

2. Мирные технологии УМПО

Ю. Пустовгаров

3. К 80-летию Уфимского моторостроительного производственного объединения

Ю. Пустовгаров

6. Вместо чертежной доски и логарифмической линейки

8. В споре рождается истина?

А. Иноземцев

10. Опыт применения рентгеновской компьютерной томографии в двигателестроении

Э. Вайнберг

13. VI Международный форум "Высокие технологии XXI века"

14. Автомобили завода Даймлер модели 1911 г.

15. Информация

16. Чему учить исследователя

А. Петухов

17. Мастера своего дела

18. Лопаточные машины

22. Велосипед - машина, в которой человек - двигатель

26. Двигатель шотландского пастора

30. Разделение неделимого, или ядерный реактор для "чайников"

33. История авиации, небезразличная для молодого поколения

34. Буду любить всегда

А. Маркуша

38. Хроника фронтового бомбардировщика

А. Николаев

42. Совершенствование моторов "Испано-Сюиза" 12Y Владимиром Яковлевичем Климовым

В. Котельников

46. Турбулентность жидкости, газа и плазмы

Ю. Кочетков

48. Так рождался знаменитый "Скад"

Ю. Бобрышев

52. О "немецком следе" в истории отечественного ракетостроения

В. Рахманин

56. Вопросы к компании "Содик"



МИРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ УМПО



За годы, прошедшие с начала освоения в ОАО "УМПО" перспективного направления – изготовления стационарных наземных газотурбинных установок для нужд топливно-энергетического комплекса, предприятием проделан громадный объем работы.

Юрий Пустовгаров, генеральный директор ОАО "УМПО"

На первом этапе уфимские моторостроители в кооперации с ОАО "НПО "Сатурн", используя заделы, оснащение, идентичные детали, характерные для производства авиационного двигателя АЛ-31Ф, приняли участие в изготовлении газогенератора АЛ-31, установленного на КС "Карпинская", и полностью изготовили силовую турбину.

После этого в ОАО "УМПО" был полностью спроектирован и собран газоперекачивающий агрегат ГПА-16Р "Уфа". В состав лидерного агрегата вошел стационарный ГТД, спроектированный НПО "Сатурн" и практически полностью изготовленный уфимскими моторостроителями. В настоящее время разработаны три основные модификации двигателя. Первая - с верхним расположением агрегатов, вторая - с нижним, третья - с нижней коробкой агрегатов и низкоэмиссионной камерой сгорания. Более высокая степень кооперации была задана изначально при разработке концепции изготовления полноразмерного газоперекачивающего двигателя. В настоящее время в результате интенсивного освоения производства ОАО "УМПО" выполняет полный технологический цикл изготовления и сборки АЛ-31СТ собственными силами.

Запущенный в опытно-промышленную эксплуатацию два года назад на компрессорной станции (КС) "Москово", он проработал свыше 8300 ч. Через год на КС "Москово" был запущен в эксплуатацию второй ГПА-16Р "Уфа", монтируется агрегат на КС "Полянская". Отгружены системы для монтажа четвертого агрегата на КС "Москово", изготовлены и отгружены системы для модернизации газоперекачивающих агрегатов на КС "Карпинская".

До последнего времени единственным, но существенным пробелом в цепочке изготовления газотурбинных приводов наземного применения являлось отсутствие собственного испытательного комплекса. Понимая преимущества испытаний на месте изготовления, в УМПО была развернута совершенная испытательная база.

Испытательный комплекс состоит из стенда для испытания различных компоновок полноразмерных газотурбинных двигателей АЛ-31СТ и стендов испытания камер сгорания. Испытания АЛ-31СТ проводятся по модульной схеме, т. е. сначала модуль газогенератора испытывается отдельно, а затем совместно с модулем силовой турбины, что позволяет оценить качество сборки каждого модуля.

В процессе проектирования специалистам объединения пришлось столкнуться с рядом проблем, связанных с использованием в качестве топлива природного газа высокого давления.

Проект учитывает многочисленные требования правил безопасности эксплуатации и охраны окружающей среды, пожарной безопасности и отвечает всем соответствующим нормам.

Стенд для испытания газотурбинных двигателей АЛ-31СТ(Н) спроектирован на базе испытательного бокса для серийных изделий авиационной тематики. При этом проведена глубокая модернизация силоизмерительной системы стенда. В качестве силоизмерительного элемента применен современный тензорезисторный датчик высокой точности (класс точности 0,05) с номинальным измеряемым усилием 10 тс. Для крепления испытуемого объекта на стенде применена универсальная рама, позволяющая закреплять и испытывать как отдельные газогенераторы различных модификаций, так и агрегаты в сборе с силовой турбиной. При испытании модуля газогенератора используется технологическое сопло, а параметры оцениваются по создаваемой тяге. Во всех технологических системах стенда для оценки их работы и характеристик ГТД применены современные микропроцессорные датчики давления, датчики температуры и расхода, информация от которых передается в автоматизированную информационно-измерительную систему (АИИС) на пульте управления. Состояние работы всех систем стенда и ГТД отражается на дисплее АИИС.

Используются две автоматизированные системы: управления и регулирования режимами работы двигателя и информационно-



Компрессорная станция Москово с агрегатами ГПА-16Р "Уфа"



Компрессорный цех с агрегатами ГПА-16Р "Уфа"

измерительная, предназначенная для подготовки и управления технологическими системами стенда в ходе испытаний. Взаимодействуя друг с другом, они обеспечивают автоматизацию технологического процесса испытаний, ведение печатного протокола испытаний в объеме требований программы, автоматизированное измерение, контроль и обработку параметров двигателя и стендовых технологических систем, таких как система охлаждения полумуфты СТ и эжектирования зоны выхлопа, системы воздушного запуска и топливопитания, маслообеспечения, пожаротушения и контроля загазованности бокса.

Для испытания камер сгорания газотурбинных двигателей АЛ-31СТ(Н) спроектирован новый испытательный стенд. Кроме того, модернизирован существующий испытательный стенд для камер сгорания двигателя АЛ-31Ф, позволяющий испытывать все типы камер для изделий АЛ-31Ф и АЛ-31СТ(Н).

На новом испытательном стенде применен универсальный модернизированный механизм для кругового измерения полей температур, рассчитанный на все типы камер. Установленные на механизме современные высокоточные датчики углового положения, высокотемпературные гребенки термопар позволяют замерять температурное поле температурой до 1900 К с угловой точностью до 15'.

Во всех системах стенда для испытания камер сгорания также, как и на стенде ГТД, применены современные микропроцессорные датчики давления, данные от которых передаются в автоматизированную информационно-измерительную систему (АИИС) на пульте управления и отражаются на дисплее АИИС.

На стенде реализован режим полной автоматизации процесса испытаний. Контроль всех параметров обеспечивает современная электроника. Это позволяет не только измерять поля температур, но и точно определять давление во всех системах, расход топливного газа, воздуха и состояние продувки каскадов.

С созданием специализированных стендов для проведения полномасштабных испытаний как собственно ГТД, так и камер сгорания, процесс производства приобрел законченный вид. Помимо уменьшившихся транспортных расходов испытательный комплекс позволил значительно сократить производственный цикл. Появилась возможность проведения экспериментальных работ, изучения характеристик двигателя, что позволяет оперативно вносить конструкторские изменения.

Следующим шагом в укреплении собственной испытательной базы станет ввод в эксплуатацию газотурбинной электростанции на базе двигателя АЛ-31СТЭ. Здесь будет не только вырабатываться электро- и теплоэнергия, но и производиться отработка конструкции газотурбинных установок и обучение персонала.

Известно, что освоение подобной техники требует значительных вложений. Определив специализацию - производство сложного, наукоемкого и соответствующего мировым стандартам оборудования для отечественного топливно-энергетического комплекса, - ОАО "УМПО" пошло на значительные финансовые затраты. Но, вкладывая сегодня средства в производство новой, востребованной на рынке продукции, ОАО "УМПО" закладывает фундамент для плодотворной работы на много лет вперед.

Когда верстался номер, стало известно, что на новом испытательном стенде состоялся успешный запуск газоперекачивающего силового привода АЛ-31СТ. **П**

450039, Башкортостан, г. Уфа, ул. Ферина, 2
Телефон: (3472) 38-58-02 для справок
38-75-44 отдел маркетинга
38-58-11 отдел поставок
(095) 911-13-11 представительство в г. Москве
Факс: (3472) 38-37-44
Телекс: 162340 RICA RU
http://www.umpo.ru
E-mail: umpo@umpo.ru



Юрий Пустовгаров,
генеральный директор ОАО "УМПО"

В июле 2005 г. Открытому акционерному обществу "Уфимское моторостроительное производственное объединение" исполняется 80 лет. УМПО - крупнейшее в России двигателестроительное предприятие, удостоенное свыше 30 правительственных наград СССР, в том числе двух орденов Ленина, ордена Красного Знамени, 6 международных, 16 российских конкурсных и выставочных наград. УМПО занимает неизменно высокие позиции в рейтинге крупнейших предприятий России при положительной динамике товарного выпуска продукции.

Около 40 тысяч моторостроителей награждены государственными наградами, в том числе 35,5 тысяч - медалью "За доблестный труд в годы Великой Отечественной войны", свыше семидесяти работников стали кавалерами Ордена Ленина, десяти присвоены звания "Герой Социалистического труда", семь человек стали Героями Советского Союза. Уфимские моторостроители 23 раза завоевывали переходящее Красное Знамя Государственного Комитета Обороны, которое оставлено в коллективе на вечное хранение.

Дата рождения предприятия - 17 июля 1925 г. В этот день Совет Труда и Оборона принял решение о строительстве завода по производству авиационных двигателей на базе мелких авторемонтных мастерских бывшего "Русского Рено" в Рыбинске. 14 января 1928 г. завод вступил в строй действующих предприятий авиационной промышленности под номером 26.

В 1931 г. в Уфе началось строительство завода комбайновых моторов (УМЗ), в 1935 г. собраны первые 10 двигателей. К 1940 г. году УМЗ имел все необходимое для развертывания производства на полную мощность, но был передан в наркомат авиационной промышленности с присвоением ему номера 384 и соответствующим изменением профиля.

В начале войны на площади Уфимского завода был эвакуирован ряд моторных заводов, в том числе и из Рыбинска. 17 декабря 1941 г. рыбинский моторный завод № 26, два ленинградских завода-дублера (234-й и 451-й), частично 219-й из Москвы, проектное бюро ЦИАМ (Москва), конструкторское бюро Добрынина (Воронеж) и два уфимских завода, - моторный (384-й) и дизельный (336-й) объединены в единое целое. Новое предприятие стало правопреемником объединенных заводов и получило номер головного - 26-й. В дальнейшем оно было переименовано в Уфимский моторостроительный завод, на базе которого в 1978 г. создано Уфимское моторостроительное производственное объединение.

Первым мотором, выпущенным в Рыбинске, стал поршневого М-17. Дальнейшее его совершенствование и разработка различных модификаций осуществлялась заводским СКБ под руководством А.П. Ро. Моторы этого типа, выпускавшиеся на протяжении 11 лет, устанавливались на 23 типах и модификациях самолетов, в том числе на 18 серийных. Помимо самолетов, М-17 применялся на танках и торпедных катерах.

В 1936 г. началось серийное производство мотора М-100, положившего начало целой серии двигателей, предназначенных для 58 типов самолетов. Семейство "сотых" изготавливалось заводом 10 лет, в том числе и в Великую Отечественную войну.



АЛ-31ФП

За годы войны завод выпустил более 97 тысяч моторов для истребителей и бомбардировщиков. На каждом третьем боевом самолете стоял уфимский двигатель. Самолет Як-9У с мотором ВК-107А признан самым быстрым истребителем Второй мировой.

В первый послевоенный год предприятие одним из первых в отрасли приступило к производству реактивных двигателей РД-10А, а затем - РД-45Ф и его модификации - ВК-1 и ВК-1Ф. С 1954 г. завод серийно изготавливает турбореактивные двигатели РД-9Б конструкции А.А. Микулина для истребителей семейства МиГ-19. Двигатель РД-9Б и его модификации изготавливались на заводе вплоть до 1974 г.

Для самолетов-мишеней, беспилотных самолетов-разведчиков, крылатых ракет и ракет-мишеней с конца 1950 г. на протяжении более чем 30 лет предприятие изготавливало коротко-ресурсные реактивные двигатели разработки С.А. Гаврилова - РД-9БК, РД-9БКР и семейства Р11-К. В 1961 г. для ВМФ был начат выпуск турбореактивных двигателей КР7-300 конструкции С.К. Туманского для крылатых ракет. Позднее был освоен выпуск семейства турбореактивных двигателей разработки С.А. Гаврилова КР17 для беспилотного самолета-разведчика "Стриж" и КР21-300 для крылатых ракет.

С 1962 г. и на протяжении 25 лет Уфимский моторостроительный завод производил двигатели для семейства одного из самых массовых истребителей мира - МиГ-21. Р11Ф-300, Р13-300, Р25-300 и их модификации, разработанные С.К. Туманским, Н.Г. Мецхваришвили, К.Р. Хачатуровым, С.А. Гавриловым, обеспечивали высокие летно-технические характеристики самолетов Су-15 и МиГ-21.

В 1974 г. заводом освоен выпуск турбореактивного двигателя с форсажной камерой Р29Б-300 конструкции К.Р. Хачатурова для истребителя-бомбардировщика МиГ-27, а годом позже - Р-29БС-300 для истребителя-бомбардировщика Су-22. Производство этих двигателей осуществлялось до конца 80-х годов прошлого века.

С 1980 г. объединение производит бесфорсажный турбореактивный двигатель Р-95Ш разработки С.А. Гаврилова для войскового самолета-штурмовика Су-25. Усовершенствованный вариант двигателя, получивший наименование Р-195, обладает низким уровнем инфракрасного излучения. Этот двигатель выпускается объединением с 1988 г. и устанавливается на Су-25 и восемь его модификаций.

С 1981 г. УМПО выпускает двигатели четвертого поколения АЛ-31Ф разработки ОАО НПО "Сатурн" для одного из лучших



Р-95Ш

истребителей мира - многоцелевого Су-27. Новейшая модификация этого двигателя - АЛ-31ФП оснащена системой управления вектором тяги. Это качественно другой двигатель переходного поколения, предназначенный для сверхманевренных истре-

бителей Су-30 и Су-35. Пока в мировой практике УМПО является единственным производителем подобного двигателя в серийном исполнении. Поставлен на сборку многофункциональный двигатель малой тяги АЛ-55 для учебно-тренировочных самолетов.

Постановлением Правительства Российской Федерации ОАО "УМПО" включено в состав предприятий, задействованных в производстве авиадвигателя пятого поколения.

В 2000 г. освоено серийное производство турбореактивного двухконтурного двигателя Д-436ТП конструкции Ф.М. Муравченко для многопрофильного, многоцелевого реактивного самолета-амфибии Бе-200, а также двигателя Д-436Т1, предназначенного для самолета Ту-334.

Впервые УМПО вышло со своей продукцией на внешний рынок в 1952 г. С тех пор 49 стран эксплуатируют уфимские двигатели. Помимо поставок экспортной продукции, УМПО имеет опыт организации лицензионного производства за рубежом.

Объединение никогда не ограничивалось выпуском только авиационной техники. Более полувека УМПО выпускает малолитражные карбюраторные двигатели. За это время изготовлено более трех миллионов моторов ЗИД-4,5, УМЗ-5А/5Б/5В, УМЗ-341/341Э.



АЛ-551

С 1956-1970 гг. УМПО выпускало товарно-винторезные станки ТВ-320, с 1994 г. налажен выпуск новой модели 1У61. Всего выпущено около 40 тысяч станков.

Более двадцати лет в объединении производятся средства малой механизации - мотоблоки "Универсал" (1981 г.), "МБ-1" (1984-1991 гг.), "Урал" (1991-1999 гг.), "Урал-3" (1998-1999 гг.), "Агрос" (с 1999 года по настоящее время). За это время в УМПО собрано около 150 тысяч мотоблоков.

В 1965 г. завод приступил к организации производства моторов для автомобиля "Москвич-412", а уже в 1967 г. была налажена их серийная сборка. С 1994 г. началась модернизация и выпуск новых моделей объемом 1,6; 1,7; 1,8; 2,0 л. За 40 лет выпущено более 8 млн автомобильных моторов.

Новое направление производственной деятельности - изготовление газотурбинных двигателей стационарного наземного применения. На базе АЛ-31Ф освоено производство газотурбинного привода АЛ-31СТ, применяющегося в составе газоперекачивающих агрегатов, и АЛ-31СТЭ для привода электрогенератора в блочной модульной электростанции. Выпускается привод Д-336-2Т для ГПА-Ц-6,3.

В годы Великой Отечественной войны завод возглавлял Василий Петрович Баландин. С 1946-1977 гг. - Михаил Алексеевич Ферин, легендарный директор, оставивший заметный след в истории объединения. Позже предприятием руководили Владислав Дмитриевич Дьяконов, Владимир Михайлович Парашенко. С 1998 по 2004 год генеральным директором УМПО являлся талантливый человек и руководитель - Валерий Павлович Лесунов, сумевший упрочить статус объединения как лидера отечественного авиадвигателестроения.

В памяти моторостроителей навсегда останется чувство огромной признательности этим людям. Под их руководством произошло становление коллектива УМПО, благодаря их усилиям объединение стало передовым в России по объемам производства и развитой инфраструктуре.



Исключительная производительность для высокопроизводительных вычислительных систем

Графические рабочие станции ARBYTE® CADStation на базе процессоров Intel® Xeon™ – выдающееся соотношение цена/производительность для решений в области высокопроизводительных вычислительных систем.



Наивысшая производительность для САПР

- результат совместной работы с ведущими производителями программного обеспечения для САПР: UGS, PTC, АСКОН, MSC, Software, CATIA, Autodesk
- совместимость с широким кругом приложений для САПР и ГИС

Самый низкий уровень акустического шума

- уровень шума ARBYTE CADStation WS600 не превышает 35 dBA
- результат совместной работы с кафедрой акустики Физического Факультета МГУ им. М.В. Ломоносова
- уникальные технические решения



Самая низкая стоимость владения

- лучшая цена среди графических рабочих станций с аналогичными характеристиками
- 3 года гарантии. Гарантированное максимальное время ремонта 5 рабочих дней в любом из 100 сервисных центров ARBYTE

Рекомендации по применению рабочих станций ARBYTE CADStation с прикладными пакетами САПР

	ARBYTE WS200	ARBYTE WS400	ARBYTE WS600
CAD-системы			
AutoCad	■	■	■
ArchiCad	■	■	■
КОМПАС	■	■	■
Inventor	■	■	■
SolidWorks	■	■	■
SolidEdge	■	■	■
Unigraphics	■	■	■
PTC Pro/Engineer	■	■	■
Catia	■	■	■
CAE-системы			
MSC.Patran	■	■	■
MSC.Adams	■	■	■
MSC.Nastran	■	■	■
MSC.Dytran	■	■	■
ANSYS	■	■	■
CFX-5	■	■	■

■ совместима ■ рекомендована

ARBYTE®
www.arbyte.ru

Москва ARBYTE (095) 725-8008,
Varysell Distribution (095) 777-33-45, 935-79-79

Альметьевск: Белфорт (8553) 23-87-67 • Архангельск ООО "Севералмаз" (8182) 65-71-84 • Благовещенск: ООО "Системный Интегратор" (4162) 53-35-33
• Владимир: Электрон-сервис (0922) 33-60-01 • Воронеж: Криста-Офис (0732) 71-84-75 • Калуга: ПИ 8 Плюс (0842) 56-48-88 • Киров ВИТ: (8332) 64-04-10 • Кострома: Стал (0942) 54-15-35 • Курск: ООО "Куб" (0712) 53-15-08 • Липецк: ООО "Регард-Тур Электроник" (0742) 22-05-55 • Минск: Белфорт (017) 234-20-54 • Набережные Челны: Белфорт (8552) 39-65-25 • Нижний Новгород: ОнЛайн (8912) 35-30-01 • Новосибирск: Арбайт Компьютера Сибирь (3832) 12-57-79 • Оренбург: Белфорт Колликомпании (3532) 70-30-81 • Орск: Контакт Плюс (3537) 25-05-98 • Пенза: Милана (8793) 97-45-85 • Улан-Удэ: ИАЦ Администрации г. Улан-Удэ (3012) 43-62-25 • Уфа: Белфорт (3472) 25-37-77 • Чебоксары: Колир-Сервис (8352) 74-11-00



ВМЕСТО ЧЕРТЕЖНОЙ ДОСКИ И ЛОГАРИФМИЧЕСКОЙ ЛИНЕЙКИ

Сейчас руководители любого предприятия своим гостям показывают не только новейшие металлообрабатывающие центры с ЧПУ, современные измерительные машины, но и конструкторские и технологические отделы, оборудованные компьютерной техникой. Причем обязательно стараются упомянуть названия тех фирм и компаний, оборудование и программы которых у них установлены. Большинство этих компаний имеют на территории России своих представителей, являющихся связующим звеном, без которого оснащение отечественных предприятий было бы неполноценным.

Одной из таких организаций является Группа компаний Arbyte, которая работает на российском рынке с 1991 г. В состав Группы компаний Arbyte входят:

- **Arbyte Computers** - признанный производитель высококачественной компьютерной техники, динамично развивающийся и занимающий лидирующие позиции в России;

- **Arbyte MC** - дистрибьюторская компания, занимающаяся распространением продукции под маркой Arbyte, а также поставляющая программное обеспечение, сетевое оборудование, периферию, офисное оборудование и расходные материалы, необходимые для построения корпоративных информационных систем;

- **Arbyte Training Centre** - учебный центр, занимающийся подготовкой технических специалистов, менеджеров и инженеров партнерской сети, проводящий семинары и конференции. Arbyte обладает широкой производственной базой, обширной дилерской и реселлерской сетью более чем в 30 регионах России и Беларуси. В октябре 2003 г. было подписано дистрибьюторское соглашение с Verysell Distribution.

Производство Arbyte сертифицировано по международному стандарту качества ISO-9001:2000, продукция внесена в Реестр Военного и Оборонного регистра.

Сервисное подразделение Arbyte осуществляет гарантийное и послегарантийное обслуживание, техническую поддержку реализуемой продукции и модернизацию оборудования через сеть авторизованных сервисных центров. На сегодняшний день Arbyte имеет более 100 авторизованных центров сервисного обслуживания по всей России.

Arbyte является партнером всемирно известных производителей компьютерной техники и программного обеспечения, таких как Intel, Microsoft, HP, Xerox, Adaptec, APC, Ricoh, имеет статус Intel Premier Provider, Microsoft OEM System Builder, APC Golden Partner, Adaptec Platinum Partner, LANDesk Expert Solution Provider, что гарантирует соответствующий уровень предоставляемых решений, технической поддержки и обучения.

Arbyte поставяет высококачественную компьютерную технику для корпоративного рынка - рабочие станции для CAD/CAM/CAE и высокопроизводительные решения, настольные системы, серверы, мобильные компьютеры, мониторы.

В настоящее время компьютерные CAE-средства (Computer Aided Engineering) являются инструментами для виртуального моделирования и инженерных расчетов самого широкого спектра машин и механизмов, приборов и др. С их помощью выполняются анализ и оптимизация конструкции разрабатываемых изделий по параметрам прочности, вибрации, шумов, теплообмена, аэроупругости, долговечности и т.д. Применение технологий компьютерного инженерного анализа обеспечивает сокращение сроков разработки новых изделий, уменьшение количества опытных образцов, снижение затрат на их экспериментальную доводку при одновременном повышении качества и конкурентоспособности продукции на рынке.

Кластеры ARBYTE - готовые аппаратно-программные решения, которые могут быть адаптированы к специфическим требованиям заказчика. В состав стандартной конфигурации кластера ARBYTE входят следующие основные компоненты:

1. **Вычислительные узлы.** Предназначены для проведения распределенных вычислений. Они имеют интерфейс обмена сообщениями междуузловой сети, а также интерфейс служебной (управляющей) сети.

2. **Управляющий узел.** Выполняет распределение задач по вычислительным узлам и сбор результатов вычислений. Осуществляет мониторинг работы кластера, а также может использоваться в качестве хранилища данных. При количестве вычислительных узлов более 16 рекомендуется установка двух управляющих узлов и отдельного хранилища данных.

3. **Коммутатор междуузловой сети обмена сообщениями.** Обеспечивает междуузловой обмен сообщениями во время проведения вычислений распределенной задачи.

4. **Коммутатор служебной сети.** Выполняет передачу данных при распределении задач по узлам кластера, управлении и мониторинге узлов.

5. **Шкаф с кабельным оборудованием.** Предназначен для аппаратной интеграции компонентов кластера.

В качестве примера кластера можно назвать ARBYTE Zeeger/64 MN - вычислительный кластер на базе системы конечно-элементного инженерного анализа MSC.Nastran. Кластер разработан компанией Arbyte совместно с московским представительством компании MSC.Software на платформе Intel® Itanium® 2. Данное решение позволяет существенно сократить время выполнения инженерных расчетов в аэрокосмической области, автомобилестроении, судостроении, машиностроении, электронике, приборостроении и строительстве. Вычислительный кластер ARBYTE Zeeger/64 MN может быть построен с использованием серверов ARBYTE Alkazar TI-2 или ARBYTE Alkazar TI-4 в среде Linux. В качестве интерконнекта используется сеть Gigabit Ethernet.

Использование кластера позволяет уменьшить время проведения расчетов до 20 раз и значительно сэкономить финансовые средства. Кластер позволяет проводить весь спектр расчетов, включая расчет напряженно-деформированного состояния, собственных частот и форм колебаний, анализ устойчивости, решение задач теплопередачи, исследование установившихся и неустойчивых процессов, акустических явлений, нелинейных статистических процессов, нелинейных динамических переходных процессов, расчет критических частот и вибраций роторных машин, анализ частотных характеристик при воздействии случайных нагрузок, спектральный анализ и решение задач вычислительной гидрогазодинамики.

Для определения оптимальной конфигурации вычислительного кластера, обеспечивающей оптимальное соотношение цена/производительность, специалисты компании Arbyte провели тестирование кластеров на платформах Intel® Itanium® 2 и Intel® Xeon™ DP. Инициатором этого исследования выступило ФГУП "ММПП "Салют", занимающееся проектированием и разработкой новейших турбореактивных двигателей.

Следует отметить, что в отличие от многих других подобных исследований, в рассматриваемом случае для тестирования кластера использовались не "отвлеченные" (можно сказать, надуманные) расчетные модели, а реальные задачи, результаты

решения которых дают четкое представление о возможностях программного обеспечения MSC.Software и техники компании Arbyte и представляют практический интерес для отечественных предприятий.

В марте 2003 г. Arbyte совместно с корпорацией Intel развернули первый в России Центр высокопроизводительных вычислений (HPC - High Performance Computing), задачами которого является разработка высокопроизводительных решений на базе новейших технологий Intel, оптимизация аппаратной части под специализированные программные пакеты для инженерных расчетов. Российским заказчикам предоставляется возможность апробирования реальных задач на разрабатываемых вычислительных комплексах.

HPC тесно сотрудничает с ведущими разработчиками программного обеспечения для САПР, такими как MSC.Software, UGS PLM Solutions, ТЕСИС, РТС, АСКОН и ведет активную работу с крупными российскими заказчиками в области двигателе-, автомобиле- и судостроения.

Центр не только занимается разработкой и поставкой систем заказчику, но и обеспечивает их эффективную эксплуатацию. Для этого заказчику предоставляется оперативная техническая поддержка и обучение в учебном центре Arbyte.

С 19 октября 2004 года Arbyte является национальным дистрибьютором продукции Silicon Graphics, осуществляет сервисное обслуживание и техническую поддержку, обучение и обеспечивает работу центра компетентных решений SGI.

Всемирно известная компания Silicon Graphics Inc. является лидером в области высокопроизводительных вычислений (HPC), визуализации и систем хранения данных. SGI разработала технологии, которые позволяют совершать наиболее существенные прорывы в области науки и конструирования на уровне 21-го века. Эти технологии позволяют решать сложнейшие задачи, от обмена 3D-изображениями головного мозга при проведении хирургических операций, эффективного поиска нефти и других полезных ископаемых путем анализа результатов от зондирования земных глубин, до изучения мирового климата и обеспечения национальной безопасности.

25 мая 2005 г. группа компаний Arbyte провела в российской столице конференцию "Высокопроизводительные технологии Silicon Graphics", на которой было объявлено о первых результатах работы в качестве национального дистрибьютора Silicon Graphics. Участие в конференции приняли более 50 руководителей и менеджеров российских предприятий, нефтегазовых компаний, конструкторских бюро, представителей научно-исследовательских организаций. Конференцию открыли вице-президент SGI по странам ЕМЕА Филипп Милтин (Philippe Miltin) и генеральный директор Arbyte MC Максим Неклюдов.

Компания Silicon Graphics является лидером в области высокопроизводительных решений и представляет на мировом рынке уникальные отраслевые решения для научных расчетов, машиностроения, нефтегазовой отрасли, медиа и других сфер деятельности. Основное стратегическое направление компании - разработка инноваций для всех передовых клиентов, а затем поставка этих технологий на более широкие рынки. Об этом говорил в своем докладе директор по развитию бизнеса Silicon Graphics в России Игорь Захаров.

"SGI и наши партнеры сфокусированы на одной цели: удовлетворить потребности наиболее требовательных технических клиентов, помогая в обработке больших потоков информации и управлении ими. Arbyte имеет сильные позиции именно в тех сферах, которые важны для SGI: нефтегазовой отрасли, промышленности и некоторых других. Мы уверены, что Arbyte обеспечит соответствующее качество выполнения работ по введению в эксплуатацию и дальнейшей технической поддержке систем SGI для российских клиентов", - отметил Игорь Захаров. - Именно поэтому Silicon Graphics выбрала Arbyte для представления своих интересов на российском рынке".

О технологиях SGI и мировом опыте использования систем Silicon Graphics рассказали сотрудники Центра Высокопроизво-



дительных Вычислений (HPC-центра) группы компаний Arbyte.

Инновационные технологии SGI - это:

- SGI® NUMAflex™ - архитектура с общим полем памяти, обеспечивающая прямой и эффективный доступ ко всем данным в памяти системы и отсутствие узких мест передачи данных;
- структура интерконнекта SGI® NUMalink, обеспечивающая быстрый доступ к памяти для достижения сбалансированного функционирования технических расчетных процессов;
- 64-битный LINUX - улучшенная операционная система для высокопроизводительных вычислений;
- системы визуализации SGI®, трансформирующие неструктурированные данные терабайтных объемов в знания.

Решения Silicon Graphics используются крупнейшими компаниями по всему миру, такими как NASA, Rolls Royce, Procter and Gamble, Ford Motor Company, Volkswagen AG General Atomics, Beijing Planetarium, Marathon Oil, Cambridge University, British Museum.

С момента подписания соглашения (в октябре 2004 г.) Arbyte была проделана большая работа, о результатах которой сообщил генеральный директор Arbyte Computers Юрий Дроненко. "Сегодня можно говорить об успешном построении инфраструктуры для поддержки решений Silicon Graphics на территории России", - отметил он.

Россия, с точки зрения внедрений, не является исключением. На конференции выступил генеральный менеджер компании ЛАРГЕО (Large Data Processing Ltd.) Александр Яковлев, сообщив о внедрении системы SGI Altix 350 в Центре обработки сейсмических данных компании. SGI Altix 350 на базе процессоров Intel® Itanium® 2 представляет собой систему с архитектурой неограниченного доступа к памяти (NUMA). Модульная архитектура "расширения по необходимости" предоставляет возможность независимо масштабировать процессорную мощность, память и ресурсы ввода-вывода, позволяя клиентам строить именно такие системы, в которых они нуждаются, и легко реконфигурировать их по мере того, как меняются их потребности. Сервер масштабируется до 32 процессоров Intel Itanium 2 и обеспечивает возможность объединения в кластер. В апреле 2005 г. SGI Altix был взят компанией ЛАРГЕО на тестирование, а в мае 2005 г. компании Arbyte и ЛАРГЕО объявили о внедрении системы. "С помощью SGI Altix 350 вместе с внедренной ранее кластерной системой Arbyte наша компания эффективно решила задачу увеличения и оптимизации вычислительных мощностей и на данный момент имеет возможность отказаться от ранее использовавшихся платформ", - отметил Александр Яковлев.

Таким образом, участники конференции смогли ознакомиться с основными технологиями и продуктами SGI, задать интересующие вопросы представителям Silicon Graphics, техническим специалистам Arbyte и ЛАРГЕО. "С проведением этого мероприятия подтвердилась уверенность в востребованности подобных узкоспециализированных решений на российском рынке, - отметил в заключение Максим Неклюдов. - И это событие явилось новой важной вехой в сотрудничестве Arbyte и Silicon Graphics".

В СПОРЕ РОДИТСЯ ИСТИНА?..



В редакцию пришло письмо от генерального директора ЗАО "УК "Пермский моторостроительный комплекс" Александра Александровича Иноземцева, которое публикуется по просьбе автора.

Принимая во внимание предупреждение редакции, что она не несет ответственности за достоверность информации в публикуемых материалах, по нашему глубокому убеждению, ответственность самих авторов должна соответствовать и содействовать укреплению заслуженного высокого авторитета нашего общего журнала, в особенности в тех вопросах, где иногда сталкиваются в конкурентной борьбе чьи-либо коммерческие интересы.

Редкие случаи, когда в нейтральных методологических статьях используются недостаточно проверенные цифры или иного вида необъективная информация, вызывают глубокое сожаление и не способствуют выяснению существа дела, принятию правильных решений иногда по острым экономическим вопросам государственной важности, в особенности в отраслях, находящихся в критическом положении: авиадвигателестроении и авиации в целом.

В данном случае речь идет о статье с вполне нейтральным и заинтересовывающим названием "Методика расчета сравнительной доходности эксплуатации двигателей самолетов ГА" (авторы Е. Марчуков, В. Андреевко, В. Куликов, И. Осипов, "Двигатель" № 1 (37), 2005 г.).

Изложенная с примерами методика является весьма упрощенной и краткой и при использовании в публикациях "высокого уровня" (какими являются большинство публикаций такого серьезного журнала как "Двигатель") требует очень внимательного отношения к достоверности и корректности используемых цифр и предпосылок.

Полученный в статье вывод - переоснащение самолета Ил-76 (по-видимому, в будущем, после 2007 г.) модифицированным двигателем Д-30КП-3 "Бурлак" позволит сэкономить за время жизненного цикла самолета \$115 млн по сравнению с переоснащением того же самолета двигателем ПС-90А (установленным в настоящее время на самолетах Ту-204, Ту-214, Ил-96-300) - может вызвать недоумение у заинтересованных читателей, знакомых с существом дела.

Естественно, возникает вопрос: каким образом высокопараметрический ТРДД четвертого поколения ПС-90А, имеющий значительно лучшие термодинамические параметры и тягово-экономические характеристики: степень двухконтурности $m = 4,5$; степень повышения давления в компрессоре $\pi_{\text{КСР}}^* = 34$; крейсерский удельный расход топлива $C_{R11/0,8} = 0,599$ кг/(кгс·ч), имеющий к настоящему времени общий налет ~1,3 млн часов при среднем достигнутом межремонтном ресурсе 6000 часов, может принести убыток владельцу самолета Ил-76 за весь период эксплуатации \$115 млн по сравнению с будущей (возможной после 2007 г.) заменой его двигателей на двигатели Д-30КП-3

"Бурлак", имеющие степень двухконтурности $m = 3,66$; степень повышения давления в компрессоре $\pi_{\text{КСР}}^* = 19$, крейсерский удельный расход топлива $C_{R11/0,8} = 0,63$ кг/(кгс·ч); находящиеся в состоянии начала доводочных и сертификационных работ с намечаемыми назначенным ресурсом 24 000 ч и межремонтным 5000 ч (см. табл. 1 статьи).

При сравнении двух изделий, различных по размерности (тяге), разной степени готовности и подтверждения основных показателей: удельных расходов топлива, ресурса (надежности), продажной цены, а также типа реальных финансовых взаимоотношений конкретных изготовителей и авиакомпаний, касающихся обслуживания и различных гарантий в эксплуатации, наличия преимуществ в эксплуатации в особых взлетно-посадочных условиях, наличия запасов по тяге, загрузке и дальности самолета, возникает целый ряд дополнительных факторов также чисто экономического значения, влияющих на объективный выбор двигателя.

Однако, оставаясь даже в рамках обсуждаемой краткой и приближенной методики сравнения двух конкретно взятых двигателей, важно обеспечить хотя бы "синхронизацию" как по тягам - усредненному часовому расходу топлива, так и по времени, т.е. принять наиболее реальные и достоверные ресурсы в один и тот же период эксплуатации (после 2007 г.).

В примере при сравнении эффективности двух силовых установок рассматриваются полеты самолета Ил-76 с одной и той же взлетной массой 195 т, на одну и ту же дальность полета 4000 км и с одним и тем же временем набора и снижения: 20 и 30 минут, соответственно. При этом для двигателя Д-30КП "Бурлак" в таблице 1 "Методики" указан часовой расход топлива $Q_{\text{час}} = 1733$ кг/ч, а для двигателя ПС-90А - $Q_{\text{час}} = 1977$ кг/ч (т.е. +14 %).

По-видимому, $Q_{\text{час}}$ двигателя "Бурлак" принят в соответствии с данными рекламного проспекта: $R = 2750$ кгс, $C_R = 0,63$ кг/(кгс·ч), $Q_{\text{час}} = 1733$ кг/ч ($0,63$ кг/(кгс·ч) · 2750 кгс) - в условиях $H = 11$ км, $M = 0,8$ на крейсерском режиме, а для двигателя ПС-90А(-76) - из основных технических данных: $R = 3300$ кгс, $C_R = 0,599$ кг/(кгс·ч), $Q_{\text{час}} = 0,599$ кг/(кгс·ч) · 3300 кгс = 1977 кг/ч - в условиях также $H = 11$ км, $M = 0,8$ на максимальном крейсерском режиме.

Очевидно, что тяга $R_{\text{макс.кр}} = 3300$ кгс не могла быть использована для данного расчета расхода топлива при той же массе самолета Ил-76 (195 т) и дана на двигателе ПС-90А-76 для использования на максимальном крейсерском режиме при больших высотах и других особых условиях.

Несколько различные крейсерские скорости полета, по непонятным причинам принятые в примере: для ПС-90А $V_n = 820$ км/ч ($M = 0,77$) и для "Бурлака" $V_n = 800$ км/ч ($M = 0,75$), не смогут привести для самолетов с одинаковым взлетным весом и дальностью полета к столь значительным перерасходам среднечасового расхода топлива двигателями ПС-90А(-76) (+14%), учитывая меньший на -5 % удельный расход топлива двигателя ПС-90А(-76).

Даже с учетом поправок на скорость крейсерского полета и больший диаметр двигателя ПС-90А увеличение часового расхода топлива (оставив за базовый = 1733 кг/ч двигателя "Бурлак") будет составлять ~ 3 %, а не 14 %, с которым дальше оперирует "Методика", определяя затраты на топливо и снижая коммерческую нагрузку.

При более объективном сравнении эффективности двух силовых установок, рассчитанных для одной и той же скорости крейсерского полета, среднечасовой расход топлива двигателя ПС-90А $Q_{\text{час}}$ составит 1688 кг/ч, то есть на 2,6 % меньше, чем $Q_{\text{час}}$ двигателя Д-30КП "Бурлак" даже с учетом большего диаметра двигателя ПС-90А-76.

При соблюдении "синхронизации по времени" (т.е. в период эксплуатации после 2007 г.) и с учетом деформирования двигателя ПС-90А-76 на всех режимах, включая взлетный, номинальный и максимальный крейсерский по сравнению с базовыми двигателями ПС-90А, отдельные экземпляры которых достигли уже к настоящему времени общей наработки 20 000 ч, а без снятия с крыла - 8000 ч, начальные ресурсы, согласованные в настоящее время (5000 ч - назначенный и 2500 ч - межремонтный), должны быть увеличены в расчетах, по крайней мере, до прогнозируемых на 2007 г., - 24 000 ч (назначенный) и до 6000 ч (межремонтный).

Очевидно, что использование только более достоверных цифр по расходу топлива и ресурсам двигателей радикально изменяет результаты данного приближенного сравнения двух силовых установок. Так, расчеты с использованием новых значений расходов топлива и ресурсов практически выравнивают доходы владельцев при ремоторизации самолета Ил-76 при

сохранении других условий, принятых в таблице 1 "Методики", включая стоимости двигателей ПС-90А и Д-30КП "Бурлак" (\$3,5 млн и \$1,5 млн) и, соответственно, стоимости их капитального ремонта.

Принимать продажную цену двигателя Д-30КП "Бурлак" равной \$1,3...1,5 млн в настоящее время, когда не известны все реальные затраты на его доводку и сертификацию для коммерческого использования, было бы крайне преждевременно, учитывая, что двигатель Д-30КП-2 в настоящее время стоит около \$2 млн.

В заключение следует еще раз отметить главное: проведение сравнительных расчетов двух двигателей, значительно отличающихся по размерности, тяге, массе и удельному расходу топлива, необходимо производить не при постоянных взлетной массе и дальности полета самолета, а с полным использованием всех имеющихся резервов по максимальной взлетной массе самолета, и, соответственно, дальности полета и полезной нагрузке, а также следует учитывать экономические выгоды для владельца самолета вследствие возможности взлетать с полной платной нагрузкой в условиях жаркого климата, из высоко расположенных аэропортов и с коротких взлетных полос.

Следует также принять во внимание относительно небольшое увеличение диаметра вентилятора (D_B от 1455 мм до 1662 мм), принятое для двигателя "Бурлак", и, как следствие, - меньший уровень тяг по сравнению с ПС-90А-76 во всех условиях, особенно в высотных, и возможные ограничения по предельным температурам газа перед турбиной и шуму будут препятствовать дальнейшему развитию самолетов Ил-76Т, ТД, их удлиненных модификаций Ил-76МФ, ТФ, а также ремоторизации самолетов типа Ил-86 ($R_{\text{макс. кр}} = 3220 \text{ кгс}$). □

ИНФОРМАЦИЯ

Группа компаний Arbyte, отечественный производитель аппаратно-программных комплексов для САПР и ГИС, примет участие в VII Международном авиационно-космическом салоне МАКС 2005, который пройдет с 16 по 21 августа 2005 г. в г. Жу-

ковском Московской области.

Arbyte совместно с ведущими отечественными и зарубежными разработчиками программного обеспечения CAD/CAM/CAE представит специализированные решения для моделирования и инженерных расчетов

на базе профессиональных графических станций, кластерных систем Arbyte и систем Silicon Graphics с помощью системы стереовизуализации ARBYTE VizioCenter - первого инструментария визуализации с эффектом погружения, разработанного в России. □

АВИАДВИГАТЕЛИ XXI ВЕКА

Уважаемые коллеги!

Приглашаем Вас принять участие в работе

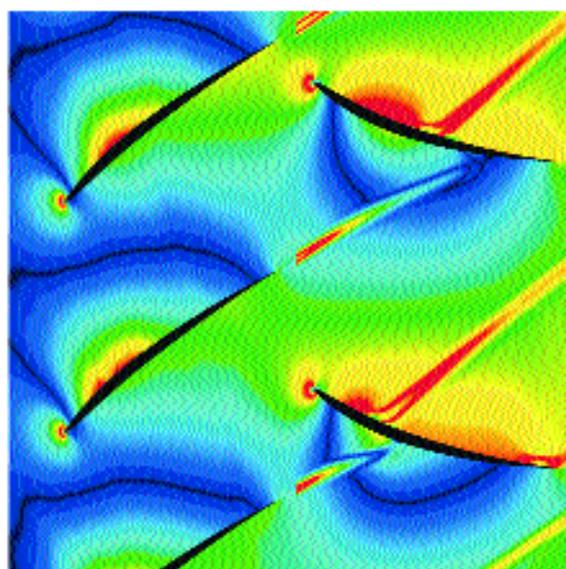
II Международной научно-технической конференции

ПРОБЛЕМАТИКА КОНФЕРЕНЦИИ

- Обобщение опыта российских и зарубежных ученых в области разработки перспективных авиационных двигателей
- Обеспечение технологической готовности к созданию перспективных авиационных двигателей и энергоустановок
- Повышение эффективности разработки двигателей и их узлов на основе развития методов проектирования и математического моделирования
- Обеспечение высокой надежности, ресурса, безопасности полетов
- Обеспечение защиты окружающей среды при эксплуатации авиационных двигателей
- Интеграция силовых установок и ЛА

По вопросам участия в Конференции обращаться в Оргкомитет

6-9 декабря 2005, г. Москва, ЦИАМ



Оргкомитет Конференции:
111116, Москва, ул. Авиапостроная, д. 2.
Тел.: (095) 362-55-46, 261-65-46.
Факс: (095) 267-1354.

E-mail: aeroconf@ciam.ru www.aeroconf.ciam.ru



ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ РЕНТГЕНОВСКОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ В ДВИГАТЕЛЕСТРОЕНИИ

Эдуард Вайнберг, президент ООО "ПРОМИНТРО", д.т.н.

Отработка технологии, производство и эксплуатация современных авиационных, энергетических, автомобильных и ракетных двигателей немислимы без использования высокоинформативных средств неразрушающего контроля качества и количественной технической диагностики.

К сожалению, традиционные методы неразрушающего контроля, незаменимые при исследовании наружной поверхности или изделий простейшей формы типа листов или труб, не обеспечивают в необходимой степени контроль внутренней структуры сложных, пространственно развитых деталей и сборок, типичных для конструкций современных двигателей.

Например, чем измерить толщину стенки замкнутой рубашки охлаждения или охлаждаемой турбинной лопатки сложной формы? Чем оценить распределение плотности по объему твердотопливного ракетного двигателя или боеприпаса? А величину зазоров и правильность сборки ответственного клапана или датчика? Как оценить качество пайки внутри сложной форсунки или неразъемного соединения? Как проверить соответствие пространственного армирования и структуры многослойной композиционной конструкции требованиям чертежа? Как гарантировать качество и надежность сложного литья, если в вашем распоряжении нет адекватных средств неразрушающего контроля изделий произвольной формы и структуры?

Именно для решения указанных задач разработаны и выпускаются промышленные рентгеновские компьютерные томографы, способные количественно исследовать внутреннюю пространственную структуру изделий любой сложности. Чем сложнее изделие, тем ярче проявляются уникальные информационные возможности компьютерных томографов.

Достаточно сравнить приведенные ниже изображения цифровой рентгенограммы (слева) и компьютерных томограмм головок блока цилиндров автомобильного двигателя.

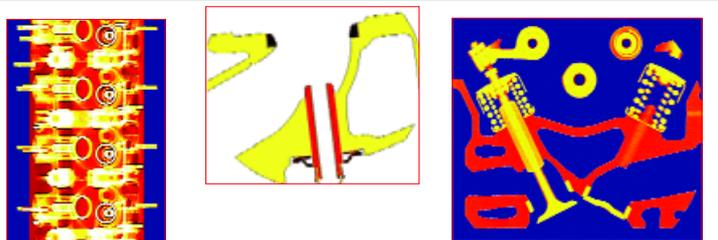


Рис. 1. Рентгенограмма, локальная и обзорная томограммы головок блока цилиндров автомобильного двигателя

На рентгенограмме тени сложной структуры накладываются друг на друга и маскируют важные фрагменты конструкции, а тем более мелкие дефекты.

На томограммах - все наоборот. Сложная внутренняя структура изделия воспроизводится без наложений, как на чертеже сечения. Материалы разной плотности и состава четко различаются. Размеры любой недоступной полости и стенки могут быть измерены с точностью лучше 0,05 мм. Дефекты в виде пор и включений отчетливо обнаруживаются, где бы они ни прятались внутри сложной структуры. Трещины с раскрыти-

ем в 50 мкм уверенно обнаруживаются вне зависимости от их ориентации.

По чувствительности к локальным дефектам, малым отклонениям геометрии и плотности внутри изделий со сложной внутренней структурой компьютерные томографы на два порядка превосходят возможности традиционных средств неразрушающего контроля.

И все это оператор способен оценить без разрушения изделия, сидя за столом перед экраном компьютера. Для размещения томографического оборудования, типичный внешний вид которого представлен на рис. 2, достаточно рентгеновского бокса и пультавой, а для работы на томографе необходим всего один оператор.



Рис. 2. Внешний вид компьютерных томографов ВТ-500Х и ВТ-1500А и рабочего места оператора

Каждая приведенная в этой статье томограмма ("слоеграмма") содержит миллион 16-разрядных цифровых значений, отражающих распределение плотности материалов в исследуемом сечении или выбранной оператором отдельной зоне такого сечения (локальная томограмма).

Результаты томографического контроля представляются в виде изображений на экране монитора, графиков и распечаток внутренней структуры, позволяющих обнаружить и бесконтактно измерить геометрические размеры, дефекты в виде разнотностей, пор, трещин, включений и т.п. Это современнейшая аппаратура, объединившая четко сформулированную математическую идею, хорошо изученную и освоенную физику рентгеновского просвечивания с удивительными достижениями компьютерной техники.

В упрощенном виде принцип работы рентгеновского компьютерного томографа состоит в реконструкции (восстановлении) трехмерного распределения плотности материалов в объеме объекта контроля по совокупности интегральных теневых проекций, полученных при рентгеновском просвечивании изделия в различных направлениях. Сам процесс подобен тому, как вы рассматриваете с разных сторон треснувший стакан, с той лишь разницей, что объект томографического контроля непрозрачен, а число необходимых углов (направлений) просвечивания порядка 1000. Если учесть, что обычный рентгеновский снимок - это только аналоговая запись одной из 1000 таких проекций, то станет понятным, почему компьютерные томографы - это сложные и достаточно дорогостоящие устройства.

Современный промышленный компьютерный томограф обычно имеет в своем составе прецизионную многокоординатную сканирующую систему с подвижным столом, на котором закрепляется контролируемое изделие, мощный высокоэнергетический источник

рентгеновского излучения с минимальными размерами фокусного пятна, многоканальный блок детекторов, сменные коллиматоры и фильтры, быстродействующий вычислительный комплекс, поддерживаемый специализированным программным обеспечением, высококачественные монитор и цветной принтер.

Кроме того, в состав томографа входят элементы биологической защиты, стандартные образцы для юстировки и проверки метрологического состояния, а также многочисленные электронные подсистемы, обеспечивающие совместную работу всех частей томографа под управлением компьютера и оператора.

Универсальные компьютерные томографы обычно поддерживают несколько режимов неразрушающего контроля: цифровую рентгенографию, обзорную и локальную томографию выбранного сечения (рис. 1), многослойное сканирование с трехмерной реконструкцией объемной структуры изделия (рис. 3) и др.

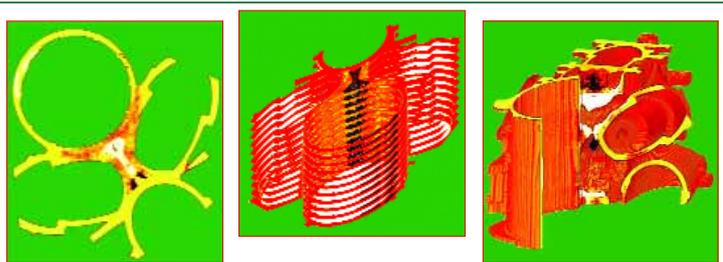


Рис. 3. Однослойная томограмма, многослойная томограмма и трехмерная реконструкция сложного литья

Для интерактивной расшифровки цифровых результатов томографического контроля предусмотрен широкий спектр современных математических методов обработки, визуализации и документирования. Неограниченное время хранения цифровых томограмм (в неизменном виде) создает качественно новые возможности проведения функциональной диагностики и исследования малых изменений внутренней структуры на протяжении всей "жизни" ответственных изделий: на последовательных стадиях изготовления, при хранении, в процессе эксплуатации, при ремонте и испытаниях, под влиянием внешних воздействий (механических, тепловых, радиационных, влаги и т.п.). Регулярное архивирование томограмм при серийном производстве однотипных изделий позволяет контролировать технологическую дисциплину, качество исходных материалов и износ технологического оборудования.

Для повышения уровня разработок и технологии бывает полезно без разрушения детально изучить особенности внутреннего устройства изделий-аналогов, выпускаемых конкурентами или с использованием альтернативных технологических приемов, подобно тому, как это представлено на рис. 4 и 5.

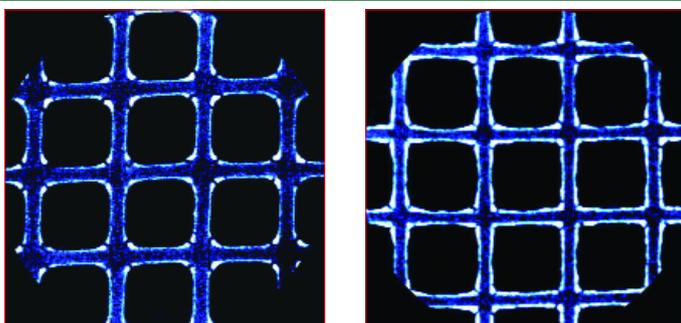


Рис. 4. Распределение платины в каталитических нейтрализаторах фирм Walker (слева) и General Motors (справа)

Вычислительные томографы незаменимы при отработке технологии, измерении толщины стенок и сертификации охлаждаемых турбинных лопаток современных авиационных и энергетических газотурбинных двигателей (рис. 6).

Высокая достоверность неразрушающего томографического контроля с обнаружением критичных утонений толщины стенок и скрытых внутренних дефектов - необходимый фактор

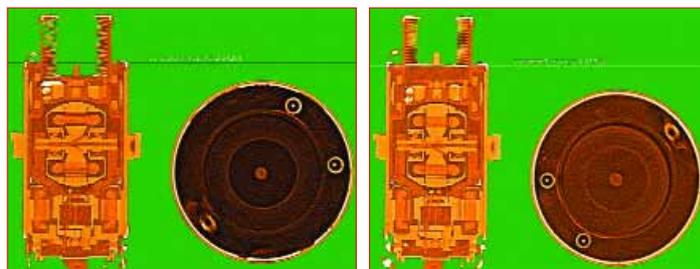


Рис. 5. Оценка качества пайки двух однотипных датчиков угловой скорости (левый - дефектный)



Рис. 6. Примеры результатов томографического контроля охлаждаемых турбинных лопаток ГД

обеспечения качества и надежности охлаждаемых турбинных лопаток и двигателя в целом. Как иначе без разрушения измерить локальную толщину разнотолщинной стенки в подобных изделиях да еще с точностью лучше 50 мкм? Ни рентгенография, ни ультразвуковая аппаратура не эффективны при контроле современных лопаток, целых блоков и турбин со все усложняющейся внутренней структурой. Поэтому томографический контроль за последние годы стал важным элементом повышения конкурентоспособности изделий ведущих аэрокосмических и двигателестроительных фирм. Например, каждая сверхскоростная турбина ЖРД "Вулкан" ракеты "Ариан-5" сертифицируется с помощью российского компьютерного томографа BT-500.

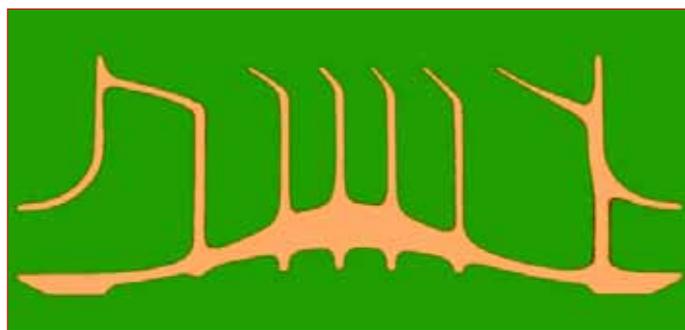


Рис. 7. Томограмма турбины ЖРД

Не менее эффективен томографический контроль качества сварных, паяных и клеевых соединений в сложных сборках (рис. 5 и 8).

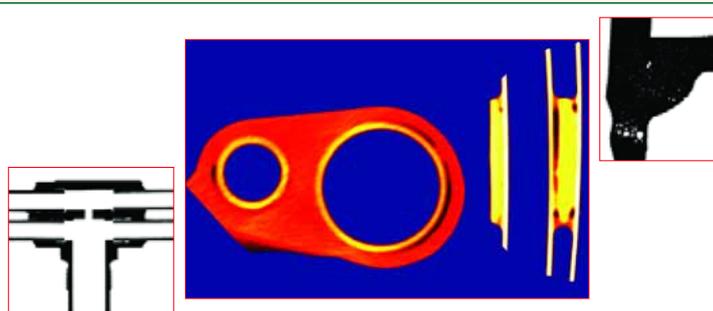


Рис. 8. Примеры томограмм паяных и сварных соединений

Трудно переоценить возможности количественного неразрушающего томографического контроля при отработке технологии и сертификации в процессе хранения камер сгорания и сопловых блоков ракетных твердотопливных двигателей (рис. 9). Количественная оценка распределения плотности твердого топлива по объему двигателя дополняется эффективностью обнаружения малых отслоений в зоне сопряжения топлива с корпусом и уникальной информативностью при изучении внутренней структуры сопловых блоков и многослойных конструкций управления вектором тяги.

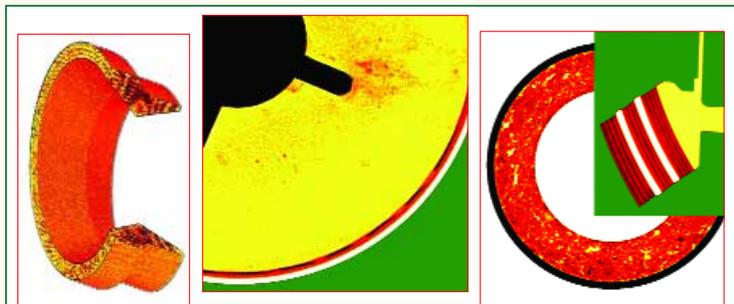


Рис. 9. Примеры результатов томографического контроля узлов современных РДТТ

В основе технологии производства большинства композиционных материалов и конструкций лежит метод достижения необходимых механических и теплофизических свойств путем формирования оптимальной (применительно к условиям эксплуатации) пространственной структуры изделий из специально подобранных исходных материалов и структурных элементов. Эффективность этого приема в решающей степени зависит от способности используемого технологического процесса воспроизводить с необходимой точностью требуемую объемную структуру в каждом изготавливаемом изделии.

Однако в рамках традиционных методов промышленной диагностики в распоряжении разработчика и технолога нет средств объективной неразрушающей оценки фактических геометрических параметров внутренней объемной структуры изделий из композиционных материалов, что разрывает необходимую причинно-следственную связь между технологией, структурой и эксплуатационными свойствами.

В этой связи метод и аппаратура рентгеновской компьютерной томографии представляются чрезвычайно важными для всей технологической цепи создания конструкций из композиционных материалов, будь то сотовые конструктивные или теплозащитные блоки, многомерно армированные углерод-углеродные рули и тормозные кольца, армированные волокнами титановые диски перспективных авиационных двигателей, высокотемпературные графитовые уплотнительные кольца, вертолетные лопасти или лопасти маломощных вентиляторов из углерод-органопластиков (рис. 10).

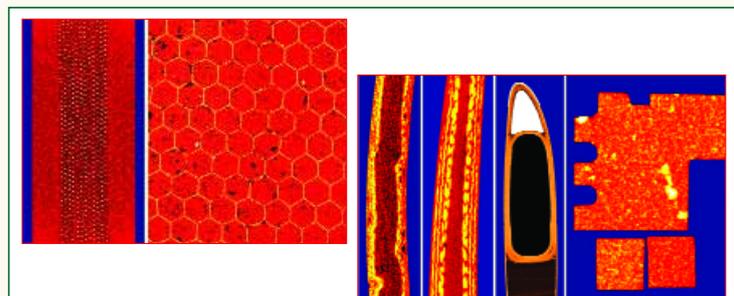


Рис. 10. Томограммы поперечного сечения диска из армированного титана, сотового теплозащитного блока, лопаток вентилятора, лопасти вертолета и графитовых уплотнительных колец

Рис. 11 позволяет получить еще лучшее представление об эффективности томографической сертификации сложного ответственного литья деталей автомобилей и аэрокосмических аппаратов из легких сплавов и стали.

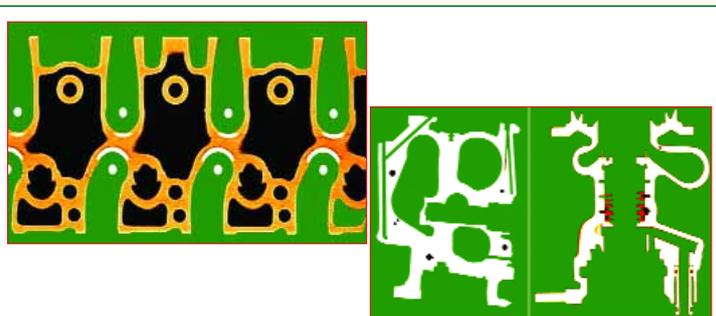


Рис. 11. Томограммы головки блока цилиндров, форсажного блока авиационного двигателя и блока ЖРД

Приведенные на рис. 12 и 13 примеры иллюстрируют уникальную информативность компьютерной томографии при контроле правильности сборки, величины зазоров, разноплотности и целостности деталей внутри сложных узлов и неразъемных соединений, например автоматической коробки передач автомобиля, всевозможных клапанов, датчиков, электродвигателей, силовой электроники и источников тока.

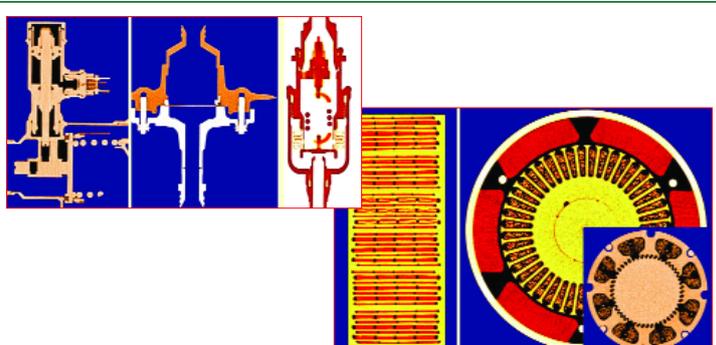


Рис. 12. Томограммы ракетных клапанов, аккумулятора, электродвигателя постоянного тока и шагового двигателя

Современная наука не располагает другим методом с подобным информационным потенциалом при неразрушающем исследовании сложной объемной структуры ответственных промышленных изделий.

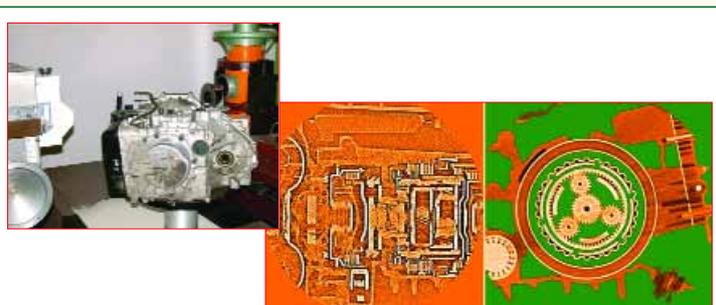


Рис. 13. Внешний вид и локальные томограммы современной автоматической коробки передач

Несмотря на уникальные информационные возможности вычислительных томографов, для многих руководителей предприятий, конструкторов и технологов они еще не стали привычным элементом технологии. Этой цели и служит настоящая публикация. Теперь вы знаете, что возрастающая сложность внутренней структуры современных двигателей и их подсистем - не препятствие, а повод ощутить красоту метода вычислительной томографии.

Все представленные выше томограммы были получены с помощью компьютерных томографов серии ВТ, выпускаемых ООО "Проминтро".

Тел./ Факс: (7-095) 361-9802.
Факс: 362-5617.
E-mail: indintro@vei.ru

VI МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ "ВЫСОКИЕ ТЕХНОЛОГИИ XXI ВЕКА"

18 апреля 2005 г. в Москве открылся традиционный VI Международный форум "Высокие технологии XXI века". Внимание к Форуму было поистине огромным. По сравнению с прежними годами выросло и число экспонентов, и число посетителей, как правило, профессионалов. Учитывая тот факт, что на выставке - одной из составных частей Форума - были представлены современнейшие разработки ученых и производителей, желательным было бы и более широкое представительство инвесторов. Хотя во время таких мероприятий, как правило, договоры не заключаются, есть надежда, что в течение года взаимовыгодные контракты будут подписаны.

Как и в прошлые годы, выставка проходила в выставочном комплексе "Экспоцентр". На ней были представлены достижения организаций и предприятий в различных областях науки и техники: авиационно-космической технологии (мы по привычке объединяем эти две отрасли, хотя теперь они уже опять в разных агентствах), радиоэлектроника и связь, информационные технологии, машиностроение и металлообработка, энергетика, медицина, новые материалы и технологии и многое другое.

Немалый интерес представляют и материалы конференции, проводимой в дни Форума. В докладах, прозвучавших на конференции, рассматривались самые разнообразные вопросы.

В частности, были рассмотрены проблемы внедрения в российскую промышленность современных информационных технологий, необходимых как для организации управления производством, так и обеспечение конструкторских и технологических расчетов. К сожалению, в среднем по стране используется всего 7 % оборудования с ЧПУ против 65...92 % в передовых странах мира. Столь большое отставание в современном обрабатывающем оборудовании не позволяет уверенно бороться за рынки сбыта своего товара с зарубежными конкурентами. Ситуация с годами только усугубляется, разговоры остаются разговорами, а никаких мер не предпринимается. Руководящие органы постоянно реорганизуются, а мо-



дернизация производства не проводится. Вместо того, чтобы снизить, а то и убрать пошлины на ввоз современного оборудования, Россия предоставляет льготы на ввоз готовой продукции.

Российскими учеными, конструкторами и производственниками сделано очень много. Наш журнал, специализирующийся на двигателестроении и применении двигателей во всех отраслях промышленности, в первую очередь интересовали проблемы

по данной тематике. В связи с прогнозируемым снижением добычи углеродосодержащих топлив во всем мире рассматриваются проблемы использования водорода в энергетике и транспорте. Кроме того, сейчас актуальны проблемы и сохранения окружающей среды.

К настоящему времени уже накоплен достаточный опыт, подтверждающий возможность создания экономичных экологически чистых двигателей, работающих на водороде. Одним из направлений применения водорода следует считать создание электроприводных двигателей, в которых источником энергии служит водородный электрохимический генератор. Правда, широкому применению водорода пока препятствуют технологические сложности получения водорода в промышленных масштабах, достаточных для обеспечения разнообразных транспортных средств.

Именно поэтому в некоторых докладах рассматривались проблемы получения моторных топлив из угля, запасов которого должно хватить на несколько столетий. Для начала широкомасштабных работ по данному направлению необходима государственная программа, аналогичная той, которая существовала в СССР. Но вот уже 15 лет в этой области ничего не делается - Россия это время потеряла. А в Индонезии строится завод по производству 10 млн т в год моторных топлив из угля. Китай приступил к строительству завода с производительностью до 5 млн т топлива из угля по российской технологии!

В Москве успешно проводится эксперимент по использованию диметилового эфира в качестве топлива для дизельных двигателей. Применение этого вида топлива решает множество экологических проблем для городского транспорта. Остается решить вопрос о производстве этого топлива в России, а заводы по производству до 100 т диметилового эфира в сутки строит Mitsubishi.

Досадно, что в стране, богатой прекрасными идеями (что и показал прошедший Форум), нет возможности для их реализации.

Соб. Инф.

Наши уважаемые авторы и читатели!

Предлагаем вашему вниманию еще одну статью из "Двигателя" начала XX века. Вот так выглядели автомобили на заре своего развития. Однако, несмотря на некую "игрушечность" применяемой техники, которую мы могли бы заметить в сравнении с собственным взглядом на нее век спустя, уже и тогда все было более чем всерьез. И это тоже любопытно. Как-то мы будем смотреться век спустя.

Александр Бажанов, Дмитрий Боев, издатели журнала "Двигатель"

"Двигатель" № 24 за 1910 г.

Автомобили завода Даймлеръ модели 1911

АВТОМОБИЛИ ЗАВОДА ДАЙМЛЕР МОДЕЛИ 1911 г.

Из всех новых моделей завода Даймлер, заготавливаемых на 1911 год, наиболее интересной является модель 12-ти сильного автомобиля, который имеет много нововведений.

Четыре цилиндра отлиты в одном блоке, т.е. за одно целое; эта конструкция наиболее удобна, так как во всех двигателях Даймлера цилиндры имеют насаживаемые цилиндрические головки. Диаметр цилиндра 12-ти сильного двигателя 69 мм, ход поршня - 114 мм; при этом некруглая цифра, взятая для диаметра цилиндра, обусловливается желанием получить более низкий годовой налог на автомобиль. Группа цилиндров представляет весьма точно и чисто обработанную отливку, причем, как видно из прилагаемых рисунков, двигатель устанавливается в раме шасси под значительным углом назад; вследствие этого облегчается работа двигателя и уменьшается изнашивание карданного сочленения на рабочем валу. Нет надобности указывать, что клапаны заменены двумя концентрическими распределительными гильзами. Впускные и выпускные каналы расположены на противоположных сторонах, причем особого внимания заслуживают всасывающий и выпускной трубопроводы. Благодаря их особой конструкции возможен, во-первых, легкий и свободный вход смеси и, во-вторых, свободный выход продуктов сгорания. Распределительные гильзы, поршни, шатуны и эксцентриковый вал сохраняют обычную, принятую заводом Даймлер, конструкцию, но заметно изменено расположение коленчатого вала в трех промежуточных подшипниках крупного размера, и вал этот упирается на переднем конце в особый подшипник. На заднем конце коленчатого вала, непосредственно впереди маховика насажено цепное колесо, которое передает движение при посредстве "бесшумной" цепи эксцентриковому валу с передачей 2 : 1.

Как и в 15-ти сильном двигателе, поперечный вал расположен на переднем конце двигателя и приводится в движение винтовой передачей; на одном конце этого вала находится магнето, а на другом - водяной насос; все эти части очень доступны и легко снимаются. Карбюратор слегка видоизменен, так газообразная смесь подается двумя струями, из которых одна при малой скорости, а обе действуют только при дроссельном клапане, открытом больше, чем наполовину. Впуск дополнительного воздуха производится, как и в ти-

пе 1910 г., при помощи серий стальных шаров, закрывающих воздушные отверстия и приподнимающихся со своих сиделищ при всасывающем ходе двигателя. Карбюратор работает более автоматически и легче доступен, сравнительно с прежними типами.

Система смазки в этой новой 12-ти сильной модели весьма остроумна и интересна, - она показана на прилагаемом схематическом рисунке (рис. 2). На дне картера кривошипа образован особый резервуар, где расположен скалковый насос, приводимый в движение эксцентриком клапанного вала. С основанием насоса соединен качающийся двухпроходной клапан, который движется при помощи одного из эксцентриковых штифтов на распределительных стаканах; этот двухпроходной клапан служит для того, чтобы открывать цилиндр насоса, когда требуется впуск масла при всасывающем ходе, или же с другой стороны, чтобы подавать масло при сжимающем ходе к главному трубопроводу, показанному на рисунке.

Масло, нагнетаемое насосом, поступает в неглубокий резервуар, расположенный на переднем конце двигателя, и затем стекает, в силу наклона двигателя назад, к четырем главным отделениям картера, каждое из которых находится под кривошипом с шатуном. Избыток масла из четырех названных резервуаров поступает самотеком назад в первый резервуар, как обычно. С каждой стороны ряда названных отделений расположен щит из листового железа, мешающий маслу разбрызгиваться. При этом новой особенностью описываемой системы является то, что погружение концов шатунов в масляную ванну изменяется соответственно различным условиям хода двигателя. Основная плита, на которой находятся названные отделения, прикреплена к двум штангам, которые, в свою очередь, лежат на четырех коротких рычагах, расположенных по углам. При таком устройстве отделения могут быть подняты или опущены относительно шатунов, причем тяга, которая управляет этим передвижением отделений, находится в связи с дроссельным клапаном. Когда при тихом ходе двигателя дроссельный клапан почти закрыт, концы шатунов только слегка касаются поверхности масла в отделениях; но по мере открытия клапана они поднимаются вверх, и, следовательно, двигатель снабжается маслом соответственно работе в данный момент. Утверждают, и это вполне вероятно, что при такой регулировке смазки достигается экономия в расходе масла. Кроме того, устраняется образование дыма, происходящее при чрезмерной смазке.

Передаточный механизм совершенно такой же, как и в 15-ти сильной модели, - имеются три скорости и обратный ход, с червячным приводом, причем наклонное положение двигателя допускает почти прямой привод от коленчатого вала к червяку под задней осью.

Муфта сцепления кожаная, коническая, обычного типа Даймлер с наружной пружиной, так что она не действует автоматически, а при помощи шарикового подшипника

двигатель снабжается маслом соответственно работе в данный момент. Утверждают, и это вполне вероятно, что при такой регулировке смазки достигается экономия в расходе масла. Кроме того, устраняется образование дыма, происходящее при чрезмерной смазке.

Муфта сцепления кожаная, коническая, обычного типа Даймлер с наружной пружиной, так что она не действует автоматически, а при помощи шарикового подшипника

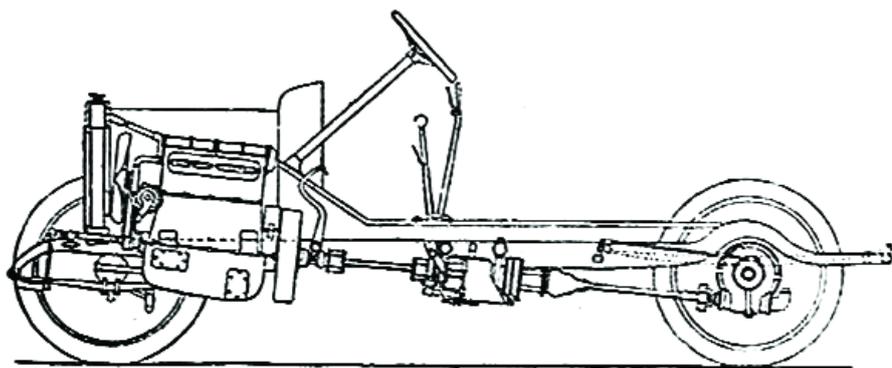


Рис. 1. Шасси 12-сильного автомобиля конструкции Даймлера

на коленчатом валу. Между двигателем и коробкой скоростей включен гибкий вал. Боковой тормозной рычаг по-прежнему приводит в действие тормоз на движущем валу, тогда как тормозная педаль управляет тормозами на задних колесах.

Колеса съемные и сменные типа Rudge-Whitworth'a размер - 870x90. В новой модели расстояние между осями колес - 8 ф 10 дм, ширина хода - 4 ф 3 дм и приблизительный вес шасси 12 центнеров. Отношение прямой передачи на большую скорость равно 6:29, или приблизительно 4,8:1. В 15-ти сильной модели оно - 4,37:1.

На 1911 год намечаются еще следующие модели Даймлер: 15-ти сильная 4-х цилиндровая, 23 л. с. - 6-ти цилиндровая, 25 л.с. 4-х цилиндровая, 38 л.с. 6-ти цилиндровая и 57 л.с. - 6-ти цилиндровая. Все снабжены бесклапанными двигателями и имеют между собой много общего, как вообще в конструкции механизмов, так и по внешнему виду. 15-ти сильная модель почти та же самая, что и 1910 года, с двигателем 80x130 мм, тремя скоростями и червячной передачей. Это весьма удачная модель, и только одно видоизме-

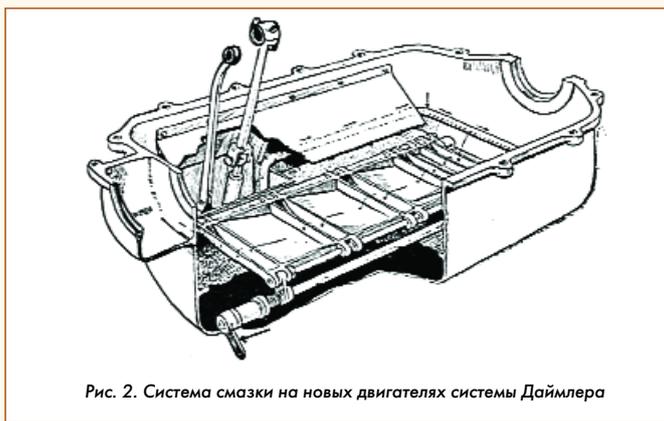
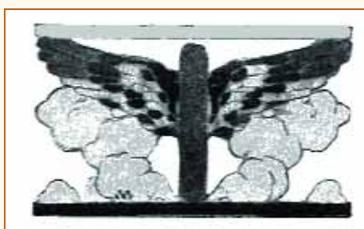


Рис. 2. Система смазки на новых двигателях системы Даймлера



нение заслуживает упоминания - это система смазки согласно вышеописанной, т.е. регулируемая в связи с положением дроссельного клапана. Новая 23-х сильная модель, с шестью цилиндрами, в общих чертах раза в полтора крупнее 15-ти сильной, но диаметр цилиндра и ход поршня те же, что и в 15-ти сильной. Расстояние между осями увеличено на 10 дм, т.е. до 10 ф 6 дм и колеса больше на 2 дм. Передача на заднюю ось - червячная. 25-ти сильная модель представляет собой среднее между 15-ти и 38-ми сильными моделями. Последняя имеет четыре цилиндра и почти не имеет изменений против 1910 г., за исключением системы смазки; размеры цилиндра прежние - диаметр 124 мм и ход поршня - 130 мм; передача на заднюю ось - коническими зубчатыми колесами.

Далее следует 38-ми сильная, шестицилиндровая модель, размеры цилиндра которой те же, что и в 25-ти сильной; задний привод червячный. Наконец, самая крупная модель - 57-ми сильная, шестицилиндровая, коническая передача на заднюю ось и размеры цилиндра такие же, как в 4-х цилиндровой 38-ми сильной модели.

[Подготовка к печати - Андрей Червяков, к.т.н.]

ИНФОРМАЦИЯ

Первый российский грузовой тепловоз 2ТЭ70, построенный специалистами Коломенского завода в июле 2004 г., успешно прошел все этапы предварительных испытаний и подтвердил заявленные заводом-изготовителем технические характеристики и преимущества по сравнению с эксплуатируемыми в настоящее время грузовыми тепловозами.

Во время испытаний тепловоз 2ТЭ70 водил грузовые составы массой свыше 6000 т. По сравнению с тепловозами 2ТЭ116, эксплуатируемыми на сети железных дорог России, новый локомотив имеет ряд принципиальных технических преимуществ. Грузовой 2ТЭ70 с электрической передачей переменного тока обеспечивает повышенную силу тяги, что позволит на 20...30 % увеличить массу составов на линиях с тепловозной тягой. По оценкам экспертов, введение в эксплуатацию 2ТЭ70 существенно повысит пропускную способность железных дорог.

Кроме того, тепловоз 2ТЭ70 позволит увеличить скорость движения грузовых составов на 10...20 км/ч, уменьшить эксплуатационные расходы за счет снижения расхода топлива и масла и применения микропроцессорной системы управления и диагностики, улучшить условия работы локомотивных бригад. На тепловозе установлен высокоэкономичный дизель-генератор 2А-9ДГ-02 с улучшенными экологическими характеристиками, который обеспечивает расход топлива на современном международном уровне.

По оценке генерального директора ОАО "Коломенский завод" Владимира Власова, грузовой тепловоз 2ТЭ70, полностью отвечающий современным требова-

ниям к новым магистральным тепловозам, будет востребован на рынке.

Во время испытаний тепловоз 2ТЭ70 водил грузовые составы массой свыше 6000 тонн. Всего было перевезено 168857 тонн грузов. Испытания локомотива проходили на участках железной дороги со сложным профилем: руководящие подъемы участков доходили до 13,9 ‰. В ходе эксплуатационного пробега проверялись работоспособность и взаимодействие агрегатов и систем локомотива. В процессе эксплуатации отказов тепловоза 2ТЭ70-001, повлекших за собой браки, неисправности в поездной работе, не было, что подтверждено протоколом испытаний.

"Результаты эксплуатационного пробега тепловоза 2ТЭ70 полностью подтвердили заявленные заводом технические характеристики, - заявил главный конструктор по локомотивостроению Анатолий Подоприсветов. - В качестве базовой конструкции для создания грузового тепловоза 2ТЭ70 была принята конструкция нового пассажирского тепловоза ТЭП70БС, построенного на Коломенском заводе в 2002 году. Особенностью экипажной части 2ТЭ70 является опорно-рамное подвешивание тяговых электродвигателей и редукторов - это нетрадиционное решение в части тягового привода грузового локомотива, поскольку действующие сейчас на железных дорогах России грузовые тепловозы имеют опорно-осевое подвешивание тяговых электродвигателей. Такое решение позволит значительно повысить надежность работы тягового привода и снизить воздействие на железнодорожный путь".

Сегодня на территории России более 80 % грузовых перевозок осуществляется желез-



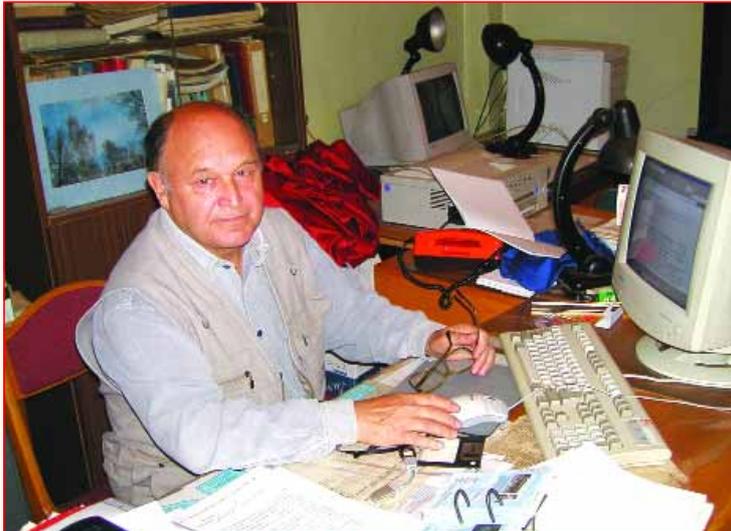
нодорожным транспортом, и задача обновления локомотивного парка является первоочередной в свете обеспечения потребностей экономики страны. В настоящее время железнодорожная отрасль испытывает потребность в новых магистральных локомотивах, в том числе грузовых тепловозах, производство которых после распада СССР осталось на территории Украины. Грузовой тепловоз 2ТЭ70 разработан и построен на Коломенском заводе, изготовлен полностью из отечественных комплектующих. Освоение производства грузового тепловоза 2ТЭ70 в России позволит перейти от импорта грузовых тепловозов к развитию собственного производства данной техники.

В настоящее время тепловоз 2ТЭ70 находится на заводе, завершается оформление документов и протоколов предварительных испытаний. В ближайшее время тепловоз 2ТЭ70 будет направлен на экспериментальное кольцо ВНИИЖТ в Щербинку для проведения комплекса приемочных и сертификационных испытаний, после которых будет принято решение о постановке тепловоза на производство.

ЧЕМУ УЧИТЬ ИССЛЕДОВАТЕЛЯ

Редакция попросила Анатолия Николаевича Петухова, доктора технических наук, профессора МАИ, члена-корреспондента РАЕН начальника сектора "Усталость конструкционных материалов и деталей ГТД" ЦИАМ, лауреата многих премий и наград, автора более 300 работ по конструкционной прочности и усталости авиационных материалов и конструкций и двух десятков изобретений в канун его юбилея (с чем мы его сердечно поздравляем) высказаться о современной постановке эксперимента при научных исследованиях.

Как говорил С.П. Капица, "Опыт - те зерна, из которых потом произрастает наука, а теория занимается перемалыванием этих зерен для пользы дела". Плодотворно заниматься постановкой исследовательских задач, анализом и обработкой результатов могут специалисты, ясно понимающие, какие процессы имеют место в эксперименте. Иначе общее направление работ будет выбрано неверно. При этом нужно стараться оценить соотношение различных сил и факторов, действующих во время опыта. Если же исследователь полностью полагается



на "умный" компьютер, то он перестает ощущать физическую суть процесса. В таком случае, несмотря на самые "современные" методики, неизбежны грубейшие ошибки. Это касается и материаловедения, и газовой динамики.

По моему глубокому убеждению, не следует перекладывать все надежды только на возможности вычислительной техники. Проведение эксперимента (и уж тем более - обработка и представление его результатов) может и должно вестись с применением самой современной измерительной и анализирующей техники. Это, однако, нисколько не исключает необходимости применения знаний и опыта экспериментатора. Электроника всякого рода не более, чем инструмент. Картину можно рисовать и кистью, и карандашом, и пальцем, в конце концов. Но чем бы Вы не создавали ее - почерк будет именно Ваш, а по результату видно - какой Вы на самом деле мастер в деле, за которое взялись.

Надо, всегда помнить, что все изучаемые нами явления - процессы, развивающиеся во времени и пространстве. И многие привычно употребляемые понятия, скажем, "напряжения в расчетной точке" - не более, чем математическая абстракция (такая же, как и само понятие "точка"): это на самом деле процесс, зависящий от совокупности геометрических и силовых факторов, а также - от свойств изучаемого объекта, от равномерности его структуры, анизотропии его свойств, изменения его параметров при контакте с другими объектами, атмосферой, их тренда по времени.

Лет двадцать тому назад при изучении причин усталостного напряжения диска турбины "исследователи", определявшие действующие напряжения с помощью тензометров, не учли наличия градиента этого напряжения в исследуемой зоне детали. Это привело в конечном счете примерно к пятикратной ошибке в сторону повышения запасов прочности.

Область разброса показаний - на самом деле не свойство объекта, но свойство по большей части процесса измерения. Инженерам давно уже надо принять за аксиому то, что знают ученые: ни один измерительный прибор не измеряет те величины, какие мы от него ожидаем. Все они показывают изме-

нение своих собственных характеристик вследствие действия на них этих самых параметров, а заодно и еще бог знает чего, называемого обычно шумом или помехами. Любое измерение - температуры ли, давления, влажности, напряжения и т.д. - процесс взаимодействия датчика с измеряемым объектом и всеми вносящими погрешности факторами, не связанными на самом деле с измеряемой величиной. При этом, конечно же, процесс обоюдный: датчик вносит искажение в картину процесса. Отсюда и берет начало разброс. Это тоже должно

учитываться при правильной постановке эксперимента.

При исследовании свойств материала надо знать о существовании в любом исследуемом объекте поверхностного слоя, свойства которого (физические, механические, прочностные, тепловые и прочие) отличаются от аналогичных свойств основной массы образца. Это - также причина возникновения повышенных ошибок. При механической и термической обработке, изменения свойств поверхности весьма и весьма неоднородны и заранее, строго говоря, не предсказуемы.

Любопытно, что в месте контакта поверхностей может возникать крайне неравномерное напряженное состояние. Это происходит вследствие неидеальности геометрических параметров и шероховатости поверхности. Так вот, такие большие напряжения могут приводить к локальному разогреву материала, образованию окислов и иных соединений, изменяющих свойства материала поверхности. Но любопытно, что при очень больших нагрузках (у границ пластической деформации материала) повреждения могут быть даже и меньше, чем при чуть меньших нагрузках. Большие исходные напряжения образуют начальные очаги разрушения, которые затем способны развиваться при напряжениях уже существенно меньших. А когда нагрузки не уменьшаются, может иметь место "залечивание" исходных повреждений и их дальнейшее развитие не происходит. Этого эффекта нет при несколько меньших нагрузках, а раз так - деталь теряет прочностные свойства. Это опасно потому, что происходит при напряжениях гораздо меньших, чем прогнозировалось расчетом. Страшно там, где не ждешь ничего страшного, потому, что не понимаешь возможности его появления.



Это то, что надо учитывать конструкторам и эксплуатантам техники. В этом и заключается применение опыта и знаний на практике, с чего мы начали разговор. То, чем всегда была сильна отечественная научная школа - нормальным процессом накопления и передачи опыта и грамотностью постановки и решения задач. И будет очень обидно, если положившись на "разум" умных компьютеров и не прилагая собственного, мы все это потеряем. **П**

МАСТЕРА СВОЕГО ДЕЛА

В этом году московскому предприятию авиационного двигателестроения ММП "Салют" довелось дважды проводить заключительные этапы конкурсов профессионального мастерства "Московские мастера 2005". В отличие от прошлых лет, когда на заводе проводились соревнования среди станочников, в этом году добавился конкурс среди программистов. И это вполне логично, ведь уже давно завод перешел на безбумажную технологию. Конструкторы, технологи, производственники давно освоили компьютер.

Четвертого июня прошел заключительный этап городского конкурса профессионального мастерства "Московские мастера 2005" среди токарей-универсалов, фрезеровщиков-универсалов и слесарей-инструментальщиков. Председатель конкурсной комиссии Юрий Елисеев - генеральный директор ФГУП "ММП" "Салют" - обратился к участникам и гостям с приветственной речью. Основная мысль выступления заключалась в том, что, несмотря на внедрение в металлообработку станков с числовым программным управлением, некоторые детали (особенно при единичном исполнении) приходится делать на универсальных станках. И здесь определяющим становится мастерство станочника, ведь цена ошибки очень велика, особенно с учетом современных цен на материалы. Ну, а слесарем-инструментальщиком может стать не каждый - мастер должен иметь точный глаз и верную руку.

К собравшимся также обратились заместитель руководителя департамента науки и промышленной политики Москвы Владимир Киришин и председатель городского комитета профсоюза трудящихся авиационной промышленности Сергей Чугунов.

Сам конкурс начался с проверки теоретических знаний. Каждый из участников получил билет с вопросами. Вот очень краткий перечень этих вопросов:

- Сколько процентов карбида вольфрама в сплаве Т15К6?



- Жаропрочный сплав - это сплав на основе железа, алюминия, никеля или титана (выбрать)?

- Какая схема торцевого фрезерования наиболее выгодна с точки зрения стойкости инструмента при обработке жаропрочных и нержавеющей сталей?

- Отрезной резец имеет две главных режущих кромки, одну вспомогательную режущую кромку, две вершины или вспомогательный угол в плане, равный -5° (выбрать)?



После сдачи контрольных листов конкурсанты получили заготовки и чертежи. По сигналу приступили к обработке, а комиссия тем временем оценивала теоретические познания. Не успели проверить до конца, а участники стали сдавать готовые детали. Но, как это бывает, не первый изготовивший деталь, стал победителем. Главное - точное соблюдение размеров. В итоге победителями среди токарей стали:

1. Лев Аверин - ОАО "МТЗ трансмаш".
2. Николай Снытко - ОАО "ЗИЛ".
3. Анатолий Коршунов - ЦРМЗ филиал

ОАО "Мосэнерго".

Среди фрезеровщиков:

1. Станислав Архипов - ФГУП "ММП" "Салют".
2. Евгений Новицкий - ФГУП "ММП" "Салют".
3. Михаил Шавкин - ЦРМЗ филиал ОАО "Мосэнерго".

Среди слесарей:

1. Владимир Аксенов - ФГУП "ММП" "Салют".
2. Алексей Дедов - ОАО "МТЗ трансмаш".
3. Сергей Феоктистов - ФГУП "РСК "МиГ".

21 июня "сразились" программисты. Их труд не менее ответственен, ведь ошибка в программе приводит к выпуску бракованной детали. В билеты были включены по пять задач, конкурсант по своему желанию мог выбрать и решить не менее четырех из них. К сожалению, никому из участников не удалось выполнить даже четыре задания. В итоге места среди победителей распределились следующим образом:

1. Андрей Захаров - ФГУП "НИИ им. А.А. Семенихина".
2. Евгений Ратников - ФГУП "ММП" "Салют".
3. Станислав Вериго - РГТУ МАТИ им. К.Э. Циолковского.

Победители всех конкурсов получили медали, дипломы, ценные подарки и денежные премии. 



ЛОПАТОЧНЫЕ МАШИНЫ



По определению БСЭ, лопаточная машина - это устройство для преобразования энергии движущейся капельной жидкости или газа в энергию вращающегося вала (например, гидротурбина) или наоборот (например, вентилятор). Передача мощности потоку или от потока происходит в результате изменения момента количества движения жидкости или газа при проходе через рабочее колесо лопаточной машины.

Преобразователи энергии, в которых используются лопаточные машины, весьма распространены в технике. В качестве примеров можно привести паротурбинные и гидротурбинные приводы электростанций, газотурбинные установки силовых станций, станций подкачки и приводы насосов и нефтяных качалок. Самое широкое применение лопатки нашли в конструкции газотурбинных двигателей (ГТД) транспортных устройств: самолетов, кораблей, автомобилей и танков. По времени появления ГТД относят к новейшим образцам техники: ведь им нет еще и века. Однако история попыток создания лопаточных машин восходит к весьма отдаленным временам. Как ни удивительно, лопатки - одни из наиболее древних технических устройств, примененных человеком.

Собственно, сам термин "лопаточные машины" появился в результате некоего симбиоза известной еще со времен европейской античности игрушечной вертушки типа "сегнерова колеса" и находящейся в потоке жидкости или газа квазидвумерной пластины - "лопатки" (длина и ширина ее существенно больше толщины) со специальной профилировкой поверхности, перемещающейся относительно этого потока и взаимодействующей с ним. Рабочее колесо лопаточной машины состоит из целого ряда одинаковых (и в этом отличие лопаточной машины от любой другой) лопаток, посаженных по диску рабочего колеса либо веером по окружности - у осевых компрессоров и турбин, либо по боковой поверхности диска - у центробежных или центростремительных лопаточных машин. В зависимости от того, что служит источником энергии перемещения лопатки в потоке, машины, содержащие оснащенные этими лопатками рабочие колеса, могут быть нагнетательными (компрессоры, вентиляторы, воздухоподогреватели, насосы, в которых движение лопаток перемещает поток) или приводными (турбинными, мельничными, гидроприводными, ветрогенераторными и т.д.). У последних движение потока приводит во вращение оснащенный лопатками ротор. Такие роторы являются приводами для различных агрегатов - генераторов, насосов, нагнетателей, мельниц, качалок и прочего.



Древнейшее упоминание об устройстве, которое приводилось во вращение энергией истекающего из него потока, содержится в работах древнеримских историков. Изобретение этой машинки, получившей название "золипил", приписывалось Герону Александрийскому, который жил в I в. н.э.

Точные годы рождения и смерти Герона Александрийского (Heronus Alexandrinus) неизвестны. Он работал в Александрии, которая была одним из культурных центров античности, в самом начале первого тысячелетия. Многочисленные работы Герона дошли до нас только в копиях и упоминаниях современников. Если верить Плинию и его коллегам, Герон был автором работ, сводящих в цельную систему основ-

ные достижения античного мира в области прикладной механики. Так, в "Механике" Герона описаны пять простейших машин: рычаг, ворот, клин, винт и блок, а также зубчатая (цевочная) передача (предложенная Героном к прибору для измерения протяженности дорог). В сочинении "О диоптре" излагались правила земельной съемки, давалось описание "диоптра" - прототипа современного теодолита. В трактате "Об изготовлении метательных машин" Герон изложил основы баллистики, в "Метрике" были собраны правила и формулы для точного и приближенного расчета различных геометрических фигур, правила численного решения квадратных уравнений и приближенного извлечения квадратных и кубических корней. Механизмы и автоматы Герона не нашли сколько-нибудь широкого практического применения. Они употреблялись, в основном, в конструкциях механических игрушек. Исключением, пожалуй, являлись лишь гидравлические машины, на основе которых были усовершенствованы античные водочерпалки. В работе "Пневматика" Герон описал различные механизмы, приводимые в движение нагретым или сжатым воздухом или паром. Среди них упомянутый нами золипил - шар, вращающийся под действием пара, а также автомат для открывания дверей, пожарный насос, различные сифоны, водяной орган, механический театр марионеток и т.д.

Несмотря на то, что золипил (о нем, впрочем, мы достаточно подробно писали в статье прошлого номера, посвященной паровым турбинам), пожалуй, наиболее близок по конструкции и принципу действия к современной паровой турбине, до XIX века это устройство было практически забыто инженерами. В истории это не новость: достаточно вспомнить древнеамериканские цивилизации, не знавшие колеса, а ведь дети индейцев забавлялись с ...игрушечными тележками.

Реально первым применил лопаточные машины к делу известнейший из изобретателей античности Архимед Сиракузский. Его водоподъемный "архимедов винт" - шнек, которым пользуются в разных приложениях уже третье тысячелетие не что иное, как лопаточная машина. Кстати, любой из используемых нами шнеков или винтов - прямой наследник этого изобретения и тоже такая же машина. Так что, берясь за ручку мясорубки, можно гордиться сопричастностью.

Тем не менее, различного рода водоподъемные машины (нории) использовались многими цивилизациями: европейскими, арабской, китайской. Это, строго говоря, водяные турбины, правда, весьма неторопливо работающие и с совершенно специфическими задачами. Одновременно с ними или чуть позже появились машины более универсального на-



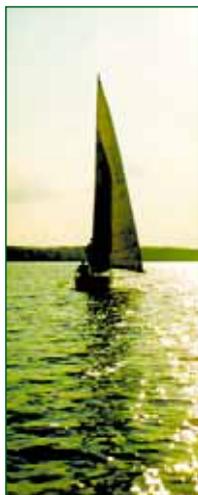


значения - водяные и ветряные мельницы. Впрочем, в полном смысле лопаточными машинами их назвать нельзя, хотя именно на основе

этих механизмов и была разработана вся гамма современных устройств такого рода.

Несомненно, первой лопаткой в истории было обыкновенное весло или даже просто большая щепка, которой наш дальний предок выгребал на своем первом "плавсредстве" - бревне, плоте, лодке. Причем, по убеждению многих историков, эти действия происходили задолго до того, как запрягли первую лошадь. Надо заметить, что даже когда мы с вами плаваем в воде, то ладони наших рук выполняют ту же функцию весла (или лопатки).

Более совершенный привод (и также для передвижения по воде) - парус - тоже, по существу, не что иное как лопатка, находящаяся в воздушном потоке. Заметим, что если весло можно считать прототипом нагнетающей (компрессорной) лопатки, то парус - яркий пример предка турбинной (приводной) лопатки.



Впрочем, предки - предками, но надо, конечно, учитывать, что приведенные примеры относятся не к двигателям, то есть преобразователям энергии, а к движителям. Такие устройства прикладывают преобразованную энергию мускульной силы человека, ветра и т.п. к перемещению самого человека или его транспортного средства. Грань между одним и другим весьма тонка и условна, но она очень существенна: в моторе-колесе современного суперсамосвала колесо - это колесо (оно же движитель), а мотор, то есть двигатель - все же отдельная машина, хоть и смонтированная в одно целое с предыдущей.

Лопатка и машина смогли соединиться в лопаточную машину только после того, как лопасти - весла - "отобрали" у гребца и закрепили на оси мельничного ветряного или водяного колеса. Я здесь уже упоминал про эти устройства, но именно они, на самом деле, и были прототипами лопаточных машин, используемых сегодня.

Естественно, развитие конструкций мельничных колес, как и самих мельниц является результатом опытов и находок многих поколений строителей и создателей этих устройств. За более чем две тысячи лет было построено огромное количество разнообразных ветряных и водяных мельниц, но имена их создателей, как правило, канули в Лету. И к XIX веку, когда ученые начали обобщать опыт использования подобной техники, анализировать и пытаться как-то классифицировать его, мельницы представляли собой уже весьма совершенные конструкции.

Основы теории лопаточных машин как самостоятельной научной дисциплины были заложены российским академиком Леонардом Эйлером, впервые описавшим основную гидромеханическую схему их работы. К этому времени в работах Леонардо да Винчи, Бернулли, Ньютона, Лейбница и

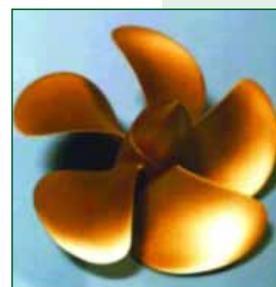
многих других были достаточно хорошо разработаны основы гидростатики и подготовлен математический аппарат, способный описать поведение сжимаемых и несжимаемых жидкостей в потоке. Тем не менее, опыт (эмпирика) оказывался все-таки ведущим методом при проектировании турбомашин. Так, собственно говоря, происходило и происходит с любой иной техникой во времена ее зарождения и становления. Интуиция - неосознанный опыт ученого и конструктора - значит (по крайней мере, на первых порах) ничуть не меньше, чем опыт осознанный. Плохо только, если с течением времени параллельно не нарабатывается и осознаваемый, объяснимый опыт, не приходит понимание проходящих процессов. Ныне по теории и конструкции лопаточных машин разного рода, работающих как в газовой, так и жидкой среде, написано огромное количество весьма подробных и обстоятельных трудов. Тем не менее, тема "не закрыта": исследования в этой области техники до сих пор продолжаются. Правда, дилетантам здесь больше делать нечего.

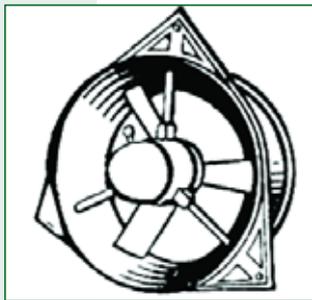
Итак, лопаточные машины, какого бы рода они не были, в качестве наиболее важного элемента содержат находящиеся на валу диски, оснащенные профилированными лопатками. Диски вращаются с большей или меньшей скоростью (это связано с типом и назначением машины), составляющей от единиц оборотов в минуту у ветрогенераторов и мельниц до десятков тысяч оборотов в минуту у газотурбинных двигателей и турбонагнетателей.

Лопатки современных лопаточных машин, в зависимости от назначения, выполняемой данным устройством задачи и среды, в которой им приходится работать, имеют самую различную конструкцию. Эволюцию этих конструкций можно проследить, скажем, сравнив лопатки средневековых мельниц - водяной и ветряной с лопатками их прямых наследников - ветродвигателя и гидротурбины ГЭС. Стоит заметить, кстати, что колеса ГЭС могут быть также весьма разнообразны по форме. У колесного парохода гребные колеса тоже представляют собой лопаточные машины, причем лопатки (тут они именуются "плика-



ми") имеют весьма сложное крепление, хотя и самую простую форму - это просто пластины. Такая форма, кстати, значительно облегчала ремонт. Другое дело - лопасти современного винта. Они имеют весьма сложную форму и профиль. Настолько сложную, что самые совершенные из них похожи скорее на творения скульптора-модерниста. Лопасти лопаточного





насоса, - по сути дела тот же винт, но заключенный в трубу. Его задача не отталкивать корабль от воды, а проталкивать саму воду. Или - нефть, или цементный раствор, или вообще, какую угодно жидкость. Иное назначение и форма у воздушных вентиляторов (вода примерно в 300 раз плотнее воздуха и намного более вязкая, а

кроме того, будучи жидкостью, практически несжимаема). Они имеют разные размеры - маленькие охлаждающие процессор компьютера, побольше - насосы в жаркую погоду, но бывают и огромные воздушодувки плавильных печей и систем промышленной вентиляции. Лопасти самолетного винта - тоже лопаточные машины весьма совершенной конст-



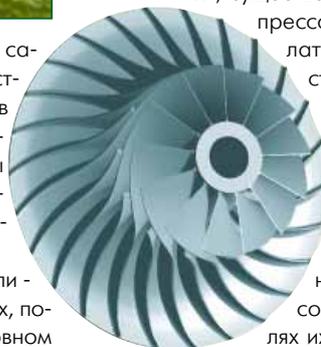
рукции. Видно, что винты первых дирижаблей и самолетов разительно не похожи на многолопастные винтовентиляторы, которые поднимают в воздух современные пассажирские и транспортные самолеты. А вот военные самолеты обычно приводятся в движение газотурбинными двигателями разного рода.

Газотурбинные двигатели - "особая песня". И вся она о лопаточных машинах, поскольку сам по себе двигатель образован в основном многими рядами рабочих колес с лопатками. В газотурбинном двигателе есть и компрессорные, и турбинные лопатки. Этим он, кстати говоря, отличается от любой другой машины, где имеются либо компрессорные нагнетающие лопатки, как в нагнетателях и воздушодувках всякого рода, либо турбинные лопатки, как у паротурбинных силовых установок или на ГЭС.

Следуя логике поставленной задачи, конструкция ГТД может быть весьма различной, а набор компрессорных и турбинных колес - самым разным. У них есть общие "родовые признаки": любой газотурбинный двигатель содержит компрессор, камеру сгорания и турбину. Но разнообразие членов этого

"рода" весьма велика. Все зависит от достигаемого эффекта. Задача компрессора ГТД - сжать воздух, чтобы обеспечить эффективное сгорание топлива в камере (в результате чего поток газа получает большую прирост энергии), а турбина обязана этот вновь приобретенный добавок снять, используя его для привода компрессора и для передачи мощности с вала потребителю (например, винту в случае турбовинтового двигателя).

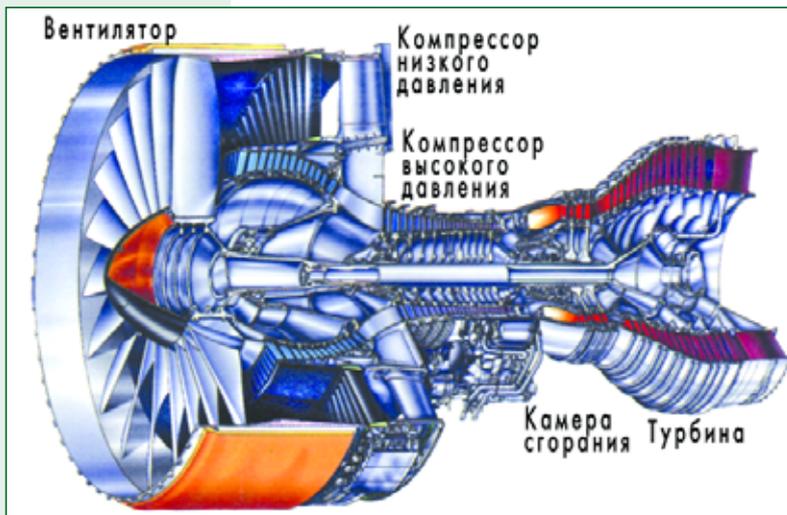
Компрессор может быть осевым, у которого направление движения воздуха совпадает в основном с осью двигателя (не вдаваясь в "мелочи" типа изменения этого направления в межлопаточном канале) и центробежным. У последнего, как можно догадаться из названия, часть энергии передается воздуху появляющимися при вращении центробежными силами, а следовательно, меняется и общее направление его движения: вектор действия центробежных сил перпендикулярен оси вращения вала. Напор, создаваемый центробежными колесами, существенно выше, чем у осевых ком-



прессоров, которые приходится делать многоступенчатыми для достижения такого же напора, какой в центробежном создает одна ступень. Но на поворот потока от осевого направления тратится слишком много "лишней" энергии. Поэтому эффективность центробежных компрессоров ниже и в мощных двигателях их сейчас практически не применяют. Впрочем, первые реактивные истребители оснащались именно на такими моторами. Сегодня центробежные компрессоры применяют в вертолетных ГТД, а также в малоразмерных двигателях крылатых ракет и самолетов-мишеней.

Лопатки осевых компрессоров авиационных ГТД также очень разнообразны. На первых входных ступенях они представляют собой сложное изделие, обладающее иногда внутренней структурой, напоминающей конструкцию самолетного крыла. Часто их изготавливают из композитных и неметаллических материалов, оснащают разного рода антивибрационными стяжками и бандажными полками. На средних, а тем более на последних ступенях такой "роскоши" (съедающей, кстати сказать, изрядную часть энергии, которая расходуется на преодоление трения воздуха) не бывает. Лопатка последней ступени компрессора ГТД - это просто металлическая пластинка, специально профилированная и изогнутая.

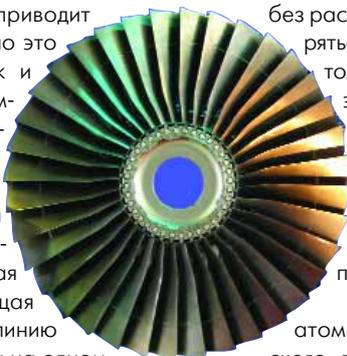
Не менее сложна конструкция турбинных лопаток и велика номенклатура применяемых при их производстве технологических приемов. Турбинная лопатка ГТД выполняет те же функции, что и в лопатка паровой турбины; разница в основном состоит в существенно более высокой температуре газа. Турбина ГТД размещается непосредственно за камерой сгорания, поэтому механические напряжения на ней настолько же выше, насколько выше и температурные. Из-за этого лопатки турбин приходится делать пустотелыми и охлаждать. Сейчас лопатки охлажда-





ют воздухом, а ранее существовали системы с охлаждением лопаток водой и даже жидким натрием. Расчет рациональной внутренней структуры турбинной лопатки и разработка технологии ее изготовления (с учетом предъявляемых требований к точности) представляют собой, пожалуй, наиболее трудные задачи при разработке современных ГТД.

Для каждой лопатки характерен собственный "аэродинамический профиль" (кстати, в силу существенных особенностей, аэродинамика лопаточных машин даже и называется иначе "газовая динамика"). Обычно он напоминает крыло летательного аппарата. По сути дела лопатка и является маленьким крылом. Или крыло - увеличенной лопаткой. Самое существенное отличие лопатки от крыла состоит в том, что лопатки работают в потоке, параметры которого очень сильно изменяются по ее длине. В частности, сильно изменяется величина и направление скорости потока, а, следовательно, столь же значительно должен меняться и угол установки лопатки по отношению к потоку. Все это приводит к тому, что лопатка (особенно это касается турбинных лопаток и лопаток первых ступеней компрессоров) оказывается сильно "перекрученной". В связи с этим, когда ученые описывают и изучают лопатки, всегда вводят понятие "решетки профилей". Это некая условная конструкция, представляющая собой как бы развернутый в линию срез по всем лопаткам колеса на одном радиусе. При этом считается, что угол установки лопатки в пределах этого среза еще не перекрутился и такую конструкцию можно исследовать в аэродинамической трубе, как набор маленьких "крылышек".

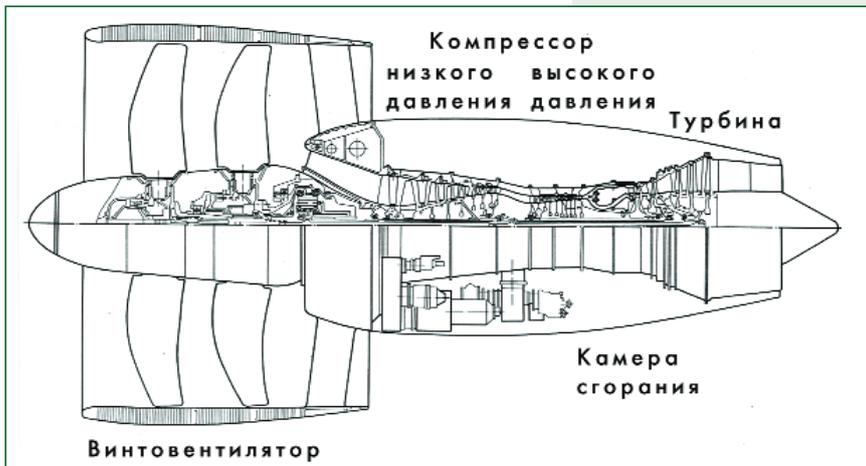


В компрессоре и турбине лопатки сprofilированы по-разному. Поскольку задача компрессора состоит в передаче энергии рабочему телу путем сжатия воздуха или газа

и/или повышения скорости его течения, то лопатки обычно проектируют так, чтобы профиль межлопаточного канала был конфузурным (сужающимся). Турбины проектируют таким образом, чтобы они образовывали диффузорный (расширяющийся) канал. При прохождении такого канала давление газа уменьшается, и энергия его передается рабочему колесу турбины.

Впрочем, и в турбинах и в компрессорах есть не только вращающиеся рабочие колеса, о чем мы гово-

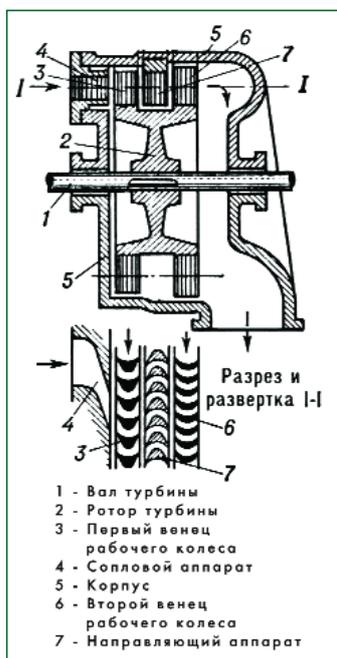
рим, но и ряды неподвижных лопаток. В компрессоре это - направляющие аппараты, в турбине - сопловые аппараты. Эти устройства предназначены для организации "правильного" протекания газа по лопаточной машине и согласования параметров от-



дельных рабочих колес в многоступенчатых агрегатах. Наличие соплового аппарата в турбине позволяет конструировать, скажем, рабочее колесо турбины без расширения газа. В этом случае газ будет расширяться в сопловом аппарате, а рабочее колесо - только раскручиваться потоком, отбирая его энергию. Существенное влияние на характер конструкции оказывают и свойства самого "перекачиваемого" рабочего тела. В первую очередь важно - газ это или жидкость (которая, как известно, несжимаема, а раз так - не предполагает изменения проходного сечения по межлопаточному каналу).

В тепловых электростанциях (ТЭЦ) и атомных электростанциях (АЭС) якорь электрического генератора также обычно приводится во вращение лопаточными турбинами, в которых срабатывается пар (чаще всего - водяной) высокого давления. Так что АЭС отличается от обычной ТЭЦ только тем, что в качестве подогревателя используется ядерный реактор. При штатной работе АЭС нет никаких вредных выбросов, поэтому в экологическом плане она гораздо чище всех других энергопроизводителей. Вот если бы еще не было головной боли с захоронением отходов отработанного ядерного топлива... Но - нет в мире совершенства!

А что наши старые знакомые - первые "лопатки" - паруса? Им суждено дальнейшее развитие. Теоретически прорабатывается очень давно и подробно и, наверно, скоро уже дойдет дело до использования солнечного паруса в космических клиперах и яхтах.



ВЕЛОСИПЕД - МАШИНА, В КОТОРОЙ ЧЕЛОВЕК - ДВИГАТЕЛЬ

Лето - время, когда велосипед становится одним из средств развлечения. И не только для неспешного катания вокруг дома. Сегодня на велосипедах совершают кругосветные путешествия, взбираются на горы, ходят по рекам и озерам, преодолевают препятствия. И для каждого применения нужна особая конструкция, поэтому с появлением новых областей применения велосипед непрерывно модернизируется. Получилось так, что велосипед стал своеобразным "раем" для изобретателей. Вопреки известной насмешливой фразе ("изобретать велосипед"), которой это занятие приравнивается к бессмысленной деятельности, в совершенствовании колесного безмоторного средства принимают участие тысячи энтузиастов.

Имя первого изобретателя велосипеда история не сохранила. Есть сведения, что еще в 1645 г. во Франции была выдана королевская лицензия на четырехколесную тележку с седлом. "Наездник", отталкиваясь ногами от земли, должен был развить приличную скорость. Но эта конструкция не нашла применения - лошади оставались главным транспортным средством. В 1779 г. попытка изобретения велосипеда была предпринята вновь, и снова неудачно по той же причине. О третьей попытке известно немногим больше. Четырехколесная тележка, построенная бароном Карлом Фридрихом Драйсом, в 1813 г. была даже продемонстрирована русскому царю Александру I (вместе с наступавшей армией он в то время находился в Германии). Но и тогда предпочтение было отдано (не по вине русского царя) лошадям. Все же лицензию Драйс получил, но только в 1817 г., когда после нескольких лет неурожая поголовье лошадей - основных конкурентов тележки - резко сократилось. К этому моменту Драйс модернизировал свое изобретение: убрал два лишних колеса, а к переднему приделал руль. Но Драйсу не удалось наладить производство. Позднее, несмотря на наличие баронской привилегии, самокат стали мастерить повсюду, благо что его отличала

простота конструкции. Драйса никто от пиратства (уже тогда принявшего широкий размах) не защитил, он так и не получил прибыли от своего изобретения.

В те далекие времена патентные бюро были завалены заявками на всевозможные конструкции самокатов. Интересно, что главной идеей этих изобретений являлось использование вместо лошади мускульной силы человека, причем не того, который правил самокатом. Так, в 1761 г. англичанин Овенден предложил деревянный экипаж, приводимый в движение находившимся в задней

части лакеем, который давил на педали. Водителю экипажа оставалось только править вожами, привязанными к рулю. В 1804 г. американец Болтон вместо лакея предложил ввести помощника седока, в обязанности которого вменялось крутить ручку шестеренчатого привода задних колес. Сохранились сведения и об отечественном "кулибине", крепостном Е.М. Артамонове, предложившем свой вариант самоката в 1801 г.

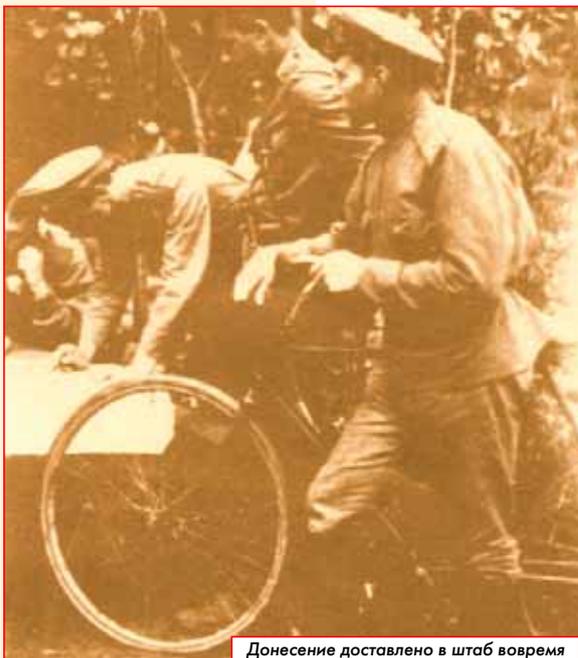
Самокат с момента завоевания им популярности не перестает совершенствоваться. Были придуманы педали, цепная передача, тормоз. Постепенно самокат превратился в велосипед, к которому мы привыкли и который не перестает изобретать до сих пор. Как и не перестают искать ему применение.

Как и почти всякая новинка, прежде всего велосипед нашел место в армии. Первое упоминание о боевом применении велосипеда относится к 1870 г., когда во время франко-прусской войны из осажденного Парижа прорвался посольный на велосипеде. А в 1885 г. в Великобритании была создана воинская часть, личный состав которой на высоких велосипедах с большими передними колесами был способен перемещаться довольно быстро и даже мог противостоять кавалерии. Опыт был признан удачным, и в англо-бурской войне 1899-1902 гг. британская армия успешно применяла велосипеды уже в массовом порядке. Вскоре велосипедные части были созданы во Франции, Германии, Италии, Бельгии, Швейцарии, Китае, Японии и России. Князь Б.Д. Потемкин в 1887 г. написал и издал книгу "Велосипед и его применение в военном деле".

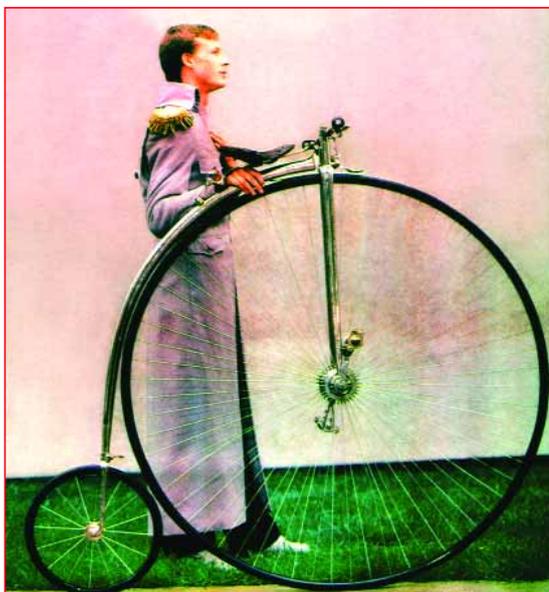
Российские самокатные роты (так тогда назывались подразделения, средством передвижения в которых был велосипед) первоначально снабжались французскими велосипедами "Пежо". Но летом 1915 г. было принято решение о развертывании отечественного производства военных велосипедов. Главное требование военных - российский велосипед должен по своим характеристикам превосходить французский "Пежо". Конструктору велосипеда это удалось. Например, складной механизм, сделанный по принципу "ружейного затвора", давал возможность быстро собирать машину в любых условиях. Низкая рама позволяла стрелять стоя, не сходя с машины. Масса велосипеда составляла 16 кг, и его в сложенном положении можно было переносить на спине.



Впервые велосипед участвовал на Олимпийских играх в 1880 г. на кольцевых гонках. На треке он появился в 1928 г.



Донесение доставлено в штаб вовремя



Первоначально велосипед выпускался там же, где и был разработан - на московском предприятии "Дукс". Но в связи с тем, что "Дукс" в 1917 г. перешел на выпуск самолетов, производство велосипедов передали на фабрику велосипедов и автомобилей Александра Лейтнера. Всего же до революции на разных заводах выпустили более 4000 "Дуксов". Во многих армиях мира велосипеды стояли на вооружении и поныне.

Вообще-то велосипедов на сегодня напридумано достаточно много. Есть велосипеды для маленьких детей, для подростков, для мужчин и женщин, для катания по паркам и езде по горным дорогам, для цирковых артистов и спортсменов. Конструкция каждого вызывает большой интерес и представляет широкое поле для его совершенствования. Можно решать проблемы обеспечения комфорта для ездока. Можно озадачиться проблемой перевозки грузов. А можно побороться за скорость, о чем мы и расскажем в этой статье.

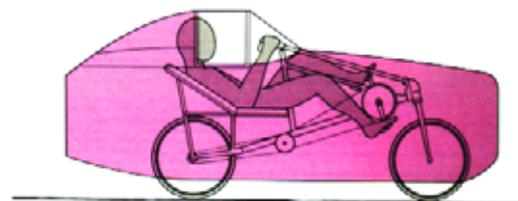
Принципы аэродинамики с большим успехом применяются для улучшения скоростных качеств самолетов, автомобилей, мотоциклов, других быстро движущихся объектов. Аппараты же, использующие мускульную силу человека, длительное время обходились без этой науки. Это кажется странным, поскольку для таких аппаратов сопротивление воздуха является основным тормозящим фактором. Так, при скорости велосипеда 30 км/ч лобовое сопротивление составляет 80 % полной тормозящей силы. При скоростях 30...50 км/ч лобовое сопротивление для велосипеда увеличивается еще больше.

До начала прошлого столетия полусогнутая поза велосипедиста получила широкое распространение как средство борьбы с сопротивлением воздуха. В 1912 г. француз Этьен Бюно-Варийа получил патент на обтекаемый корпус, закрывающий гонщика и велосипед от встречного потока воздуха. В 1933 г.

на велосипеде "Велодин" обтекаемой конструкции француз Марсель Бертэ в одночасовой гонке преодолел 49,98 км. Его скорость оказалась на 5 км/ч выше, чем достигнутая в одночасовых гонках на обычных велосипедах.

В том же году французский изобретатель Шарль Моше построил "Велокар", на котором гонщик располагался почти лежа на спине. Впоследствии Моше придумал своему детищу обтекаемую форму. Профессиональный гонщик Франсуа Фор в 1933-1938 г. установил на "Велокаре" несколько рекордов скорости. Моше и Фор надеялись, что Международный союз велосипедистов, признает эти рекорды. Однако этого не произошло.

Велокар

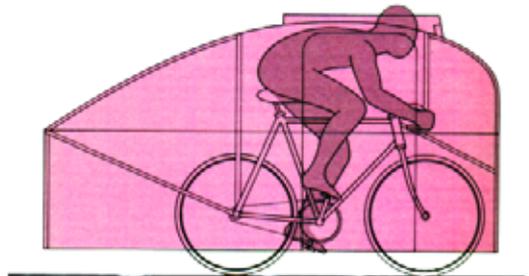


В 1938 г. Союз велосипедистов запретил использование при соревнованиях обтекателей и велосипедов с лежачей позой гонщика. Запрет этот действует до сих пор. Хорошо, что ветеринарный хирург, шотландец из Белфаста Джон Бойд Данлоп придумал пневматические шины для велосипеда в 1887 г., когда Союз еще не существовал. Надо отдать должное, со временем Союз смягчил свои ограничения. С 1976 г. в международных соревнованиях стали применяться облегчающие комбинезоны, были разрешены обтекаемые шлемы, рамы с каплевидным профилем сечения трубок, обтекаемые рукоятки тормозов и другие элементы конструкции с улучшенной аэродинамикой.

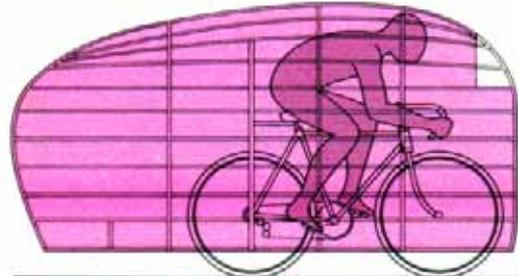
Совершенствование всех средств передвижения, использующих мускульную силу человека, на самом деле идет темпами, небывалыми со времен победоносного распространения велосипеда в XIX в. В 1973 г. Честер Р. Кайл и Джэк Г. Лэмби независимо друг от друга построили и опробовали два первых в США обтекаемых велосипеда. В отличие от своих предшественников они действительно измерили, насколько обтекаемая форма снижает сопротивление. Это было сделано путем проведения многочисленных испытаний, в ходе которых свободно катившийся с горки велосипед замедлял движение на горизонтальной плоскости. В указанных условиях замедление пропорционально сумме всех тормозящих сил. В эксперименте измерялись либо само замедление, либо скорость. Кайл и Лэмби, опубликовавшие результаты одновременно, пришли к выво-

Среди известных автостроителей, таких как Mazda, Porsche, Bentley, General Motors, Nissan регулярно проводятся соревнования gravity cars - колесных тележек, не имеющих никакого двигателя, кроме гравитации. При скатывании с 20-метровой рапы аэродинамически совершенные машинки разгоняются до скоростей, превышающих 50-километровый рубеж.

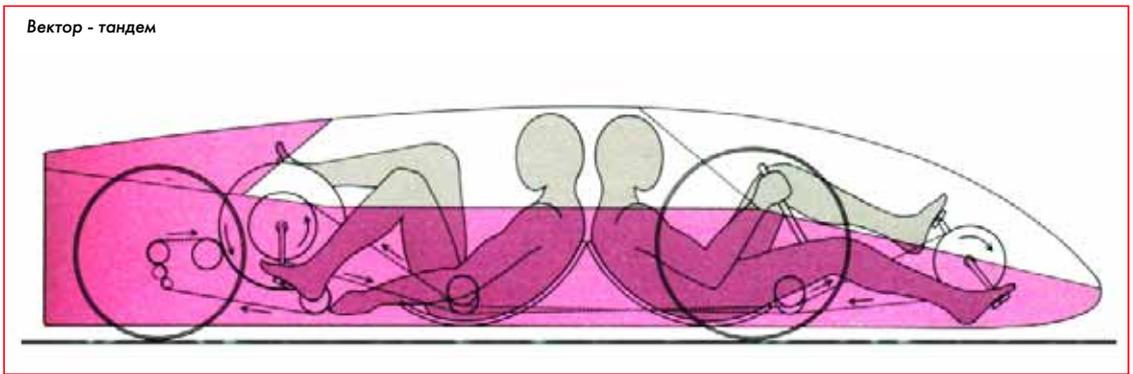
Велодин



Модель Кайла



Вектор - тандем



ду, что полная сила сопротивления может быть уменьшена более чем на 60 %, если использовать вертикально поставленный обтекатель в форме крыла, который бы целиком закрывал велосипед и гонщика (лишь спустя два года до Кайла и Лэмби дошли сведения, что подобные велосипеды были ранее построены в Европе). В 1974 г. Рональд П. Скэйрин, член олимпийской сборной США, установил пять мировых рекордов скорости на обтекаемом велосипеде Кайла. И тогда Кайл и Лэмби решили организовать соревнования велосипедов без ограничений на их конструкцию. В них приняли участие 14 не похожих друг на друга моделей. Многие из них были с гонщиками, лежащими на спине, на других - лицом вниз. Некоторые машины приводились в движение совместными усилиями рук и ног. Победу одержал обтекаемый тандем, построенный Филиппом Нортонном. Он сумел развить скорость 72,21 км/ч.

Поскольку Международный союз велосипедистов запрещает применение обтекателей, участники соревнований организовали в 1976 г. альтернативную Международную ассоциацию по развитию средств передвижения, использующих мускульную силу человека. Она ставит своей целью проведение соревнований без ограничений на конструкцию моделей. Начиная с этого времени аппараты, участвующие в соревнованиях, становились все более

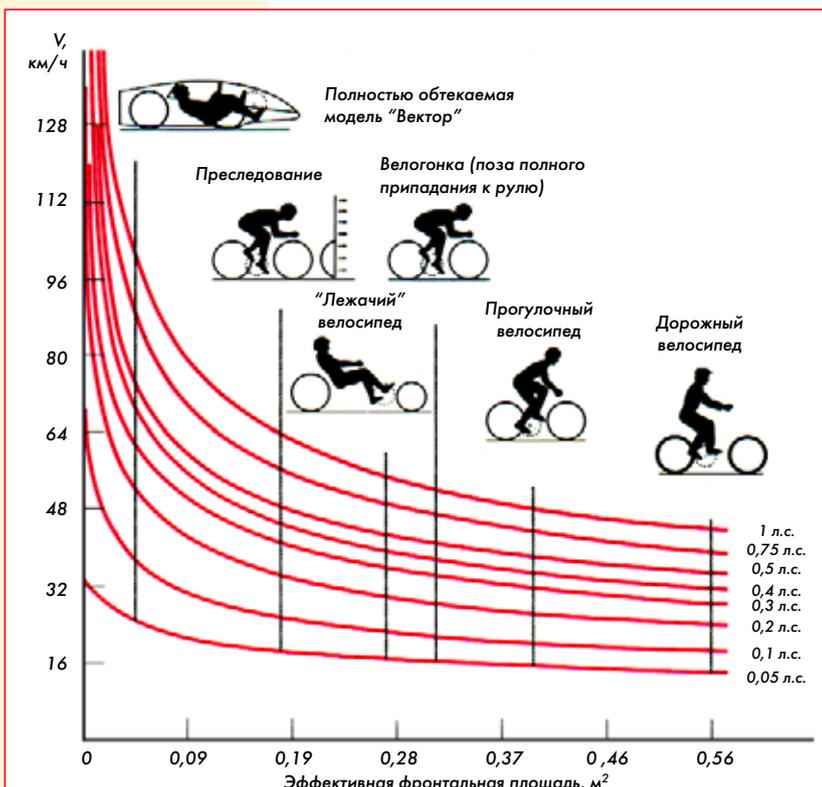
сложными, а скорости их росли. В 1980 г. на 200-метровом участке скоростной дороги после разгона на дистанции в одну милю велосипед модели "Вектор тандем" конструкции инженера Аллана А. Войгта развил скорость 101,26 км/ч.

Аэродинамическое сопротивление обусловлено, с одной стороны, разницей давлений впереди и позади велосипеда и зависит от формы велосипеда. С другой стороны, оно определяется трением о воздух. Сопротивление из-за разницы давлений возникает при отрыве потока воздуха от поверхности тела. Если отрыв происходит в тыловой части тела, то там образуется область пониженного (по сравнению с фронтальной областью) давления, что приводит к возникновению тормозящей силы. Сопротивление трения обусловлено вязкостью воздуха в пограничном слое, непосредственно примыкающем к поверхности движущегося тела.

Поверхности конструктивных элементов велосипеда цилиндрической, сферической и других форм плохи в смысле аэродинамики, поскольку на них происходит срыв воздушных потоков. Понижение давления за этими поверхностями приводит к возникновению тормозящей силы, которая в сотни раз превышает силу трения о воздух. В противоположность этому обтекаемые поверхности воздушные потоки обходят плавно и смыкаются за телом. Сопротивление из-за разности давлений значительно уменьшается, и более существенным становится сопротивление за счет трения.

Чтобы добиться наилучших скоростных качеств машины, нужно выбрать такую ее форму, при которой потери энергии на преодоление обоих видов сопротивления сводятся к минимуму. Для характеристики аэродинамических свойств тела используют понятие коэффициента сопротивления. Плохая в смысле аэродинамики поверхность, такая, как сфера, в определенных условиях может иметь коэффициент сопротивления порядка 1,3, в то время как у тела с хорошо обтекаемой каплевидной формой при тех же условиях он будет меньше 0,1. В результате затраты энергии на преодоление сопротивления воздуха у предмета каплевидной формы при движении будут в десять раз меньше, чем, например, у цилиндра.

Аэродинамическое сопротивление пропорционально произведению фронтальной площади аппарата на коэффициент сопротивления. Для удобства назовем это произведение эффективной фронтальной площадью. При сравнении аэродинамических свойств аппаратов недостаточно сопоставить коэффициенты сопротивления, необходимо учитывать и размеры сравниваемых аппаратов. С этой целью и вводится понятие эффективной фронтальной площади. Обычный велосипед с гон-



щиком имеет эффективную фронтальную площадь от 0,3 до 0,55 м², в то время как у велосипеда с обтекателем она менее 0,05 м², хотя фронтальная площадь у такого велосипеда больше!

Сила лобового сопротивления пропорциональна квадрату скорости, а мощность, затрачиваемая на движение с данной скоростью, - произведению силы на скорость. Следовательно, необходимая для движения в воздушной среде мощность растет пропорционально скорости в третьей степени. Поэтому даже небольшое увеличение скорости движения требует значительного увеличения усилий. Если при скорости 32 км/ч велосипедист удвоит усилия, он увеличит ее лишь до 40 км/ч. Уменьшение коэффициента сопротивления влияет на скорость меньше. Если при той же скорости 32 км/ч коэффициент сопротивления уменьшится вдвое, то, затрачивая такие же усилия, велосипедист увеличит свою скорость лишь до 39 км/ч. Это объясняется тем, что сопротивление качению остается неизменным. Если бы его не существовало, то увеличение мощности и уменьшение эффективной фронтальной площади вдвое обеспечивали бы одно и то же увеличение скорости - до 40 км/ч.

Итак, для достижения высоких скоростей требуются исключительно хорошие аэродинамические свойства. Велосипед модели "Вектор тандем", в котором каждый гонщик развивает мощность чуть больше 1 л.с., достиг скорости 101,26 км/ч. Чтобы разогнаться до такой скорости на обычном велосипеде необходима мощность более 6 л.с., что лежит за пределами физических возможностей человека.

Конструкторы и гонщики добиваются снижения аэродинамического сопротивления тремя способами. Во-первых, конструкция придает обтекаемую форму и делают их поверхности более гладкими (чтобы свести к минимуму трение о воздух). Во-вторых, добиваются уменьшения фронтальной площади пары гонщик - велосипед. В третьих, проводят заезды в условиях высокогорья.

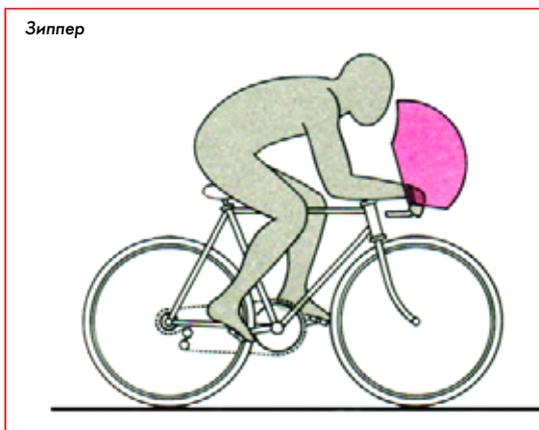
На больших высотах атмосфера менее плотная, поэтому велосипедистам приходится "раздвигать" меньшую массу воздуха. В Мехико, расположенном на высоте 2240 м, где плотность воздуха составляет 80 % от плотности на уровне моря, рекордные скорости на 3...5 % больше, чем внизу. В Ла-Пасе (Боливия) на высоте 3660 м рекорды теоретически можно улучшить на 14 %. На Луне, где нет атмосферы, а сила тяжести составляет лишь одну шестую земной, велосипед мог бы теоретически ехать со скоростью 383 км/ч при затрате мощности порядка 0,1 л.с.

Если энергию, которую велосипедист тратит на преодоление сопротивления воздуха при езде по ровной дороге со скоростью 30 км/ч, поделить на составляющие, то окажется, что 70 % ее расходуется на преодоление сопротивления, оказываемого велосипедисту, а 30 % - на преодоление сопротивления его машине. Из этого можно заключить, что, желая улучшить конструкцию велосипеда, следует прежде подумать об улучшении аэродинамики гонщика.

Согласно расчетам, гонщик, едущий в полусогнутой позе на обычном гоночном велосипеде, может развить скорость около 55 км/ч при затрате мощности 1 л.с. Но даже на "идеальном" велосипеде (у которого отсутствует аэродинамическое сопротивление и трение качения) тот же гонщик, прилагая такие же усилия, мог бы увеличить свою скорость всего на 6 км/ч. На обычных велосипедах для экономии энергии можно установить небольшой обтекатель, снижа-

ющий лобовое сопротивление до 20 % и способствующий повышению скорости на 4 км/ч при развиваемой велосипедистом мощности 1 л.с.

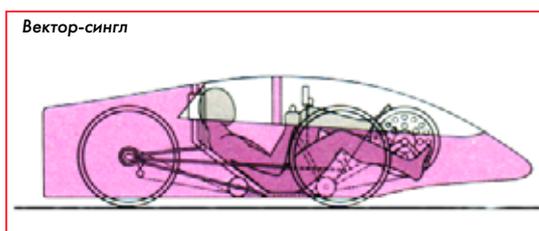
Другой эффективный способ повышения скорости - создание велосипеда с велосипедистом, размещенным лежа. Модели "Изи рейсер" и "Аватар 2000" вследствие малой фронтальной площади лежащего гонщика имеют на 15...20 % меньший коэффициент сопротивления воздуха, что обеспечивает примерно такой же выигрыш в скорости, как при использовании обтекателя "Зиппер". Такой велосипед обладает и другими достоинствами: велосипедист находится ближе к земле, и его падение не так опасно, а, кроме того, он едет ногами вперед, так что в случае аварии меньше вероятность повредить голову.



Зиппер

В 1982 г. советский гонщик Сергей Копылов на обычном гоночном велосипеде без вспомогательных устройств достиг 69,92 км/ч.

Самым дорогим безмоторным средством передвижения по суше является велосипед с полностью обтекаемым корпусом. Модель "Вектор сингл", одноместный вариант велосипеда "Вектор тандем", - наилучший пример полностью обтекаемой закрытой машины с педальным приводом. Согласно расчетам, этот велосипед теоретически способен развить скорость 99,3 км/ч при мощности 1 л.с.



Вектор-сингл

При езде по холмистой местности полностью обтекаемый велосипед сохраняет преимущества перед своим обычным собратом. Хотя "Вектор сингл" весит 36 кг (вес обычного велосипеда 11 кг), он преодолевает умеренные подъемы не хуже, а может быть и лучше обычного велосипеда. При затрате мощности 0,4 л.с. обычный велосипед забирается на 2,5-процентный подъем со скоростью 26 км/ч, а "Вектор" может двигаться со скоростью 33 км/ч. При движении под уклон разница еще более заметна. На протяженном уклоне 2,5 % обычный велосипед может достичь скорости 47 км/ч, а "Вектор" - 87 км/ч.

Результаты последних исследований аэродинамики велосипедов могут принести разнообразную практическую пользу. Обычный велосипед, вероятно, еще на многие годы сохранит доминирующее положение благодаря привычке людей, низкой стоимости, простоте и надежности. Но он оставляет ряд возможностей для нововведений.

(Продолжение следует)

ДВИГАТЕЛЬ ШОТЛАНДСКОГО ПАСТОРА

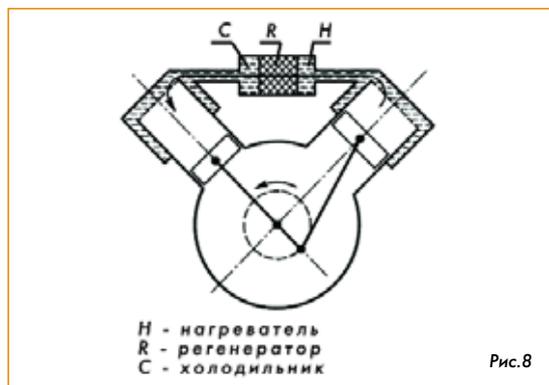
В предыдущем номере мы начали рассказ о двигателе Стирлинга с принципа его работы. Сейчас расскажем о конструктивном решении отдельных элементов этого оригинального двигателя.

(Окончание. Начало в № 2 - 2005)

Приводной механизм

Все разработанные на сегодня конструкции двигателя Стирлинга можно подразделить на три модификации:

α-модификация. Эта группа включает V-образные двигатели. Рабочий объем распределен между двумя цилиндрами, в одном из которых находится горячая полость, а в другом - холодная. Регенератор находится между цилиндрами (рис. 8);



H - нагреватель
R - регенератор
C - холодильник

Рис. 8

β-модификация. В этом типе двигателей имеется только один цилиндр. Изменение объема горячей полости осуществляется с помощью вытеснителя. Изменение объема холодной полости происходит как посредством движения вытеснителя, так и движения поршня. Ходы поршня и вытеснителя перекрываются (рис. 9);

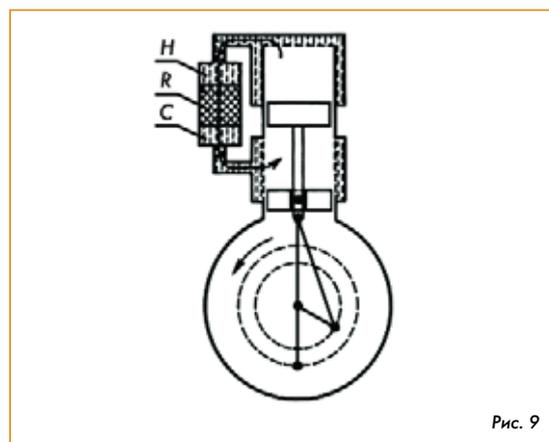


Рис. 9

γ-модификация. Здесь, так же как и в β-модификациях, имеются и поршень, и вытеснитель. Однако они находятся в отдельных цилиндрах. Холодная полость разделена на два цилиндра, и, следовательно, ее минимальный объем всегда положителен (рис. 10).

Первоначально двигатель Стирлинга был создан по схеме с расширением и сжатием в одном и том же цилиндре (β-модификация). На двигателе данной модификации эффективный к.п.д. удалось довести до 39 %.

Для получения полезной работы необходимо, чтобы изменение объема горячей полости опережало по фазе изменение объема холодной полости на

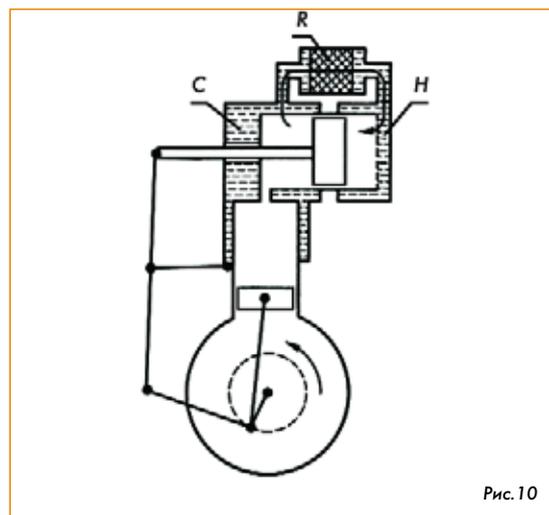


Рис. 10

угол φ (см. рис. 6 в "Двигателе" № 2 - 2005). Существуют различные механизмы, обеспечивающие необходимый закон движения поршня и вытеснителя. На рис. 3 (см. "Двигатель" № 2 - 2005) показан наиболее ранний вариант такого механизма.

Для небольших двигателей Стирлинга фирма "Филипс" предложила механизм, состоящий из двух одинаковых кривошипов и шатунов, симметрично расположенных относительно центральной оси двигателя. Кривошипы вращаются в разных направлениях и соединяются друг с другом с помощью зубчатых колес.

На рис. 11 показана схема такого механизма. Поршень 1 (здесь и далее все одинаковые элементы имеют одинаковые номера на всех рисунках) при помощи поршневого штока 2 соединен с траверсой 3.

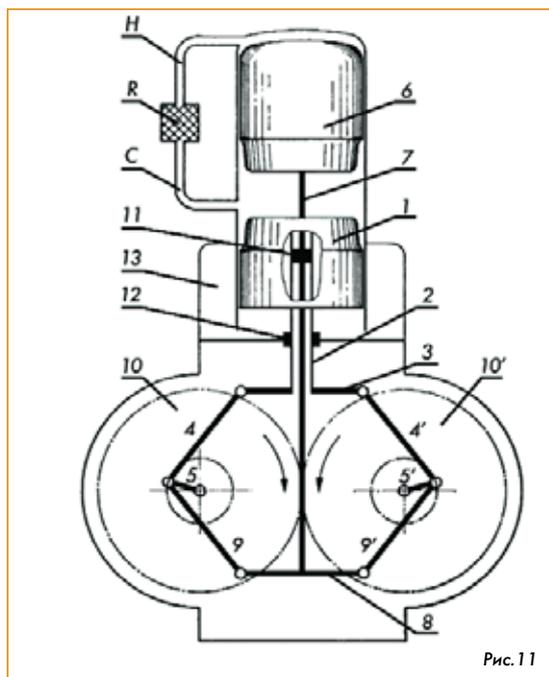
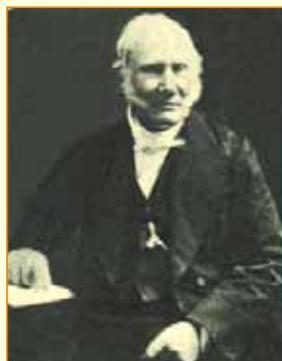


Рис. 11



Р. Стирлинг

Один конец траверсы через шатун 4 крепится к кривошипу 5, а другой - через шатун 4' к кривошипу 5'. Вытеснитель приводится в действие подобным же образом: шток вытеснителя 7, проходящий через полый шток поршня 2, соединен с траверсой 8, которая крепится к кривошипам 5 и 5' через шатуны 9 и 9'. Если шатуны 9, 9' и 4, 4' имеют одинаковую длину, то они образуют ромб, в котором при движении всей системы изменяются только углы; по этой причине привод и называется "ромбическим".

Зубчатые колеса 10 и 10' всегда обеспечивают полную симметрию системы привода. Выходная мощность может быть снята с любого из коленчатых валов, т.к. между ними обеспечена жесткая механическая связь.

Два уплотнения - сальник 11 штока вытеснителя, находящийся внутри полого штока поршня, и сальник штока поршня 12 - образуют под поршнем небольшую замкнутую цилиндрическую полость 13, отделенную от картера. Эта буферная полость может быть заполнена газом под некоторым давлением. Минимальный допустимый объем буферной полости определяется исходя из допустимого диапазона давлений. В многоцилиндровом двигателе буферные полости могут быть общими, что позволяет уменьшить их объемы.

Поршень и вытеснитель совершают движения, близкие к гармоническим колебаниям. Значения амплитуд движения поршня и вытеснителя, величина фазы между их колебаниями в ромбическом приводе могут варьироваться в широком диапазоне путем смещения оси вращения коленчатых валов, а также изменением отношения радиуса кривошипа к длине шатуна.

Поскольку для двигателя Стирлинга не требуются никаких клапанов, а боковые нагрузки на поршень отсутствуют, появляется возможность хорошо сбалансировать механизм ромбического привода. Незначительность вибраций, низкий уровень шума, высокий к.п.д., минимальная масса и способность работать в условиях космического полета сделали двигатель Стирлинга весьма перспективным для применения в качестве преобразователя тепловой энергии Солнца в механическую энергию с последующим преобразованием последней в электрическую энергию на космическом аппарате. Для исследования такой возможности был разработан и изготовлен двигатель мощностью 5 кВт.

В этом двигателе также использовался ромбический привод с двумя коленчатыми валами и двумя шатунами, симметрично расположенными относительно вертикальной оси двигателя. Точное соблюдение всех размеров, точное измерение масс и центров тяжести каждой детали, а также тщательная регулировка обеспечили полную балансировку. Каждый коленчатый вал был нагружен на свой генератор, одновременно играющий роль маховика. Существенным являлось то, что генераторы имели противоположные направления вращения. Это позволило решить две задачи. Во-первых, исключить неуравновешенность, которая характерна для системы, имеющей вращающиеся части с переменной скоростью вращения. И, во-вторых, противоположное вращение генераторов уравновешивало все гироскопические пары сил.

На одном из экспериментальных двигателей с гибким соединением генераторов к двигателю был зафиксирован уровень вибрации с амплитудой менее 0,0038 мм.

Камера сгорания

Поскольку в двигателе Стирлинга используется внешний подвод тепла, здесь могут быть использованы различные источники тепловой энергии. Если двигатель имеет универсальную камеру сгорания и универсальный подогреватель, то нагревание рабочего тела может быть осуществлено с использованием различных видов жидких и газообразных топлив. Двигатель даже можно переключать с одного топлива на другое при любой нагрузке без существенного изменения его мощности и эффективного к.п.д. Двигатель с такими возможностями всегда был мечтой военных; именно поэтому в требованиях на разработку новых двигателей для боевых машин есть пункт о многотопливности двигателя.

В связи с тем, что для работы двигателя требуется внешний источник тепла, оказалось, что им может быть тепловой аккумулятор, в котором тепло запасается подобно электрической энергии, например, в свинцово-кислотном или серебряно-цинковом аккумуляторе. В тепловом аккумуляторе тепло можно "запасать", например, в окиси алюминия Al_2O_3 или фтористом литии LiF (см. рис 12). Фтористый литий - химически стабильная соль с точкой плавления 848 °С. Один килограмм этой соли способен передать двигателю 720 кДж тепла при охлаждении от температуры, несколько большей 848 °С, до 450 °С.

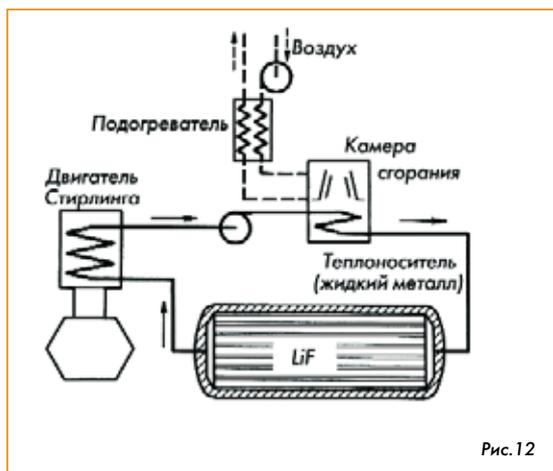


Рис.12

Сравнение различных систем аккумуляции энергии свидетельствует о том, что система "двигатель Стирлинга - тепловой аккумулятор" является самой эффективной и превосходит по удельной мощности свинцово-кислотный аккумулятор в 8..10 раз. Если удастся разработать двигатель Стирлинга с большим ресурсом, то очень заманчиво в качестве источника тепла использовать атомную энергию. Причем тепло можно получать не только от высокотемпературных реакторов, подобных тем, которые установлены на АЭС, но и от радиоизотопных источников. В последнем случае становится осуществимой установка с двигателем Стирлинга малой мощности в пределах 0,5...10 кВт. Это особенно актуально сейчас в связи с созданием устройств в миниатюрном и микроминиатюрном исполнении, а также в связи с разработкой микроспутников. Миниатюрный источник энергии можно будет установить на объекты, работа которых будет осуществляться в местах, где отсутствует или очень слабое солнечное излучение (дальний космос, шахты и большие океанские глубины).

Как известно, сгорание топлива в камере, ограниченной горячими стенками, происходит практически полностью. Это подтверждается низким значением

уровня несгоревших углеводородов CH (см. таблицу). Причина кроется в том, что воздух в камеру сгорания можно подавать в таком количестве, которое необходимо для полного сжигания углеводородов. Непосредственно в камере сгорания установлены форсунки, обеспечивающие мелкодисперсный распыл топлива, при высокой температуре в камере мгновенно превращающегося в газ. В результате сгорание происходит намного эффективнее. При таком сгорании не образуется сажа, особенно характерная для дизельных двигателей. Удивительно, но несмотря на то, что в камере сгорания температура достигает $2000\text{ }^{\circ}C$, окислов азота образуется меньше, чем в отработавших газах автомобильного двигателя, где средняя температура в камере сгорания значительно ниже.

Удельные показатели выбросов, мг/с.л.с.			
Газ	Двигатель Стирлинга	Газовая турбина	Дизель
CO	0,1...0,3	2,0...3,6	0,2...5,0
CH	0,003...0,006	0,036	0,6...12
NO _x	0,1...0,2	0,7...2,0	0,4...2,0

Думается, что использование новых топлив, таких как диметилвый эфир, позволит сделать двигатель Стирлинга еще экологичнее.

Нагреватель, регенератор, холодильник

Максимальная частота вращения вала двигателя зависит в значительной степени от конструкции нагревателя. Если посмотреть на двигатель Эриксона (см. рис. 2, "Двигатель" № 2 - 2005), то можно увидеть, что воздух в нем нагревался от греющей стенки, и для повышения эффективности при таком способе нагрева приходилось увеличивать площадь этих стенок (при диаметре рабочего поршня $4,2\text{ м}$ (!) площадь нагревающей стенки составляла почти 14 м^2). В двигателе Стирлинга нагрев рабочего газа осуществляется в нагревателе (см. рис. 13 и 14) с использованием трубок 20, 22. Трубки располагаются вертикально, один конец трубки 20 соединен с горячей полостью вытеснителя, а второй присоединен к кольцевому коллектору 21, к которому своей верхней частью присоединена трубка 22. Эта трубка опускается вниз и соединяется с регенератором 18. В нижней части трубки 22 установлены радиаторы 23, предназначенные для максимального поглощения тепла от потока газов из камеры сгорания. Трубки 20 и 22 чередуются друг с другом и размещаются вокруг камеры сгорания.

После того, как горячие газы отдадут часть тепла трубкам нагревателя, они поступают в подогреватель воздуха, поступающего в камеру сгорания.

Регенератор 18 представляет собой ряд небольших цилиндрических камер, кольцеобразно охватывающих рабочий цилиндр. В каждый цилиндр входят по три трубки: сверху трубки 21 нагревателя, а снизу трубки 19 холодильника.

Трубчатая секция каждого холодильника имеет скользящую посадку в его корпусе с тем, чтобы иметь возможность компенсировать осевое термическое расширение цилиндра (состоящего из трех частей 15, 16 и 17) вместе с трубками 22, а также компенсировать расширение корпусов регенератора 18.

Вытеснитель состоит из двух частей: нижней части корпуса 6а и верхней, термически изолированной

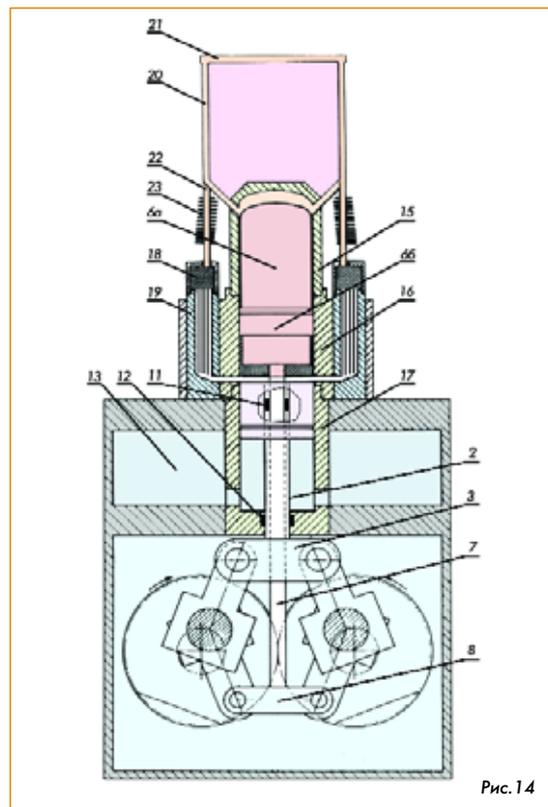


Рис. 14

части 6б. К размещению корпуса вытеснителя в цилиндре предъявляются такие же требования, как и к обычному поршню. Между цилиндрической поверхностью его верхней части и стенкой цилиндра 15 необходимо иметь небольшой зазор, который не допускать бы их соприкосновения даже при нагреве этой части вытеснителя. Под поршнем находится буферная полость 13.

Смазка, уплотнения

В двигателе Стирлинга, как и в любом другом двигателе, имеющем подвижные части, требуется смазывать трущиеся поверхности деталей. В этом отношении особых проблем нет, за исключением того, что масло не должно попадать в рабочую полость. Как только там окажется масло, то под воздействием высокой температуры оно будет закоксуываться. Это приведет к ухудшению теплопередачи, повышению трения подвижных частей и другим неприятностям. Решение указанной проблемы возможно путем применения новых материалов, из которых изготавливаются сальники 11 и 12 (см. рис. 11, 14), или путем использования уплотнений более совершенной конструкции. Одним из таких уплотнений является диафрагменное уплотнение 11а (см. рис. 15), или как еще еще называют, "катыющаяся мембрана". Оно заслуживает пристального внимания, поскольку конструктивно полностью обеспечивает герметичность. Осталось только найти материал, из которого можно сделать такую мембрану. Возможно, таким материалом станет резина на основе фторопластов. Проведенные испытания на одноцилиндровом двигателе мощностью 90 л.с. при частоте вращения вала 1500 мин^{-1} , свидетельствуют о том, что этот материал выдержал 3200 ч (свыше четырех месяцев) непрерывной работы. Фторопластовая резина выдержала воздействие рабочего газа (водорода), находящегося под средним давлением 110 атм, а также большие и резкие перепады давления газа, высокие рабочие температуры и воздействие масла.

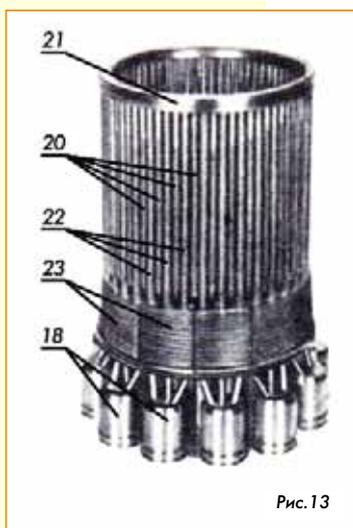


Рис. 13

Мощность, к.п.д.

Еще одной проблемой, с которой столкнулись конструкторы, стало регулирование выходной мощности двигателя. Известно, что в наибольшей степени только давление рабочего тела влияет на этот параметр двигателя Стирлинга. Для практического использования данного метода регулирования важно было найти техническое решение, причем такое, при котором изменение мощности было бы таким же быстрым, как и у бензинового двигателя (водители знают, насколько важна приемистость двигателя для быстрого разгона машины). В двигателе Стирлинга может быть достигнута приемлемая приемистость путем подачи рабочего газа из отдельного баллона, в котором газ находится под давлением порядка 300 атм. Переход от средней мощности к максимальной мощности может произойти за 0,2 с. Сложнее обратный процесс - уменьшение мощности, ведь для этого надо уменьшить давление газа в рабочей полости. Быстро откачать его трудно. Сбрасывать гелий или водород в атмосферу нерационально. Выход был найден в использовании байпасной системы, т.е. специальной емкости, давление в которой намного меньше, чем в рабочем цилиндре. При необходимости быстро снижения мощности двигателя открывался клапан, и часть газа стравливается в соответствующую емкость. Для экономии водорода или гелия газ из байпасной системы за несколько десятков секунд (время здесь не играет существенной роли) маломощным компрессором перекачивался обратно в баллон.

Разумеется, на сегодняшний день стоимость двигателя Стирлинга выше, чем бензинового. Но это не является единственным фактором, который определяет применимость двигателя. Если учесть, что в борьбе за экологию приходится идти на установку в современных автомобильных двигателях все более сложных, и соответственно, более дорогих систем, в том числе и совсем не дешевых нейтрализаторов вредных выбросов (в которых в качестве катализатора используется платина), то становится очевидным, что у двигателя Стирлинга есть хорошие перспективы. Особенно в свете последних тенденций ужесточения требований по вредным выбросам и уровню создаваемого шума.

К принципиальным возможностям удешевления двигателя можно отнести его крупносерийное производство, что, в общем, понятно. Существенное снижение стоимости двигателя можно добиться путем уменьшения удельного веса или, что то же самое, увеличением удельной мощности.

В первые годы после изобретения ромбического привода (1953 г.) все усилия были направлены на создание надежного двигателя с высоким к.п.д. Удельная масса двигателя Стирлинга в те годы составляла порядка 5 кг/л.с. и была сравним с удельной массой лодочных моторов.

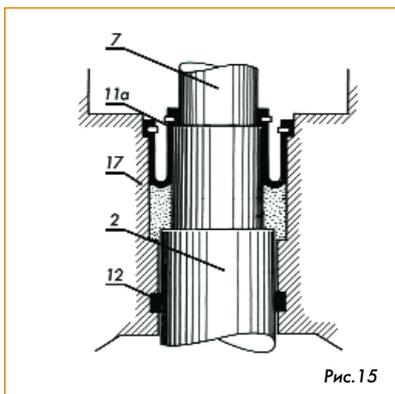


Рис.15

Существуют три главных направления повышения удельной мощности: увеличение давления рабочего газа в двигателе, наращивание частоты вращения вала и совершенствование конструкции. К сожалению, по-

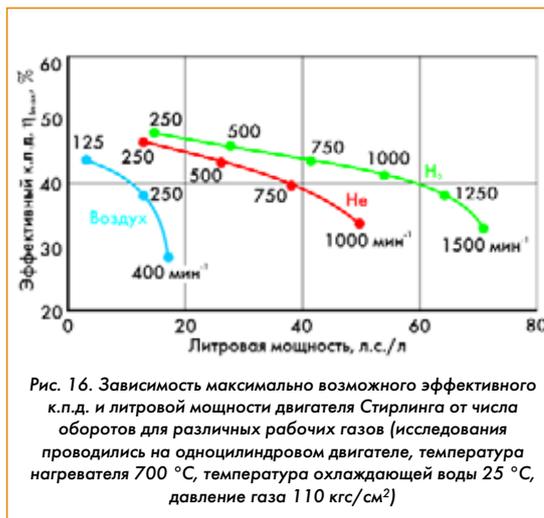


Рис. 16. Зависимость максимально возможного эффективного к.п.д. и литровой мощности двигателя Стирлинга от числа оборотов для различных рабочих газов (исследования проводились на одноцилиндровом двигателе, температура нагревателя 700 °С, температура охлаждающей воды 25 °С, давление газа 110 кгс/см²)

вышать давление до бесконечности нельзя. Даже при комнатных температурах у всех материалов существует предел прочности, а при повышении температуры до 750 °С (температура нагревателя, при которой к.п.д. двигателя порядка 35 %) прочность резко снижается.

Известно, что с ростом числа оборотов растет и удельная мощность двигателя, но падает к.п.д. Использование вместо воздуха гелия, а еще лучше водорода, позволяет достичь значительного увеличения удельной мощности и при этом сохранить к.п.д. Проблема утечки водорода через горячие стенки нагревателя решается путем периодической подкачки водорода. Для наземных транспортных систем проделать такую операцию не составит труда. А вот выгода от применения водорода в качестве рабочего тела большая: удельная масса снижается на 30 %.

Перспективы

Наибольший интерес к двигателям Стирлинга наблюдался в последней четверти прошлого века. Тогда почти всеми ведущими компаниями - производителями автомобилей проводились широкомасштабные исследования, связанные с оценкой возможности замены двигателей внутреннего сгорания двигателем Стирлинга. Был проделан большой объем работ по теории и расчету этих двигателей. Были разработаны и испытаны различные конструкции двигателя: одноцилиндровые и многоцилиндровые вытеснительного типа с обычным кривошипно-шатунным и ромбическим механизмом, многоцилиндровые двойного действия с наклонной шайбой, свободно-поршневые с различными приводами. Фирма "Даймлер Бенц" получила патент на схему роторного двигателя, работающего по циклу Стирлинга.

Но, несмотря на то, что были созданы двигатели мощностью от 6 до 900 л.с., имеющие эффективный к.п.д. от 26 до 43 %, и малые двигатели мощностью 0,014...0,4 л.с. с к.п.д. от 7,9 до 14 %, широкомасштабное серийное производство так и не началось.

Двигатель Стирлинга не является универсальным устройством. Существуют области, где он по своим характеристикам составляет серьезную конкуренцию традиционным двигателям. Есть области, где двигатель Стирлинга имеет равные шансы с обычными поршневыми моторами, но есть и области, где у "Стирлинга" шансов пока нет. Но техника и технология развиваются безостановочно, создаются новые материалы и, самое главное, в технику приходят новые люди, которые еще не знают, что "этого" делать нельзя.

РАЗДЕЛЕНИЕ НЕДЕЛИМОГО, ИЛИ ЯДЕРНЫЙ РЕАКТОР ДЛЯ "ЧАЙНИКОВ"

На протяжении всей истории цивилизации человек осваивал различные источники энергии. В середине прошлого века пришел черед ядерной энергии, которая, как в то время казалось, обладала способностью разрешить большинство проблем, связанных с исчерпанием запасов органического топлива и загрязнением атмосферы. После ряда тяжелых аварий на атомных электростанциях (АЭС) и судах, оснащенных ядерными силовыми установками (ЯСУ), оптимизма в отношении перспектив ядерной энергетики поубавилось, и даже возник вопрос: "Зачем вообще нужна ядерная энергетика, что она может дать, кроме неприятностей?" После истечения расчетного периода эксплуатации ряда АЭС выяснилось, что расходы на ликвидацию этих объектов превосходят затраты на их строительство. Больно и тревожно смотреть на некогда могучие атомные субмарины, десятилетиями дожидаящиеся своей очереди на разделку в полузаброшенных гаванях на севере и востоке нашей страны.

И все же объективные аналитики полагают, что ядерная (а в перспективе и термоядерная) энергетика безальтернативна. Человечеству придется в полном смысле этих слов "укротить атом" для того, чтобы эксплуатация ядерных энергетических установок стала не только экономически эффективной, но и в высшей степени безопасной.

Основные предпосылки

Из школьного курса физики даже самому ленивому ученику, вероятно, известно, что атом состоит из ядра и окружающих его электронных оболочек. Предположение древнегреческих ученых о том, что атом представляет собой мельчайшую, элементарную, а оттого неделимую частицу мироздания (отсюда и название "атом", что в переводе значит "неделимый"), оказалось несостоятельным. Между прочим, некоторые западные ученые в связи с этим предлагали именовать ядерную бомбу не атомной, а "томной", что в большей степени соответствует смыслу термина, однако по-русски он звучит довольно двусмысленно.

Другая банальность, родственная фразе "Волга впадает в Каспийское море", состоит в том, что ядро также не монолитно, а включает в себя частицы - нуклоны (буквально - "ядрышки"). В 1911 г. Э. Резерфорд сделал в Манчестере доклад "Рассеяние альфа- и бета-лучей и строение атома", в котором впервые была высказана мысль о существовании в ядре протонов - тяжелых элементарных частиц с положительным зарядом, равным по величине заряду электрона. В 1932 г. ученик Резерфорда Дж. Чедвик, исследовав природу неизвестного ранее сверхпроникающего излучения, обнаружил другой нуклон, которому в связи с отсутствием заряда было присвоено название "нейтрон". Открытие нейтрона указало на существование в природе нового типа сил - ядерных, без которых было невозможно объяснить существование стабильных ядер (ведь протоны, обладая одинаковым зарядом, должны вследствие электростатического отталкивания стремиться покинуть ядро, и только какая-то иная, неэлектрическая сила может удерживать их).

В 1934 г. итальянский физик Э. Ферми пытался путем бомбардировки нейтронами ядер урана получить зауранные элементы (он предполагал, что нейтроны будут просто захватываться ядром урана). Вместо этого в результате бомбардировки он наблюдал образование ряда радиоактивных элементов, относившихся, вопреки его надеждам, к середине периодической таблицы Менделеева. Фактически Ферми открыл деление ядер урана под воздействием нейтронного излучения, но в тот период он не смог этого правильно

интерпретировать! В конце 1934 г. физико-химик И. Новак в одном из технических журналов так прокомментировала опыты Э. Ферми: "Возможно, что при бомбардировке тяжелых ядер нейтронами эти ядра распадаются на несколько больших осколков..." На статью никто не обратил внимания! Лишь после опубликования работ по делению ядер О.Ганом и Ф. Штрассманом в 1939 г. стало понятно, что И. Новак была права.

Качественно процесс деления был объяснен учеными трех стран: Бором (Дания), Уиллером (США) и Френкелем (СССР). Все трое практически одновременно и независимо друг от друга пришли к мысли, что деление ядер происходит при определенном соотношении кулоновских сил отталкивания, которые стремятся разорвать ядро, и ядерных сил, которые по аналогии с силами поверхностного натяжения этому препятствуют. Основной величиной в сформулированной ими капельной модели ядра являлся так называемый порог деления. Но, пожалуй, наиболее важным результатом после обнаружения самого факта деления тяжелых ядер, обстреливаемых нейтронами, стало осознание огромной величины энергии, выделяющейся при каждом акте деления: около 200 МэВ (1 МэВ = $1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж)! Если заставить разделиться все ядра в 1 кг урана, то выделится примерно столько же энергии, как при сжигании 10 000 т керосина, а ведь это 160 стандартных железнодорожных четырехосных цистерн.

После начала Второй мировой войны публикации в западной прессе об исследованиях в области ядерных превращений практически исчезли. Сегодня мы знаем: англо-американские специалисты совместно с учеными, эмигрировавшими из стран с фашистской диктатурой, приступили к поиску способов создания ядерной бомбы, поэтому результаты работ были засекречены. Информация из Германии также стала весьма скудной. Тем более интересно, что в этом внезапно возникшем "научном вакууме" выдающиеся советские физики Я.Б. Зельдович и Ю.Б. Харитон сумели сформулировать несколько исключительно важных результатов, касавшихся развития так называемой цепной реакции деления. Выполнив цикл сложных расчетов, они показали, что самоподдерживающаяся цепная ядер-

Протон представляет собой ядро атома водорода - единственного несложного атомного ядра. Масса покоя протона составляет $1,00758$ а.е.м. = $938,1$ МэВ = $1836,1$ массы электрона. Заряд протона положительный, он равен по абсолютной величине массе электрона. Протон стабилен. Нейтрон отличается от протона отсутствием заряда и несколько большей массой покоя, равной $1,00898$ а.е.м. = $939,5$ МэВ = $1838,6$ массы электрона. Нейтрон радиоактивен, вне ядра атома он испытывает β -распад, превращаясь в протон с испусканием позитрона и нейтрино. Период полураспада нейтрона - около 19 минут. Современная ядерная физика считает нейтрон и протон двумя "ипостасями" одной частицы. Радиоактивность нейтрона объясняется его "стремлением" перейти в состояние, характеризующее меньшей энергией (и массой).

ная реакция в ^{238}U протекать не может, причем как в оксиде U_3O_8 , так и в чистом металле. Я.Б. Зельдович и Ю.Б. Харитон отметили, что небольшая примесь изотопа ^{235}U способна принципиально изменить ситуацию. Они же обратили внимание на необходимость замедления нейтронов для повышения вероятности деления ^{235}U . В научном плане все эти соображения были совершенно необходимыми для создания ядерного реактора. Следует подчеркнуть, что указанные результаты были получены еще до того, как советская разведка наладила передачу информации из недра американского проекта "Манхэттен".

Принцип работы ядерных реакторов

Принципиальная схема энергетического ядерного реактора изображена на рисунке справа. Реактор состоит из нескольких зон, каждая из которых имеет свое назначение. Ядерное горючее в виде стержней из вещества, в состав которого входят делящиеся изотопы (уран, окись урана и др.) образуют тепловыделяющие элементы (ТВЭЛы). ТВЭЛы размещаются в отверстиях, расположенных в блоках замедлителя З, для которого используются легкие элементы (бериллий, окись бериллия, водород и др.). Замедлитель используется для уменьшения кинетической энергии нейтронов до теплового уровня. Тепловые нейтроны, захватываясь в уране, вызывают деление ядер, в результате чего выделяется тепловая энергия и испускаются быстрые нейтроны. Последние замедляются до тепловых энергий в блоках замедлителя, а затем вновь захватываются ядрами делящегося вещества.

Комбинация из ядерного топлива, замедлителя и необходимых конструктивных элементов составляет так называемую активную зону реактора. Через активную зону протекает теплоноситель (газы, вода или жидкие металлы), омывающий ТВЭЛы и отводящий от них теплоту. Для уменьшения утечки нейтронов активная зона окружена отражателем 4, который действует подобно оптическому рефлектору и возвращает большинство вылетающих нейтронов обратно в активную зону. Вокруг отражателя располагается биологическая защита 5, предназначенная для ослабления интенсивности нейтронного потока и излучений ниже предельно допустимой нормы. Внутри активной зоны или отражателя располагаются регулирующие органы реактора 7, которые обычно выполняются из поглощающего или отражающего материала и служат для управления процессом деления ядерного горючего путем поглощения части нейтронов или изменения количества нейтронов, покидающих активную зону (утечки нейтронов).

Как отмечалось ранее, при поглощении нейтрона определенной энергии ядром урана существует конечная вероятность расщепления этого ядра на два или более осколков. При каждом делении ядра появляется в среднем ν нейтронов деления. Число ν зависит от энергии поглощаемого нейтрона. Так, для ^{235}U , захватившего тепловой нейтрон с $E = 0,025$ эВ, среднее число образующихся нейтронов $\nu = 2,41$, а если будет захвачен быстрый нейтрон с $E = 1,8$ МэВ, то $\nu = 2,74$. Вторичные нейтроны при определенных условиях могут вызвать акты деления других ядер урана, и поэтому возникает цепная реакция. Однако не все вторичные нейтроны вызывают деление других ядер. Часть нейтронов может быть поглощена в других материалах активной зоны. Еще какая-то часть нейтронов теряется вследствие утечки из активной зоны. Условие поддержания цепной реакции состоит в том, что каждое ядро урана, захватывающее нейтрон, должно в сред-

нем давать по крайней мере один вторичный нейтрон, который вызывает деление другого ядра.

Самоподдерживающаяся цепная реакция возможна в реакторе с определенным составом и размерами активной зоны. Критическое состояние реактора характеризуется двумя параметрами: размерами активной зоны (критический размер $R_{кр}$) и загруженной в нее массой ядерного горючего (критическая масса $M_{кр}$). Во время работы реактора критическую массу используют только для поддержания цепного процесса в активной зоне. Она является основой, без которой процесс невозможен. В действующем реакторе загрузка ядерного топлива M всегда больше критической массы. Часть избыточной массы ядерного топлива $\Delta M = M - M_{кр}$ "сжигают" в активной зоне, благодаря чему, собственно, и удается получить энергию, ради которой строят ядерные реакторы.

Нейтроны деления принято подразделять на мгновенные (испускаемые в момент деления) и запаздывающие (появляющиеся через некоторое время спустя после деления). Мгновенные нейтроны составляют основную часть (более 99 %) нейтронов деления. Некоторые осколки ядер, получаемые в процессе деления после β -распада, образуют часть дочерних ядер с энергией возбуждения, превышающей энергию связи нейтрона. Сразу же после такого распада дочернее ядро испускает запаздывающий нейтрон. Время появления запаздывающих нейтронов связано с периодом полураспада их предшественников - осколков. Доля запаздывающих нейтронов составляет ~ 0,75 % от общего числа образующихся в процессе деления нейтронов. Несмотря на кажущуюся незначительность этой доли, именно запаздывающие нейтроны играют важнейшую роль в процессе регулирования ядерных реакций. Но об этом мы поговорим позднее.

Нейтроны, испускаемые ядрами при делении, имеют энергию порядка 1...15 МэВ и называются быстрыми. Для таких делящихся веществ, как ^{235}U , вероятность захвата нейтрона ядром значительно возрастает с уменьшением энергии нейтрона. Минимальная энергия нейтрона определяется энергией теплового движения при температуре материала активной зоны реактора. Нейтроны, имеющие энергию, приблизительно соответствующую энергии теплового движения (0,01...1 эВ), называют тепловыми.

Если основная доля деления обусловлена захватом быстрых нейтронов, то такой реактор называется реактором на быстрых нейтронах или быстрым реактором. В таких реакторах отсутствует замедлитель как элемент активной зоны. Замедляющие вещества вводят в активную зону только в составе ядерного топлива (карбид урана, окись плутония и др.). Реактор, в котором основная доля деления обусловлена захватом тепловых нейтронов, называется тепловым реактором. Для уменьшения энергии быстрых нейтронов используется упругое рассеяние их энергии при столкновении с ядрами замедляющего вещества. Причем, чем легче ядра замедлителя, тем большую часть энергии отдает нейтрон при столкновении. Поэтому в качестве замедлителя используют вещества с малыми атомными номерами (вода, литий, графит). Лучшим замедлителем является водород - при столкновении с ядрами водорода энергия нейтронов уменьшается приблизительно вдвое.

Если основная часть процесса деления вызвана захватом ядрами нейтронов с энергией более высокой, чем у тепловых (от тепловых энергий до 1 МэВ), то такой реактор называется реактором на промежуточ-

В некоторых задачах физики ядерных реакторов энергию частицы характеризуют температурными единицами. При этом 1 эВ соответствует температура $1,16 \cdot 10^4$ К, а комнатной температуре 20 °С - энергия 0,0253 эВ; при этой энергии нейтрон имеет скорость 2200 м/с.

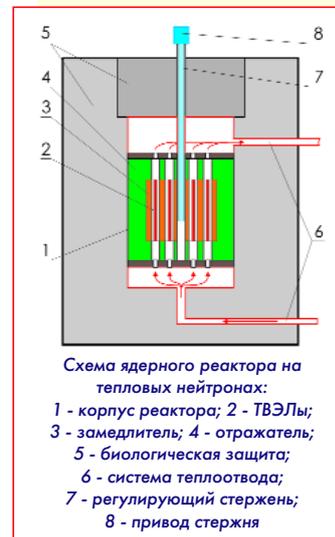


Схема ядерного реактора на тепловых нейтронах:
 1 - корпус реактора; 2 - ТВЭЛы;
 3 - замедлитель; 4 - отражатель;
 5 - биологическая защита;
 6 - система теплоотвода;
 7 - регулирующий стержень;
 8 - привод стержня

ных нейтронах. Они применяются сравнительно редко по двум причинам. Во-первых, для них требуется более высокая загрузка ядерного топлива по сравнению с тепловым реактором. Во-вторых, в промежуточной активной зоне на один захват нейтронов испускается не более 1,5...2 нейтрона, поэтому поддерживать цепную реакцию сложнее.

Коэффициент размножения нейтронов

Условие поддержания цепной реакции в ядерном реакторе тесно связано с понятием коэффициента размножения k . Коэффициент размножения k можно определить как отношение числа нейтронов данного поколения к числу соответствующих нейтронов поколения, непосредственно ему предшествующего

$$k = n_{\text{послед}} / n_{\text{пред}}$$

Если $k > 1$, то цепная реакция деления ядер возможна, если $k < 1$, то цепная реакция не может поддерживаться и в конце концов прекратится. Для конкретного реактора конечных размеров вводят понятие эффективного коэффициента размножения $k_{\text{эф}}$, а также понятие реактивности $\Delta k = \rho = (k_{\text{эф}} - 1) / k_{\text{эф}}$, которое широко используется при расчете процессов для решения задач управления.

Средний промежуток времени между двумя последовательными поколениями нейтронов в реакторе бесконечных размеров называется временем жизни нейтронов l . Среднее эффективное время жизни нейтронов в реакторе конечных размеров обозначается через l^* . В тепловом реакторе время жизни одного поколения нейтронов складывается из времени, необходимого для деления активного вещества, времени замедления нейтронов до скоростей теплового движения и, наконец, времени диффузии теплового нейтрона до момента захвата его в топливе или в неделящемся веществе. Порядок величин этих времен приблизительно равен 10^{-14} , 10^{-5} и 10^{-3} с, соответственно. Из приведенных оценок видно, что время жизни одного поколения нейтронов определяется в тепловом реакторе временем диффузии и равно $l^* = 10^{-3}$ с.

Тепловая мощность реактора пропорциональна числу делений в активной зоне в единицу времени. Так, например, $3 \cdot 10^{10}$ делений в секунду соответствуют мощности 1 Вт. Число делений пропорционально числу нейтронов, находящихся в активной зоне в рассматриваемый момент времени.

Состояние реактора в любой заданный момент времени определяется величиной коэффициента размножения. Если $k = 1$, $\Delta k = 0$, то состояние реактора называется критическим и он работает на постоянном уровне мощности. При определении критического состояния реактора величина мощности не имеет значения. Реактор может быть критическим при $N = 1$ Вт и $N = 1000$ МВт. При $k < 1$ ($\Delta k < 0$) состояние реактора называется подкритическим. Если $k > 1$ ($\Delta k > 0$), состояние реактора называется надкритическим.

Рассмотрим реактор, работающий до некоторого момента времени $t = 0$ на стационарном режиме ($k = 1$, $\Delta k = 0$; $N = N_0$). Если в момент $t = 0$ коэффициент размножения изменится на величину Δk , т. е. станет равным $k = 1 + \Delta k$, то плотность нейтронов начнет изменяться. Действительно, пусть в исходном поколении было N_0 нейтронов в единице объема. Тогда в следующем поколении после появления возмущения будет $N_0(1 + \Delta k)$ нейтронов, в следующем за этим поколением будет $N_0(1 + \Delta k)^2$ нейтронов и т. д. Если считать, что все нейтроны мгновенные и процесс на интервале l^* непрерывный, то можно определить среднюю скорость

изменения плотности нейтронов при $t = 0$

$$dN/dt = [N_0(l + \Delta k) - N_0] / l^*$$

В любой момент времени

$$dN/dt = N_0(1 + \Delta k) - N / l^* = N \quad (1)$$

Разделяя переменные и интегрируя, получим

$$N = N_0 e^{(\Delta k t) / l^*}$$

Время T , в течение которого количество нейтронов изменяется в e раз, называется периодом реактора. Период реактора тем больше, чем больше время жизни нейтронов и чем меньше величина возмущения Δk . Если реактор работает на постоянном уровне мощности, период равен бесконечности; он становится конечной измеряемой величиной только при изменении мощности.

Роль запаздывающих нейтронов

Рассмотрим реактор, работающий на постоянном уровне мощности $N = N_0$. Пусть в момент времени $t = 0$ в него введено возмущение $\Delta k = 0,005$. Если реактор тепловой, $l^* = 0,001$ с, и все нейтроны мгновенные, то возникает процесс изменения мощности с периодом $T = 0,2$ с. Тогда в соответствии с уравнением (1) изменение плотности нейтронов можно проиллюстрировать следующими данными:

при $t = 0,5$ с, $N/N_0 = 12,18$;

при $t = 1$ с, $N/N_0 = 148,4$;

при $t = 2$ с, $N/N_0 = 2202,6$.

Очевидно, что при таком лавинообразном нарастании мощности реактора никакая физически осуществимая система регулирования не в состоянии справиться с задачей стабилизации плотности нейтронов при регулировании реактора. Так что же, управляемая ядерная реакция невозможна? К счастью, это не так.

Как известно, в процессе деления не все нейтроны образуются мгновенно, имеется небольшая доля запаздывающих нейтронов. Так как запаздывающие нейтроны входят в общий баланс нейтронов при цепной реакции, то среднее время жизни одного поколения следует вычислять как средневзвешенное время по всем группам нейтронов. Роль мгновенных нейтронов при определении средневзвешенного времени жизни пренебрежимо мала, поэтому величина средневзвешенного времени определяется в основном запаздывающими нейтронами и оказывается равной $l' = 0,1$ с.

Для принятого ранее значения $\Delta k = 0,005$ период реактора с $l' = 0,1$ с будет равен $T = 20$ с, а изменение плотности нейтронов во времени будет происходить следующим образом:

при $t = 0,5$ с, $N/N_0 = 1,025$;

при $t = 1$ с, $N/N_0 = 1,05$;

при $t = 2$ с, $N/N_0 = 1,105$.

Двадцатикратное увеличение мощности, которое в первом варианте расчета наступало через $t = 0,5$ с, теперь будет достигнуто только через 50 с. При такой интенсивности протекания переходных процессов управление реактором становится выполнимой задачей. На эффекте запаздывающих нейтронов и основывается возможность управления ядерными процессами.

Когда $k > 1,0075$, то реактор становится критическим по отношению к мгновенным нейтронам. Это означает, что цепная реакция в нем может поддерживаться независимо от запаздывающих нейтронов на одних мгновенных. Если $k > 1,0075$, то будет иметь место быстрый неуправляемый экспоненциальный рост мощности. По этой причине при работе системы регулирования требуется, чтобы надкритичность реактора всегда удовлетворяла условию: $\Delta k \leq 0,0075$. **□**

(Продолжение в следующем номере)

Солнечные электростанции удовлетворяют сейчас всего 0,01% энергетических потребностей человечества (атомные электростанции - 17%). Несмотря на "бесплатность" солнечного света, электроэнергия, получаемая с помощью Солнца, обходится в пять раз дороже атомной.

ИСТОРИЯ АВИАЦИИ, НЕБЕЗРАЗЛИЧНАЯ ДЛЯ МОЛОДОГО ПОКОЛЕНИЯ

18 мая 2005 г. в Москве в Доме культуры "Чайка" состоялся Молодежный симпозиум и торжественное подведение итогов II Олимпиады по истории авиации и воздухоплавания, посвященной 60-летию Победы советского народа в Великой Отечественной войне 1941-1945 гг.

Олимпиада организована Клубом авиастроителей и Авиакосмофондом при поддержке Департамента образования Москвы, Департамента науки и промышленной политики Москвы, Комитета по делам семьи и молодежи Москвы, МГТУ им. Н.Э. Баумана, МАТИ им. К.Э. Циолковского, Московского авиационного института (МАИ), Российского государственного гуманитарного университета (РГУ), Московского института открытого образования, лицея №1550, Московского колледжа авиационного моторостроения.



Кроме финалистов Олимпиады в мероприятии приняли участие члены Оргкомитета Олимпиады под председательством д.т.н. В.В. Крымова, члены жюри под председательством д.ф.н. проф. Н.Г. Багдасарьян, заслуженный летчик-испытатель, Герой Советского Союза В.Н. Кондауров, военный летчик Л.М. Вяткин. В зале присутствовали представители спонсоров и меценатов, представители вузов, победители и призеры Московской политехнической олимпиады школьников, учащиеся школ и других учебных заведений города, пресса.

На Молодежном симпозиуме были представлены работы финалистов Олимпиады. Последовательность выступлений была определена жеребьевкой. Свои работы представили:

Илья Васильев - лицей № 1550, Москва, "Вклад женщин-авиаторов в победу над врагом";

Михаил Волошенко - средняя школа № 17, Тюмень, "Штурмовик Ил-2 - легендарный самолет Великой Отечественной войны";

Мария Калитенко - профессиональный лицей № 329, Москва, "Кто знает правду об Амелии Эрхард?";

Андрей Киселев - лицей № 1550, Москва, "Летательные аппараты, определившие будущее";

Никита Куприков - лицей № 1511, Москва, "Авиационная экология";

Никита Мартынович - школа № 672, Москва, "Летательные аппараты, определившие будущее";

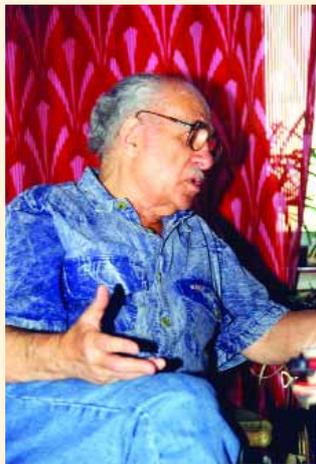
Сергей Сигитов - ГОУ Центр образования № 345, Москва, "Первые в мире реактивные самолеты".

Жюри Олимпиады под председательством доктора философских наук, профессора Н.Г. Багдасарьян после долгих и горячих споров решило первое место разделить между двумя финалистами: Андреем Киселевым и Никитой Куприковым. Второе место жюри решило не присуждать никому, а третье место занял Михаил Волошенко из Тюмени. В своем выступлении Председатель жюри Надежда Гегамовна Багдасарьян отметила высокий уровень докладов и предложила ребятам продолжить исследования с целью представления работ на международных научных конференциях.

Ребята - победители Олимпиады получили Дипломы Клуба авиастроителей. Не остались в стороне и спонсоры. От них участники получили призы и подарки. Всем победителям были вручены современные цифровые фотоаппараты ведущих мировых производителей. Призы были предоставлены Московским заводом "ММПП "Салют", страховой фирмой "АСТО-Гарантия" и Национальным промышленным банком. Но и это не все - в лицеи и школы всех участников симпозиума организаторы отправили письма с благодарностью за успехи в обучении и воспитании детей. Никита Куприков и Андрей Волошенко получили рекомендации вступить в Клуб авиастроителей.

В журнале "Двигатель" № 2 - 2005 был дан отчет о проведенной в марте этого года Московской региональной политехнической олимпиаде школьников. Победителей этой Олимпиады также приветствовали в зале, им были вручены дипломы Клуба авиастроителей и призы, предоставленные Правительством Москвы.





"БУДУ ЛЮБИТЬ ВСЕГДА"

Анатолий Маркуша

(Продолжение. Начало в № 1,2 - 2005)

Придумал Леха Вольнов.

В первых трех классах Леха с нами не учился. Пришел в четвертый. Длинный, "дядя, достань воробышка!". Ходил враскачку, руки мотались. Его никто не задевал, он тоже ни к кому не лез. Я долго не мог сказать, что Леха за парень,- новенький и новенький. Сперва мы с ним почти не разговаривали. Появился контакт оттого, что нам оказалось домой ходить по дороге. Пока топает, про то про се обмениваемся.

Как-то он говорит вдруг:

- А меня из старой школы коленом под зад - с треском вышибли!

Мне интересно стало, за что вышибают да еще с треском. Все-таки образование у нас обязательное, значит, хочешь или не хочешь, а закончить школу должен. И я спросил:

- А за что?

- А не раззвонишь? А то мне папаша голову чикчирик - и собакам! Клянись. Вот, говори: "Не сойти мне с этого места... стать последним пресмыкающимся гадом... если я разглашу доверенную..." - Тут Леха забуксовал - видать, не хотелось ему произносить слово "тайну", и я подсказал:

- Доверенную мне информацию.

- Во-во! Информацию, правильно.

Я поклялся, он рассказал. В старой школе была училка - "гадюка из гадюк" (его точные слова), всех оскорбляла, а бывало и подзатыльники отвешивала. Короче, житья от нее никому не было. Один раз училка нажаловалась Лехину отцу, вроде Леха ей грубит, мешают вести уроки, нехорошо подглядывает за девочками.

Папаша у Лехи вспыльчивый, как порох, долго не рассусоливает, сгреб Леху - и ремнем. Сначала отходил, а потом спрашивает:

- Знаешь, балбес, за что?

Леха стал клясться, что гадюка учительница все наврала. Он ей не хамил и за девочками не подглядывал. Отец не очень поверил, но все-таки сказал:

- Если ты сейчас не врешь, считай, выдано тебе под аванс, в счет будущих художеств. С этим вопросом все. Можешь гулять.

Спорить было поздно. Поезд ту-ту - ушел, рельсы разобрали.

А обида осталась. Обида грызла. И Леха решил училке отомстить. Был у него маленький, чуть больше спичечной коробки, фотоаппаратик. Немецкий. Получил в подарок. Леха здорово насобачился этой игрушкой снимать. Клацнет из-за угла - никто не заметит даже. Но этого мало. Лехе вообще нравилось заниматься фотографией: он не только щелкал - сам проявлял, увеличивал, сам печатал снимки, делал фотомонтажи.

Тут Леха замолчал и предложил:

- Айда ко мне! Покажу чего - закачаешься!

Ну, я вспомнил сразу: лучше, как говорят на Востоке, один раз увидеть, чем сто раз услышать, и не стал ломаться. Мы пошли к Лехе. Он жил в новом, нарядном доме. Чтобы попасть в подъезд, надо было знать секретный код и нажать на ящичке с кнопками определенные цифры, иначе дверь не открывалась. Квартира была большая, вещей полно. Я даже подумал: и для чего людям столько всего сразу? Но спросить у Лехи ничего не успел: он завел меня в свою комнату, дверь - на ключ, подставил табуретку к шкафу, залез и с самой верхотуры достал черный пакет. А там фотографии - наверное, вырезанные из зарубежных журналов картинки. На всех, на всех - голые женщины и голые женщины с голыми мужчинами.

- Ну, как? - спросил Леха, дав мне поглядеть картинок пять.

- Голые! - сказал я. - Есть красивые...

- Лопух! - объявил Леха.- Это же порнография высшего класса! Секешь? Вижу, не секешь! Слушай... Он говорил долго и с удовольствием. Признаюсь, я узнал много нового. Столько, что едва не позабыл спросить: а при чем тут учительница, из-за которой его выгнали из старой школы?

Но Леха ничего не забыл и рассказал, как было дело.

После отцовской выволочки он сфотографировал училку с разинутым ртом, когда она выдавала кому-то очередной разнос. Снял, понятно, скрытно. Потом выбрал в своей коллекции подходящую тетку с дядькой, отчекрыжил училкину голову от фотографии, аккуратно подогнал и наклеил на место теткиной головы на картинке. Переснял. И все получилось как по правде: и училка, и дядька.

Это свое "произведение" фотографического искусства Леха размножил и пустил по ребятам. Надо ли говорить, какое оно произвело впечатление...

А попался он совершенно случайно, когда записывал фотографию в классный журнал и не заметил завуча. Тот подошел, увидел, и... произошел "атомный взрыв".

Вот такая оказалась у Лехи тайна. Удивил он меня? Да не очень. Раньше, давно, я гораздо больше удивился от совсем не такой тайны. Рассказать?

Мы еще в школу не ходили. Кто-то научил Олю, а она меня, а потом и другие ребята стали собирать цветные стеклышки. На прогулках все мы под ноги глядели: как блеснет осколочек - коршуном! Вы никогда не искали цветных стеклышек? Знаете, как трудно! Зеленые, оранжево-коричневые еще попадаются, синие - тоже, а вот красные или голубые - большая, скажу, редкость.

Мы тогда просто свихнулись на этих стеклышках. Кто куда свои находки прятал, не могу сказать, а мы с Олей устроили тайник. Это она придумала. Выкопали ямку за старым сараем. Наш детский сад в древнем

доме помещался, у входа здоровенная яблоня росла. Попробуй, найди в Москве еще где-нибудь такую яблоню! Ямку выстелили травой, поверх лоскуток старого плюша положили. А закрывали тайник фанеркой, сверху - для маскировки - надвигали корявые, закопченные кирпичи. Когда ребята спрашивали Олю, для чего собирать цветные стеклышки, она делала круглые глаза и таинственно шептала: "Кто наберет самые-самые-самые лучшие стеклышки, тот увидит чудо!"

Верила она в свое чудо или нет, точно не знаю. Мне верить очень хотелось. Вообще, когда есть тайна, жить делается интереснее. Это, конечно, мое мнение.

Сколько продолжалось наше помешательство, не помню, но как-то под вечер, когда за нами должны были вот-вот прийти родители, подсказывает ко мне Оля и шепчет:

- Бежим! Там кто-то был: кирпичи повернуты...

В первый момент я даже не понял, о чем она. Прибежали мы к тайнику, живо отбросили маскировку, дошли до фанерки, а ее-то нет. И стеклышек нет! И черного плюша как не бывало! А вместо всего на подстилке из травы - коробка. Представляете? Аккуратная картонная коробка, перевязанная ленточкой.

Мы даже лбами стукнулись, когда рванулись коробку вынимать. У меня руки дрожали, пока я узел на ленточке развязал, пока крышку открывал.

А когда открыл - хоть в обморок падай!

В коробке лежала сверкающая разноцветная игрушка! Странно, какая именно это была игрушка, у меня из головы выветрилось. Сияющая, вроде вся в огоньках... Скорее всего, елочное украшение.

Чудо? Еще какое! И вот ведь смех: я и теперь не знаю, кто нам такой подарок подстроил. Иногда мне очень хочется верить, что стекляшки, которые мы так старательно складывали в наш тайник, сами собой переродились в ту ослепительную игрушку... Чепуха? Но с другой стороны - сходят же люди с ума от экстрасенсов всяких, а тут я и вовсе слышал, что колдуны хотят свой профсоюз организовать.

Хорошо бы только, чтобы все тайны и чудеса были такими безобидными, как Олин тайник.

С того времени, как я побывал у Лехи дома, прошла, пожалуй, неделя. В гости к нам (чудно даже говорить - в гости!) пришел отец. Не спеша снял кожаную куртку, повесил на свое место - крайний крючок на вешалке, он всегда туда вешает. Принес польские сувениры - он последнее время ездил в Варшаву - и любимый мамин торт, весь обмазанный шоколадом, без крема, сухой внутри, вроде из вафель склеенный. Ну и цветочки.

Сначала мы попили чаю, мама поддерживала дипломатическую беседу на отвлеченные темы (как погода в Варшаве и тэдэ), а потом, когда эта дурацкая официальная часть завершилась, мы пошли с отцом прогуляться.

Было уже не светло, но еще и не вполне темно. Тускло. Теней мало, все в сиреневатом таком цвете воспринималось. Не скажу, что красиво, нет. Какой-то грязноватый налет лежал на улицах, на всем городе. Но все равно здорово - с отцом когда.

Люблю шагать с ним по городу. Папа не спешит. Идем и разговариваем. Никто нам не мешает. Иногда, если погода, конечно, хорошая, можно над рекой посидеть. Красота!

И в этот день мы шли, разговаривали про разное. Он меня про школу расспрашивал: с кем теперь дружу, как Оля в новом году учится, нравятся ли нам преподаватели...

И тут мне стукнуло - спрошу! И я спросил:

- А ты мог бы мне рассказать, как детей делают?

Странно, когда отец услышал этот вопрос, у него сделалось неприятное, расстроенное лицо. И он замямлил такое... В жизни от него не ожидал: "Э-э-э... бэ-э... собственно говоря... можно предположить..."

Мне сделалось и противно, и почему-то жалко отца.

- Ладно, - заявил я с чувством собственного превосходства, - можешь не рассказывать: сам знаю.

- Знаешь? А для чего тогда спрашиваешь?

- Хотел от тебя услышать, чтобы не сомневаться...

Здесь я чуть не брякнул про Леху, мой главный источник полезных сведений, но вовремя удержался.

- И что же ты сам знаешь? - вяло спросил отец.

- Могу поделиться,- предложил я и стал пересказывать сюжеты Лехиных картинок плюс его развернутый комментарий. Что-то на меня при этом нашло - может, вдохновение. Говорил я, как бы не замечая слов, обычно нормальными людьми вслух не произносимых. Меня несло. Тормоза не держали.

Отец терпеливо молчал, пока я не иссяк. Только тогда он спросил:

- Все?

Я кивнул головой и сжался: что теперь будет? Признаться, я уже жалел - не надо было затевать этого разговора и тем более ни к чему мне было солировать...

- Сущность предмета в общих чертах ты усвоил.

А вот словесный твой понос - просто стыд и срам, сынок. Постарайся понять: только нищие духом, отпетые олухи могут купаться в грязи этих гнусных слов. Я думаю, похабщину изобрели человеконенавистники, серые, убогие люди. Они сгорали от зависти: не получалось у них любви-праздника, вот они и выверзались, ожесточались... Тебе, сынок, еще не все пока доступно. Поверь мне поэтому на слово: не щеголяй словами ничтожных людишек, не путай правду с цинизмом.

Он помолчал немного и стал извиняться, что оказался совершенно неподготовленным для затеянной мной беседы. А мне... мне было непередаваемо стыдно.

- Извини, Кирюха. Больно ты быстро вырос. Никак я не предполагал, что уже время...

6. Маму я, конечно, люблю. Тут сомневаться нечего и спрашивать не надо: за что да почему? Мама - и все! А вот откровенно сказать: к ней меньше, чем к отцу, привязан. И в этом она сама виновата. Сколько помню, от нее одни "нельзя" слышу:

- Нельзя есть снег - горло заболит!

- Нельзя с куском по улице бегать - неприлично.

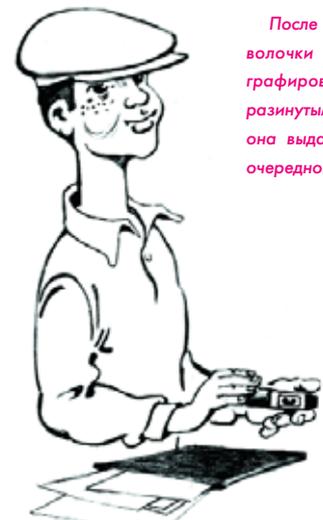
- Нельзя, когда сидишь на диване, поджимать под себя ноги - не дикарь.

- Нельзя шлепать по лужам - простудишься!

- Нельзя перебивать старших - неуважительно...

И так далее и тому подобное.

Понимаю, мать хочет, как лучше для меня. Родительский инстинкт действует! Святое чувство материнства в ней говорит. Но надо все-таки и границы ощущать: невозможно на одном "нельзя" человека дер-



После отцовской выволочки Леха сфотографировал училку с разинутым ртом, когда она выдавала кому-то очередной разнос.



Рыбки красиво плавали в большом стеклянном пузыре и потешно разевали рты, как будто зевали.

жать. "Льзя" тоже должно быть!

Говорю матери:

- Есть же закон борьбы за существование! Это не я выдумал, а сама природа установила. Естественный отбор тоже существует. Ты же не можешь отменить эти положения? Почему десантников и космонавтов специально на выживание тренируют? Между прочим, сам великий Руал Амундсен - слышала? - уже мальчишкой на снегу спал, а позже котлетами из собачатины питался - и ничего, два полюса освоил! А ты говоришь: "Нельзя то, не смей это!.."

Но мою маму не собьешь.

- Не болтай глупостей! - и конец разговору. А бывает, и не конец, бывает, отрабатывает запасной вариант: Станешь десанником, космонавтом или Амундсеном - тренируйся и выживай как угодно! Спи тогда на снегу, бегай по Северному или Южному полюсу босиком. Клянусь: я возражать не стану. А пока ты еще мой сын. Понимаешь? И при этом, один. Так что я за тебя отвечаю.

У меня много недостатков. Есть и такой глупый: терпеть не могу, чтобы последнее слово в споре оставалось не за мной. Злюсь.

- А почему, кстати сказать, я у тебя один? Нарожала бы еще штук пять - про запас и для спокойствия...

Такого разговора мать не поддерживает. Сразу губы в ниточку, слепому видно - обиделась. А подумай - чего такого особенного я сказал? Мама молодая, и жизнь есть жизнь...

А еще мою маму хлебом не корми - дай потолковать о пользе образования, необходимости владения иностранными языками и вузовском дипломе. В ее представлении диплом - голубая мечта и, понятно, непременная принадлежность каждого порядочного человека. При этом сама она если что-нибудь и закончила - мамино аттестата зрелости я никогда в глаза не видел, - то не больше, чем вечернюю среднюю школу; иностранными языками она тоже не владеет и ни к какому вузу никогда не приближалась. А намеки ей - так сразу на лице мировая скорбь, сразу вздыхать, охать:

- О чем говорить? Какие у меня были обстоятельства в детстве, какие условия...

Кстати сказать, какие тяжкие обстоятельства жизни были в маминой молодости, я совершенно себе не представляю. Теперь многие стали своими родсловными интересоваться, а я что могу сказать? Есть у меня живая бабушка - матери мать. Старушка с легкой чужинкой. Очень она любит поговорить про Бога, про райскую жизнь и мучения грешников в аду. Но мне кажется, она на самом деле ни в какого господина не верит, а почитает только денежку! Ох, любит бабушка новенький рублик погладить! У нее при этом и лицо масляным делается...

Можно предположить, что кроме бабушки был у меня еще и дедушка. Но я его на этом свете не застал. Ни мама, ни бабушка никогда и ничего про дедушку мне не объясняли (правда, и я не особенно им интересовался). Фотографии дедушки, думаю, у матери имеются, но на стене не висят, в рамки не вставлены.

А что было раньше - перед бабушкой и дедушкой, - вопрос, извиняюсь, без ответа. Тьма.

Отец же вырос в детском доме. Его родители погибли в авиакатастрофе. Он пытался найти "концы", но совершенно безуспешно. Разыскал только совсем-совсем дряхленькую бабулечку, которая когда-то работала в детском приемнике и вроде бы какое-то время приглядывала за отцом. Папа ей к каждому празднику посылает красивые открытки.

А мама удивляется:

- Ну чего ты стараешься - она же тебя и помнить не может. Подумай: сколько вас через ее руки прошло, во-первых, и, во-вторых, прикинь, какого она возраста сейчас! Лет под сто!

- Помнит или не помнит - существенного значения не имеет: каждому живому человеку радостно получить привет от другого человека. Это, во-первых, если уж загибать пальцы. И, во-вторых, мне доставляет удовольствие писать старушке. И тут ничего ненормального нет - вполне естественное дело, если подумать минуточку, идти с добром к людям. И вовсе не обязательно ожидать за это благодарности или получать медаль "За заслуги"...

Особенно охотно отец говорит о доброте, был бы подходящий случай, об отношении к детям: вовсе не обязательно целовать ребяткишек, гладить их по головкам, подкармливать шоколадками и одевать, словно кукол. Нет! Главное - проявлять терпение! Слушать внимательно, не злиться, даже когда очень хочется разозлиться, отвечать на все вопросы, которые тебе задают ребята, а не можешь ответить, так не ври, признайся: не знаю. А еще папа любит порассуждать, что важнее: слова или дела? И, как дважды два, доказывает: доброе слово - ценность, конечно, большая, но даже маленькое полезное дело в сто раз важнее и дороже...

Но завести котенка папа мне никогда не позволял. Почему? Мне кажется, он и сам толком не мог объяснить свою неприязнь к кошкам.

- Терпеть не могу кошек, - говорил отец, - все подхалимки!

Тогда я принимался канючить щеночка, маленького, беленького, с черным мокрым носиком.

- Жалко, Кирюша, - говорил миролюбиво отец, - из щенка вырастает собака, а собаке простор нужен - лес, поле, земля, а не асфальт под ногами...

Единственное, на что он согласился, - купить мне золотых рыбок. Они красиво плавали в большом стеклянном пузыре и потешно разевали рты, как будто зевали.

Но с золотыми рыбками мне кошмарно не повезло. И тут я, кажется, кругом виноват - перестарался с кормежкой. В два дня все мои красавицы подохли. Отец, когда из рейса вернулся, ничего не сказал, хотя наверняка заметил: аквариум пустой, одна травка в нем зеленеет.

И больше в нашем доме никакой живности не было.

Когда я еще вырасту, когда смогу решать все сам, я собаку все равно заведу. И это будет немецкая овчарка. Обязательно овчарка, а не какой-нибудь декоративный песик величиной с варежку.

А у Оли, знаете, какой котике вырос?! Килограммов на двадцать! Серьезно. Здоровенный, тяжеленный и с характером - я тебе дам каким! Не к каждому приблизится, не всякому позволит себя погладить.

Олина мама говорит:

- У него очень развито чутье на хороших людей. Вот ты понаблюдай за ним и убедишься.

Лично я наблюдаю, что ко мне Брешка подходит без отвращения и не возражает, когда я чешу ему за

ухом. Даже наоборот: я чешу, а он начинает так звучать, будто в нем что-то булькает или закипает. При этом Брешка жмурится и - вот даю честное слово! - улыбаются совсем по-человечески.

Нет, я не чувствую себя несчастным или сильно обделенным от того, что у меня нет персонального домашнего животного. Приходится терпеть. В конце концов, и у взрослых могут быть свои завихрения: все-таки люди.

Но я начал рассказывать про маму и нечаянно отвлекся. Извините.

Мама служит... Кстати, она совершенно не переносит этого слова - "служить" и всегда говорит о себе: "Я работаю". Но если соблюдать точность, мама, конечно, служит в отделе архивных фондов военного музея. Я бывал у нее на службе и вполне представляю, как она записывает на карточки наименования поступающих документов - единиц хранения, по-архивному, - как посылает, если надо, эти единицы на реставрацию, а с наиболее ценных снимает фотокопии.

Мне понравилось на маминой службе: порядок, чистота, тишина, все друг с другом обращаются исключительно вежливо. Например, маму только две или три женщины - они намного старше - называют Аней, а все остальные - "Анна Сергеевна" и только на "Вы". Словом, порядок у них там будь здоров - воинский! И мне совершенно непонятно, для чего мама в разговоре с незнакомыми людьми, когда речь касается ее работы, обязательно напускает тумана.

- Мы ведем исследования старинных, государственно важных документов... Фактология немислима без скрупулезного подхода и объективного осмысления каждого исторического свидетельства... Документирование для науки и в науке не терпит умозрительности... Вот в таком приблизительно духе обожает она высказываться. Плетет, и самой, небось, кажется, что люди думают, будто перед ними, по меньшей мере, доктор исторических наук или, на худой конец, старший научный сотрудник.

Но больше всего я не терплю, когда мама вроде бы даже с вызовом объясняет:

- Мой муж - рабочий! (Она всегда представляет отца так. Никогда не скажет - шофер. По ее понятиям, водитель автомобиля, шофера, - последняя, пожалуй, степень падения.) Мой муж - рабочий, - мать говорит, вроде бы извиняясь за отца, за его неполученное высшее образование и умоляет всем своим видом не высказывать ей сочувствия.

Маме жутко важно, что подумают, что скажут или всего только что могут сказать люди о ней, об отце, о нашей семье. Иногда мне даже кажется, маме не так важен смысл и суть дела, лишь бы сохранилась приличная декорация. Сто раз на дню она может повторить: "Так неприлично... Это неудобно... Это некрасиво... Не позорь меня... Не срами себя..."

А один раз за "неприличный" вопрос я даже от нее по морде схлопотал. Сидели на кухне и пили чай. Слушали Вахтанга Кикабидзе. Все было мирно, спокойно. Сам не знаю почему (был, очевидно, какой-то повод), я спросил:

- Правда, я недоношенным родился?
 - Что ты глупости болтаешь? - авансом рассердилась мама.
 - Вы с отцом в октябре поженились?
 - Ну и что?
 - А я родился в июне... Так? Считай: ноябрь, декабрь, январь, февраль...

Я не успел досчитать даже до апреля. Мать вле-

пила мне такую затрещину, что я едва не слетел с табуретки и одно ухо перестало слышать Кикабидзе.

И за что? Жизнь есть жизнь, от нее нельзя спрятаться. Почему только взрослые упорно не хотят этого понимать? Самое простое - и мне и ежику понятное - стараются возвести в проблему!

7. Когда выяснилось, что память у меня не как у всех, Леха очень беспокоился. Заметьте, не я - он! Такой уж человек: набит идеями или, как он сам любит говорить, "вариантами"...

- Что будем делать, Кирюха? Не пропадать же такому товару...

Насчет товара он любимое словечко своего папаши воткнул. Пал Васильевич готов все за товар считать: "Книжка такая-то - не товар, студенты. (Он нас всегда студентами величает.) Но прочитать надо". Увидит симпатичную женщину: "Боже, какой товар, а купца нет!" Даже про обыкновенную плюшку с изюмом тем же тоном: "У-у-у, товар - люк!"

Я удивился: пусть есть у меня память, и даже сильная или вовсе необыкновенная, но что же можно из нее сделать? И Леха предложил свой "вариант":

- Желаете ребятам принести пользу - подумай, какой урок легче вытерпеть - в сорок пять или в тридцать минут?

- Ну-у?

- Вот тебе и "ну"! Посматривай в умные книжки, запоминай всякую научность, лепи из нее вопросы! Учителя ужас как обожают себя показывать и будут отвечать, заливаясь словами, а хоть Аверкина или меня, дурака, спросить не успеют. Один за всех! Кому, спрашивается, ура? Каретникову! Только с умом надо, чтобы на полном серьезе, с интересом на морде вопросы задавать...

Для начала на природоведении я спросил, как астроном Галле в 1846 году вдруг надыбал большую планету в нашей Солнечной системе и почему ее раньше никто не заметил, такую здоровенную?

За "надыбал" мне от Марии Михайловны был втык, но все равно она стала рассказывать, что сначала, кажется, Леверье вычислил на основании возмущений Урана, что примерно в каком-то районе небла должна находиться громадная планета, вот с этой подачи Галле и удалось найти Нептун.

Мария Михайловна рассказывала с удовольствием, постепенно увлеклась, и мы узнали, что среднее расстояние между Землей и Солнцем в тридцать раз меньше, чем от Нептуна до Солнца, что Нептун обращается вокруг нашего общего светила за шестьдесят тысяч сто семьдесят один сутки. Это будь здоров сколько! Сто шестьдесят четыре с лишним года! Мария Михайловна назвала диаметр, объем и массу планеты, рассказала про спутник Нептуна - его открыл Лассаль...

Кто сколько запомнил - другой вопрос, но спросить никого в этот день Мария Михайловна не успела. Леха радовался и все меня нахваливал:

- Не голова - совет министров!



(Продолжение в следующем номере)



Для начала на природоведении я спросил, как астроном Галле в 1846 году вдруг надыбал большую планету в нашей Солнечной системе и почему ее раньше никто не заметил?

ХРОНИКА

ФРОНТОВОГО БОМБАРДИРОВЩИКА

"...Сталин сказал, что ему много приходилось общаться с разными конструкторами, и он не помнит ни одного случая, чтобы хоть один из них когда-нибудь самокритично признался в своей творческой неудаче..."

А.С. Яковлев. "Цель жизни"

Александр Николаев

(Продолжение. Начало в № 2 - 2005)

"Первый подход" к проблеме создания реактивного фронтового бомбардировщика ОКБ А.С. Яковлева сделало еще летом 1954 г., закончив постройку самолета "125Б". Эта машина разрабатывалась как вариант разведчика "125", а тот, в свою очередь, проектировался на базе дальнего перехватчика Як-25М (первый с таким названием, в ОКБ он имел обозначение "120М"). В указанный период времени ОКБ-300 А.А. Микулина предложил авиаконструкторам двигатель АМ-9А, представлявший собой, в сущности, модификацию АМ-5 с форсажной камерой и дополнительной ступенью компрессора. Главным достоинством АМ-9А была относительно небольшая масса (700 кг) при тяге порядка 3250...3300 кгс на форсированном режиме (для сравнения - у ВК-1Ф тяга 3380 кгс на форсаже, но его масса составляла 1280 кг). Другим плюсом микулинской новинки являлся диаметр "лба", составлявший всего 660 мм (у ВК-1Ф - почти вдвое больше). В совокупности эти два фактора позволяли добиться солидного прироста скорости для самолета, размеры и аэродинамические формы которого были бы близкими к тем, что имел Ил-28.

Но А.С. Яковлев установил двигатели АМ-9А на самолет Як-25М, обладавший гораздо меньшими размерами, нормаль-

ной полетной массой менее 10 т и к тому же имевший крыло с углом стреловидности 45°. Предполагалось, что на большой высоте машина сможет легко преодолеть скорость звука. Не тут-то было! Из-за относительно толстого крыла самолет остался дозвуковым (точнее - трансзвуковым), к тому же разработчики АМ-9А столкнулись с рядом трудностей и вынуждены были передать доводку в Уфу.

Конструкторам из ОКБ А.С. Яковлева пришлось сделать шаг назад и вернуться к проверенным временем двигателям АМ-5. Разведчик "125" и бомбардировщик "125Б" отличались от "нормального" Як-25 наличием застекленной кабины в носовой части фюзеляжа, в которой размещался штурман. Небольшие размеры и масса машины ограничили максимальную массу "полезной нагрузки" бомбардировщика 2000 кг, а нормальную - 1200 кг. Последнее "некруглое" число обусловлено простым соображением - именно столько весила отечественная тактическая бомба РДС-4. Специально для размещения бомбы в фюзеляже освободили среднюю часть, сдвинув заднюю опору шасси назад. Увеличилась нагрузка на переднюю стойку шасси - ее пришлось усилить и оснастить двумя колесами. Прямо под кабиной смонтировали радиолокационный прицел "Рубидий". В общем, получился околозвуковой легкий бомбардировщик, обладавший вдвое меньшей массой по сравнению с Ил-28 при приблизительно одинаковой нормальной бомбовой нагрузке и дальности полета! Казалось, "фирменный рецепт" А.С. Яковлева сработал. Но из-за слишком малого прироста скорости машина не вызвала особого интереса у заказчиков. В середине пятидесятых годов прошлого века военные были увлечены очередным этапом гонки за призраком скорости и не без оснований полагали, что все боевые самолеты очередного поколения должны были стать сверхзвуковыми.

А.С. Яковлев не настаивал. К тому же авария, которая произошла с машиной "125" во время заводских испытаний, отодвинула сроки передачи самолета в ГК НИИ ВВС до мая 1955 г., когда кое-какие проблемы АМ-9 (впрочем, теперь он уже назывался РД-9Б) остались позади. Появилась возможность вернуться к более мощной силовой установке и, учитывая накопленный при разработке опытного фронтового бомбардировщика и разведчика опыт, создать действительно востребованную ВВС машину.

Впрочем, следующий шаг был все же несколько поспешным. Еще 10 июня 1954 г. главный конструктор ОКБ-115 получил правительственное постановление (надо ли говорить, что в те времена, как, впрочем, и сейчас, такие постановления писались "под копирку" с предложений самого ОКБ - инициатора разработки), предписывавшее создать на базе Як-25 двухместный сверхзвуковой истребитель-перехватчик дальнего действия Як-2АМ-11 (то есть "Як" с двумя двигателями АМ-11). Предполагалось, что в дальнейшем на его базе будет разработан разведчик, а затем и фронтовой бомбардировщик. Предполагалось также, что к началу 1955 г. ОКБ-300 А.А. Микулина смо-



Опытный бомбардировщик "125Б"



Примерка макета спецбомбы РДС-4 на самолете "125"

жет предоставить яковлевцам летные экземпляры двигателей АМ-11, обладавшие тягой 4000 кгс на максимальном режиме и 5000 кгс на форсаже. Микулин еще раз оказался не на высоте. Двигатель АМ-11 (позднее этот "неудачник" станет всемирно известным Р11Ф-300, именно он поднимал в небо первые МиГ-21) оказался в то время настолько "сырым" и недовершенным, что от дальнейшей разработки Як-2АМ-11 пришлось отказаться, и в марте 1955 г. вышло новое постановление правительства, в соответствии с которым всю тройку машин (перехватчик, разведчик и истребитель) следовало создавать с использованием двигателя РД-9АК.

Согласно заданию будущий бомбардировщик Як-26 (его обозначение внутри ОКБ - "123") должен был развивать скорость 1400 км/ч, подниматься на высоту до 16 700 м и обладать дальностью полета 2200 км. Нормальная бомбовая нагрузка оставалась прежней - 1200 кг, но максимальная увеличивалась до 3000 кг. При внешней схожести с самолетом "125Б" новая машина отличалась измененной геометрией носовой части фюзеляжа, позволившей не только снизить лобовое сопротивление, но и улучшить условия работы штурмана, в том числе увеличить обзор. Но этого было недостаточно для повышения скорости до указанного значения. Требовалось еще уменьшить относительную толщину профиля крыла.

Приведем цитату из воспоминаний Е.Г. Адлера, работавшего в указанный период в ОКБ-115: *"Зайдя как-то в бригаду эскизного проектирования, Александр Яковлев обратился к Шехтеру и Пульхрову с неожиданным предложением.*

- А что если взять за основу перехватчик Як-25 и сделать из него фронтовой бомбардировщик? Конечно, не простой, а сверхзвуковой. Чтобы основательно перейти звуковой барьер, нужно сделать две вещи: вместо малосильных АМ-5 установить более мощные АМ-9 и уменьшить волновое сопротивление крыла. АМ-9 обещает поставить Микулин, а уменьшить волновое сопротивление можно двумя путями: увеличить стреловидность или убавить толщину профиля крыла, скажем, вдвое. Увеличивать стреловидность довольно рискованно. А уменьшив высоту профиля с 12 до 6 процентов, мы получим серьезное уменьшение волнового сопротивления крыла, а остальные характеристики самолета вряд ли изменятся. Так мы сразу получим сверхзвуковой фронтовой бомбардировщик с заранее известными характеристиками.

Начальник бригады Леон Шехтер и главный аэродинамик Георгий Пульхров к этому демаршу Александра Сергеевича оказались неподготовленными и возражали вяло, а известный специалист в области прочности и жесткости авиаконструкций Сергей Макаров не присутствовал.

Так было принято решение, практически ознакомившее ОКБ Яковлева с явлением реверса элеронов, ограничивающим скорость самолета на малых высотах...

При этом примечательно, что почти полностью игнорировали ТТТ ВВС, хотя прекрасно знали, что именно им предназначался этот самолет".

Евгений Георгиевич, как мы видим, нарисовал несколько упрощенную картинку предыстории Як-26. Однако на три момента следует обратить внимание: мотив уменьшения относительной толщины профиля крыла, последствия такого решения для летных качеств самолета и пренебрежение к взглядам заказчика на облик боевой машины соответствующего назначения. Например, не желая связываться с оснащением самолета тяжелой и сложной управляемой оборонительной пушечной установкой, А.С. Яковлев утвердил техническое решение, предусматривавшее применение ориентированной назад неподвижной пушки АМ-23 с боезапасом из 100 снарядов. При этом никаки средств ее наведения на атакующий истребитель противника не предусматривалось!

И все же макет самолета с некоторыми замечаниями был утвержден заказчиком, что позволило построить прототип машины. Ее взлетная масса достигла 11 200 кг. В июне 1956 г. за-



Первый экземпляр опытного бомбардировщика "123"

вершился этап заводских испытаний, а в следующем месяце ОКБ-115 предъявило первый экземпляр бомбардировщика в ГК НИИ ВВС. В процессе государственных испытаний, проходивших с 27 июля по 28 августа 1956 г., удалось получить максимальную скорость 1230 км/ч и потолок 16 000 м. Як-26 оказался первым в нашей стране фронтовым бомбардировщиком, способным уверенно преодолеть звуковой барьер.

Но помимо этой ложки меда испытателей ожидала прямотаки бочка дегтя. Из 110 запланированных полетов удалось выполнить всего 27. При этом выявились неустойчивость на больших углах атаки, неудовлетворительные характеристики устойчивости и управляемости, плохой обзор из кабины штурмана, большие усилия из-за трения в управлении самолетом, валежка и потеря эффективности элеронов на больших скоростях. На высоте 4000..6000 м, когда скоростной напор достигал максимума, самолет неадекватно реагировал на отклонение элеронов - кренился в сторону, противоположную желаемой. Реверс элеронов, причиной которого оказалась недостаточная жесткость крыла (обусловленная малой относительной толщиной), начал проявляться при первых же попытках разогнать машину до максимальной скорости. Комиссия по проведению совместных испытаний самолета вынуждена была с 28 августа 1956 г. прервать испытания Як-26 по программе второго этапа и потребовала установить новое, более жесткое крыло.

В конце 1956 г. на первый прототип Як-26 установили усиленное крыло, регулируемый стабилизатор и форсированные двигатели РД-9Ф (тяга на форсаже 3800 кгс), доработали фонарь, входной люк штурмана и катапультные кресла. На передней кромке консолей появился выступающий "зуб", играющий роль генератора вихря. Это широко известное техническое решение, с одной стороны, улучшило аэродинамические характеристики крыла, предупреждая выход на критические углы атаки, а с другой стороны, увеличило аэродинамическое сопротивление.

В 1957 г. в ОКБ-115 построили вторую опытную машину с аналогичными доработками, оснащенную двигателями РД-9Ф и радиодальномерной станцией "Лотос", которая сопрягалась с прицелом ОПБ-11. На этом самолете в НИИ ВВС исследовали реверс элеронов. С 3 октября 1957 г. на первом опытном самолете начались испытания бомбардировочного вооружения со сбросом бомб на дозвуковых и сверхзвуковых скоростях. К концу 1957 г. завершились заводские испытания опытных машин, в ходе которых подтвердились основные расчетные характеристики Як-26. Максимальная скорость достигла заданного уровня 1400 км/ч, потолок - 16 800 м, максимальная дальность - 2400 км. Однако полеты на Як-26 постоянно сопровождались авариями, связанными с так и не устраненными конструктивно-производственными дефектами.

Между тем, А.С. Яковлев сумел добиться решения, позволившего изготовить малую серию из 10 бомбардировщиков Як-26 на московском авиазаводе № 30. Правительствоное постановление от 5 января 1956 г. с уточнениями, внесенными другим постановлением в марте, предписывало закончить изготовление последней машины в третьем квартале 1956 г. Напомним, что Г.К. Жуков приехал на смотрины Ил-54, описанные в первой части статьи, в июне 1956 г. Как позднее выяснилось, той



Опытный бомбардировщик "123" с доработанной кабиной штурмана

поездке предшествовало совещание в Министерстве обороны, на котором А.С. Яковлев доложил о характеристиках опытного фронтового бомбардировщика Як-26. На одном из плакатов была выразительная картинка: показаны силуэты двух самолетов Ил-54 и Як-26, а также табличка, из которой следовало, что Як-26 при меньших размерах выполняет большинство тех боевых задач, которые возложены на самолет Ил-54.

Параллельно на саратовском авиазаводе № 292 было начато изготовление малой серии (также 10 единиц) истребителя-перехватчика Як-27, конструктивно близкого к Як-26. Готовился к передаче на серийный завод и Як-27Р - разведывательный вариант машины. Но производство самолетов во всех случаях носило ограниченный характер и велось "по чертежам и ТУ главного конструктора", а не по чертежам серийного завода - такая практика было характерной для СССР и мотивировалась ускорением освоения еще не до конца "доведенной" машины, проходившей государственные испытания. Срок сдачи самолетов затянулся и перевалил в связи с необходимостью проведения доработок на 1957 г. В данном случае А.С. Яковлеву удалось "протолкнуть" в малую серию фронтовой бомбардировщик Як-26 и перехватчик Як-27, но добиться принятия их на во-

оружение и развертывания полномасштабного производства главный конструктор не смог. В результате деньги были практически выброшены на ветер, а ведь каждая из машин стоила примерно 4 млн руб.

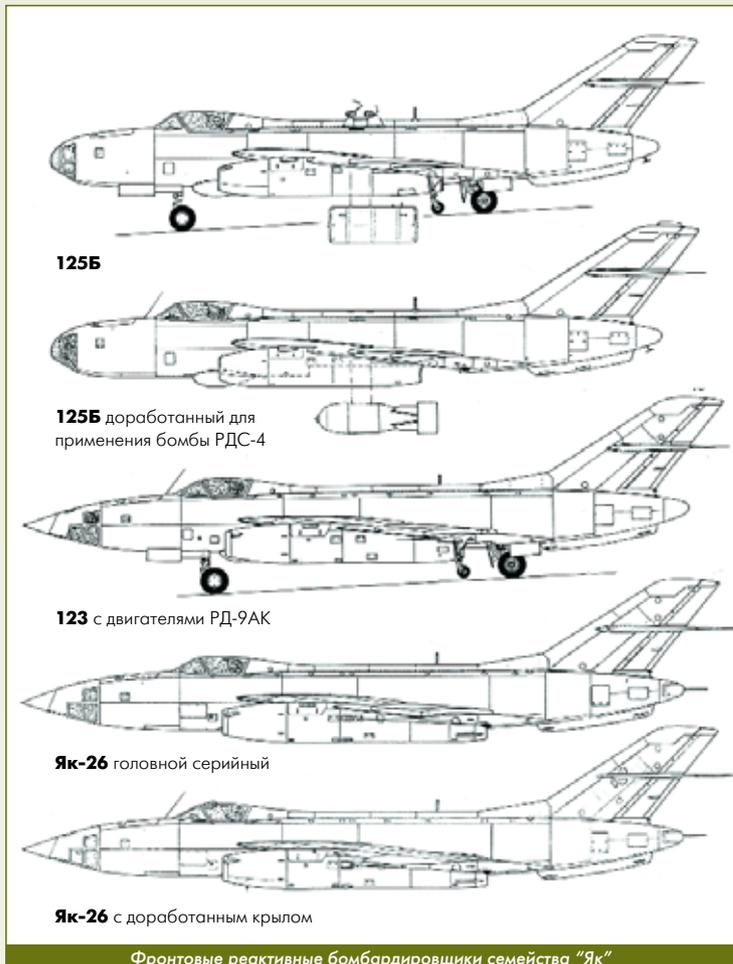
В январе 1957 г. Военно-воздушные силы вновь возглавил маршал авиации К.А. Вершинин, сменивший главного маршала авиации П.Ф. Жигарева. Не связанный никакими обязательствами и предварительными кулуарными "договоренностями", Константин Андреевич начал жестко требовать выполнения всех условий, указанных в ТТ на разработку самолетов, и устранения дефектов, выявленных в ходе испытаний. ОКБ-115 оказалось не готово к такому повороту событий. Едва ли не впервые за всю историю ОКБ его "изделия" столь решительно отвергли! Все это происходило на фоне известного охлаждения политического руководства страны в лице Н.С. Хрущева к пилотируемой авиации. А.С. Яковлев сумел еще раз проявить мастерство, распределив ставшие никому не нужными самолеты; часть из них была направлена в ОКБ-115 "для доводочных работ", часть - в институты промышленности, причем парочка удостоилась чести сразу после изготовления встать на вечную стоянку в Монинском музее ВВС.

Если верить воспоминаниям Е.Г. Адлера, в тот период времени главный конструктор ОКБ-115 пришел к выводу о нецелесообразности продолжения работ, направленных "в развитие Як-26". Документы архивов свидетельствуют, что это не совсем так. Дело в том, что ВВС, на время примирившись с отсутствием замены для бомбардировщиков Ил-28, не желало терпеть дефицита оперативно-тактических разведчиков. Из всей тройки самолетов "Як" с двигателями РД-9Ф наиболее востребованным оказался Як-27Р, который "со скрипом", но все же был доведен до состояния, позволившего начать относительно крупномасштабное производство. А поскольку конструктивно машины всех трех назначений были близкими, то это позволяло непрерывно совершенствовать облик даже "замороженных" проектов и предлагать новые варианты на базе серийно строившихся. И как истребитель-перехватчик Як-25 послужил своеобразным "поводом" для создания фронтового бомбардировщика Як-26, так и разведчик Як-27Р обусловил появление фронтового бомбардировщика Як-28, а затем и перехватчика Як-28П.

Ракетно-авиационные альтернативы

25 декабря 1956 г. министр обороны маршал Советского Союза Г.К. Жуков распорядился подготовить предложения Генерального штаба "по созданию и развитию основных видов вооружения и военной техники на ближайшие 10-15 лет". В начале следующего года начальник Генерального штаба маршал Советского Союза В. Соколовский подписал объемистый документ, в котором излагалась военно-техническая концепция советских Вооруженных сил на обозримый период времени. Один из разделов был посвящен состоянию и перспективам Военно-воздушных сил и фронтовой авиации, в частности. Разумеется, к подготовке доклада был привлечен аппарат главного штаба ВВС и новый главнокомандующий ВВС маршал авиации К.А. Вершинин, поэтому доклад отражал общее мнение руководства Вооруженных сил. Маршал Соколовский с тревогой отмечал "значительное отставание наших исследовательских и опытных работ по авиационной технике от уровня вероятного противника". Его настораживал тот факт, что в США уже были приняты на вооружение по крайней мере два самолета, далеко перешагнувшие скорость звука (истребители F-102 и F-104A), в то время как у нас такие машины в серийном производстве отсутствовали. Анализируя состояние фронтовых ударных авиационных средств, маршал Соколовский подчеркивал наличие у американцев крылатой ракеты "Матадор" с дальностью пуска 1000 км.

Собственные ракеты начальник Генштаба оценивал пока не слишком высоко: "К недостаткам [баллистических - авт.] ракет дальнего действия Р-1, Р-2 и Р-11, состоящих на вооруже-



Фронтовые реактивные бомбардировщики семейства "Як"

нии Советской Армии, следует отнести их сравнительно большое рассеивание, недостаточную эффективность боевых частей с зарядом обычного ВВ, большое количество агрегатов наземного оборудования, громоздкость этого оборудования и его низкие маневренные возможности". Огневая производительность ракетных бригад Р-1 и Р-2 ограничивалась всего 24 пусками в сутки; ракетами Р-11 бригада могла стрелять вдвое чаще. Если учесть, что массы боевых частей ракет Р-1, Р-2 и Р-11 составляли соответственно 780, 1000 и 530 кг, то получается, что ракетное соединение могло доставить за сутки в район цели 20...24 т "полезного груза" с точностью доставки, которая характеризовалась километровыми вероятными отклонениями. Замечу, что аналогичными возможностями располагала эскадрилья фронтовых бомбардировщиков Ил-28, причем с лучшими показателями точности.

В составе ВВС в марте 1957 г. началось развертывание комплекса ФКР-1 "Метеор" - фронтовой крылатой ракеты, созданной на базе авиационной ракетной системы "Комета" класса "воздух-поверхность". Подобно прототипу, ФКР-1 оснащалась турбореактивным двигателем РД-500К (короткоресурсным), для обеспечения старта с земли применялся пороховой ускоритель ПРД-15М. Крылатая ракета обладала дальностью 25...120 км и относительно высокой точностью доставки боевой части (обычной или специальной) к цели. Так, в ходе контрольных испытаний четыре из пяти ракет попали в квадрат со стороной ± 500 м, а три ракеты - в квадрат со стороной ± 250 м. Основным недостатком ФКР-1 в то время считалась дозвуковая скорость полета, поэтому ОКБ Челомея получило задание - создать новый фронтовой ударный ракетный комплекс П-5П со скоростью полета ракеты 1600 км/ч и дальностью 100...600 км.

И все же, по мнению высших военачальников, основную нагрузку при поражении целей противника, расположенных в оперативной-тактической глубине, должна была нести фронтовая ударная авиация (до 85 % от общего объема задач). Лишь оставшиеся 15 % в перспективе возлагались на "Метеоры", причем в своих докладах начальнику Генштаба маршал К.А. Вершинин неоднократно предлагал переподчинить ему соединения, вооруженные оперативно-тактическими ракетами.

В дальнейшем главкомат ВВС конкретизировал свое видение перспективного фронтового ударного самолета. В частности, в мае 1957 г. маршал К.А. Вершинин докладывал в Генеральный штаб свои уточненные соображения по этому поводу:

"Фронтовая бомбардировочная авиация предназначена для действий по наземным и морским объектам в полосе фронтов; она включает в себя фронтовые бомбардировщики, истребители-бомбардировщики, системы "воздух-земля" и фронтовые крылатые ракеты.

А) Для выполнения указанных задач заказываются к постройке бомбардировщики:

- т. Яковлеву - со скоростью 2500 км/ч и дальностью полета 2500 км, а с подвесным баком - 3000 км;

- т. Туполеву - со скоростью 2000-2200 км/ч и дальностью полета 2400 км, а с подвесным баком - 3000 км.

Ввод на вооружение лучшего из них планируется в 1960-1962 гг.

В составе фронтовой бомбардировочной авиации таких самолетов иметь 50 %, а в морской авиации - до 15 %.

В настоящее время эти задачи выполняются устаревшими самолетами Ил-28 с максимальной скоростью 900 км/ч. В 1958-1959 гг. предусматривается поступление на вооружение фронтового бомбардировщика Як-26 или Ту-98 с максимальной скоростью 1400 км/ч при потолке 15...17 км и дальности полета 2200...2700 км при полете на дозвуковой скорости. На сверхзвуковой скорости дальность полета резко падает до 500...1000 км соответственно...

Б) Для поражения малоразмерных и подвижных сухопутных и морских целей предусмотрено создание фронтовых систем,



Фронтовая крылатая ракета ФКР-1 "Метеор"

состоящих из самолетов-носителей Як-26, Ту-98, нового фронтового бомбардировщика Туполева и самолета-снаряда К-12 с дальностью пуска 100 км и скоростью полета 2500 км/ч. Эти системы планируется ввести на вооружение в 1960-1962 гг. и иметь в составе фронтовой бомбардировочной авиации до 10 %, а в морской авиации - до 15 %.

В) Для поражения малоразмерных и подвижных целей предусматривается создание истребителя-бомбардировщика на базе маловысотного истребителя со скоростью 1400 км/ч и дальностью полета 1400...1500 км на высоте 1 км. На самолете предусматривается подвеска бомб до 2000 кг, спецавиабомб, реактивных снарядов с весом до 500 кг и скорострельной пушки. Самолет поступит на вооружение в 1960-1962 гг. В составе фронтовой бомбардировочной авиации необходимо иметь 25 % истребителей-бомбардировщиков...

Г) Фронтовые крылатые ракеты предназначаются для разрушения аэродромов и матчасти на них, для поражения различных площадных целей в полосе фронта... В составе фронтовой бомбардировочной авиации необходимо иметь до 15 % ФКР..."

Начальник Генштаба в целом согласился со взглядами главкома ВВС, но рекомендовал при обращении в ЦК КПСС "особо указать на имеющееся отставание в развитии фронтовой бомбардировочной авиации и на необходимые меры, которые нужно предпринять для ликвидации этого отставания. В этой связи желательнее оценить самолеты Ту-98 и Як-26, указав при этом их аэродромные (? - авт.) характеристики... Уточнить назначение системы К-12 во фронтовой авиации, так как сомнительно, чтобы эта система с относительно невысокой точностью попадания могла поражать на расстоянии 100 км малоразмерные и подвижные сухопутные цели..."

Даже самые высокопоставленные военачальники не могли тогда предположить, сколь глубокую корректировку взглядов им придется осуществить в ближайшем будущем. В мае 1957 г. был произведен первый (неудачный) пуск межконтинентальной баллистической ракеты Р-7. В августе она пролетела положенные 8000 км. В октябре - вывела в космос первый в истории человечества искусственный спутник. Межконтинентальная ракета поразила воображение первого секретаря ЦК КПСС Н.С. Хрущева и оказала весьма существенное влияние на всю программу вооружения Советской Армии. В январе 1958 г. К.А. Вершинин уже не решался предлагать руководству постройку самолетов-бомбардировщиков, речь могла идти только о самолетах-ракетоносцах! Постепенно отступая под напором Хрущева и "примкнувшего к нему" нового министра обороны Р.Я. Малиновского, главком ВВС все же считал пилотируемый фронтовой бомбардировщик абсолютно необходимым боевым средством. П

(Продолжение в следующем номере)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МОТОРОВ "ИСПАНО-СЮИЗА" 12У ВЛАДИМИРОМ ЯКОВЛЕВИЧЕМ КЛИМОВЫМ

Владимир Котельников

В июне 1933 г. Реввоенсовет СССР издал постановление о развитии в стране самолетостроения и авиационного моторостроения, в котором, в частности, говорилось: *"В то время как почти все иностранные воздушные флоты в основном уже перешли на высотные моторы, резко повышающие скорость самолета на больших высотах, его скороподъемность и практический потолок, - наша промышленность не дала еще ни одного мотора с нагнетателем даже в опытном образце для госиспытаний..."* Постановление несколько искажало действительное положение вещей. В 1931-1932 гг. в Советском Союзе в серийном производстве находились два оригинальных типа авиадвигателей с приводными центробежными нагнетателями (ПЦН) - М-15 и М-26, в значительной степени унифицированных между собой. Но надежность их была весьма низкой. Подшипники нагнетателей приходилось менять каждые 25 часов. ВВС РККА отказались принять эти моторы на вооружение, и их сравнительно недолго эксплуатировали на самолетах гражданской авиации. В июне 1933 г. проводились испытания трех опытных образцов двигателя М-34Н, тоже оснащенного ПЦН. Его готовились запустить в серию. Но на вооружении советских ВВС подобные моторы действительно отсутствовали. Такое отставание серьезно беспокоило руководство страны.

Выход решили найти в приобретении лицензий за границей. Группа специалистов произвела анализ имевшихся в то время в мире авиадвигателей. Из числа двигателей жидкостного охлаждения наиболее высокую оценку получил французский мотор "Испано-Сюиза" 12У. 13 августа 1933 г. на заседании Комитета Обороны, на котором председательствовал Сталин, приняли решение купить у фирмы "Испано-Сюиза" лицензию и необходимую для освоения производства техническую помощь, от 20 до 30 готовых моторов, запасные части и необходимый инструмент. Импортные двигатели намеревались использовать на опытных самолетах до развертывания собственного выпуска. Закупку возложили на наркомат тяжелого машиностроения.



Цех завода № 26 до модернизации производства



В Париж отправилась делегация во главе с В.Я. Климовым, главным конструктором завода № 26 в Рыбинске. Он уже имел опыт приобретения лицензий во Франции и Германии. Делегация начала переговоры с представителями фирмы "Испано-Сюиза". 28 ноября из Москвы поступило уточняющее распоряжение купить 30 готовых моторов, 50 в виде комплектов деталей и наиболее сложные и трудоемкие детали еще на 50 двигателей. На все это выделялось 1650 тысяч рублей в твердой валюте.

Переговоры осложнились в связи с тем, что при демонстрационных испытаниях выявилась неспособность мотора развивать сколько-нибудь длительное время объявленную фирмой мощность 860 л.с. Советская сторона потребовала проведения предварительных 100-часовых испытаний по весьма жесткой программе. Представители "Испано-Сюиза" заявили, что серийный мотор испытаний в указанных условиях не выдержит, и предложили поставить на стенд усовершенствованную опытную модель. Советская комиссия согласилась. Планировалось завершить испытания к 29 января 1934 г. Но с двигателем происходили постоянные неприятности: растрескивались рубашки блоков, затем на 11-м часу испытаний сломался коленчатый вал. В Москве начали сомневаться в целесообразности заключения договора. В Лондоне советские представители начали прорабатывать альтернативный вариант - приобретение лицензии на двигатель "Кестрел" у фирмы "Роллс-Ройс".

Но руководство советских ВВС во главе с Я.И. Алкснисом было убеждено в преимуществах мотора "Испано-Сюиза" и требовало подписания лицензионного соглашения еще до завершения испытаний. В Париже продолжали вносить усовершенствования в двигатель: усилили картер, блоки, крышки шатунов, заменили литые поршни штампованными, увеличили диаметр вала редуктора. Ситуация постепенно улучшалась, но мотор все равно работал ненадежно.

Тогда входивший в делегацию военинженер М.И. Левин предложил компромиссное решение, устроившее всех. Советская сторона соглашалась принять документацию на серийный мотор типа 12Уbrs, который на испытаниях удовлетворительно поддерживал мощность 750 л.с., как временную. На базе этой документации развертывалось производство в СССР. В дальнейшем "Испано-Сюиза" обязывалась довести усовершенствованную модель, испытать ее в присутствии комиссии заказчика и отправить в Москву дополнительные чертежи для внедрения в серию.

Эта идея стала основой при разработке договора с фирмой. Он вступил в силу 14 августа 1934 г. и имел срок действия три года. Согласно этому документу "Испано-Сюиза" предоставляла чертежи, спецификации, технологические карты и описания производственных процессов, поставляла часть необходимого специального инструмента и приспособлений. Она также выступала в качестве посредника при закупке станков и инструмента не только во Франции, но и в Англии и Германии. Пятнадцать советских инженеров могли одновременно стажиро-

ваться на заводе "Испано-Сюиза". Французская сторона должна была предоставлять информацию обо всех изменениях, вносимых на серийных двигателях.

Выпуск мотора "Испано-Сюиза" 12Ybrs в Советском Союзе первоначально намерели поручить заводу № 24 в Москве, но затем от этого намерения отказались, опасаясь, что это отрицательно повлияет на развертывание производства отечественных моторов М-34. Организовать выпуск французских двигателей решили в Рыбинске, на заводе № 26. Ради этого пришлось пойти на немалые жертвы. Дело в том, что в Рыбинске до этого собирались наладить сборку американских моторов "Кэртис" V-1800 "Конкватор". В США приобрели лицензию, заказали проект реконструкции завода, закупили инструмент и приспособления. Все это стоило немалых денег, которые оказались выброшенными на ветер. Но в Кремле сочли, что выгоды от внедрения в советской авиации двигателя "Испано-Сюиза" перевесят потери.

Согласно постановлению Совета Труда и Оборона (СТО), уже в 1934 г. завод № 26 должен был выпустить 15 первых моторов, получивших в СССР наименование М-100. Впоследствии обозначения всех советских двигателей, развивавших конструкцию "Испано-Сюиза", начинались с сотни. Пока в Рыбинске готовились к производству лицензионных двигателей, в расчете на их использование уже проектировались новые самолеты. Еще в ноябре 1933 г. в план опытных работ на 1935 г. внесли разработку целого ряда боевых машин с двигателями "Испано-Сюиза". К их числу относились истребители И-17, И-18, ДИ-7, корабельный катапультный разведчик-бомбардировщик КР-2. В феврале 1934 г. французские моторы решили установить на новый скоростной бомбардировщик СБ.

Для постройки опытных образцов самолетов во Франции закупили несколько партий двигателей "Испано-Сюиза" 12 модификаций Ybrs, Ydrs и Ycrs (последний вариант предусматривал возможность установки пушки в развале цилиндров). Первый заказ на восемь моторов оформили 24 января 1934 г. Уже 28 января два двигателя отправили в Советский Союз. Приобретенные моторы послужили образцами для моторостроителей, поступили в различные научно-исследовательские учреждения для изучения или были переданы на заводы для установки на опытные самолеты. Один пушечный двигатель попал в конструкторское бюро Б.Г. Шпитального для разработки установки новой советской 20-мм пушки ШВАК.

Работа по созданию самолетов И-18, ДИ-7 и КР-2 по различным причинам не продвинулась дальше эскизных проектов. Скоростной истребитель-моноплан И-17, сконструированный под руководством Н.Н. Поликарпова, был построен в трех опытных экземплярах. И-17 проходил испытания в 1934-1936 гг. Один из самолетов этого типа демонстрировался в 1937 г. на выставках в Милане и Париже. Последний вариант истребителя, оснащенный системой парового охлаждения, показал скорость свыше 500 км/ч. Но на вооружение машину не приняли, поскольку она не имела существенных преимуществ по сравнению с модернизированным И-16. Остался на бумаге проект ЦКБ-33, представлявший собой модификацию И-17, которая предназначалась для базирования на са-



Цех картеров моторов (1937 г.)

молете-носителе ТБ-3. По проекту у машины отсутствовало шасси, а площадь крыла была значительно уменьшена.

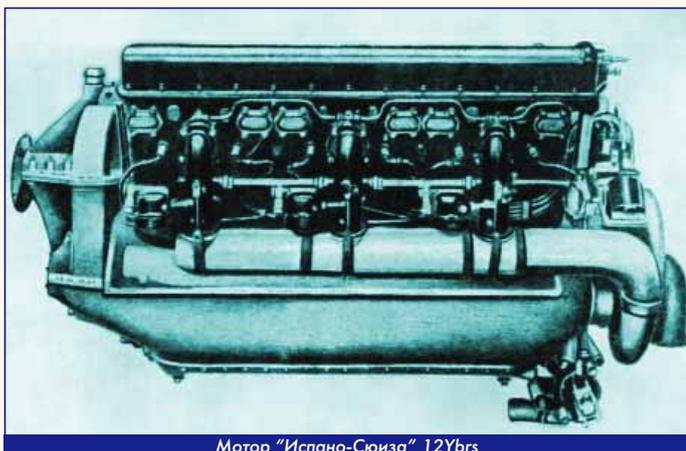
Многие конструкторы, по достоинству оценившие новый двигатель, стали разрабатывать под него машины различного назначения. Двумя моторами "Испано-Сюиза" 12Ybrs оснастили летающую лодку ДАР, испытывавшуюся весной 1936 г. Она предназначалась для использования в Арктике. В серию ДАР не попал - приоритет отдавался военным самолетам. Весьма оригинальным получился торпедоносец МП, созданный Н.Г. Михельсоном и А.И. Морщихиным. Это был небольшой моноплан, отцеплявшийся от носителя ТБ-3. После сброса торпеды он должен был самостоятельно возвращаться на базу и садиться на воду. При этом двигатель, располагавшийся в носу лодки, разворачивался вверх так, чтобы винт не касался воды. Эту машину изготовили, но не допустили к испытаниям - уж слишком она казалась необычной. После смерти Д.П. Григоровича не были построены истребитель ИП-2 и "легкий крейсер" ЛК-3.

Самым удачным советским самолетом с моторами "Испано-Сюиза" первого варианта стал знаменитый скоростной бомбардировщик СБ. Хотя его первоначально проектировали под американские двигатели "Райт" R-1820 "Циклон", уже на втором опытном экземпляре их заменили французские двигатели. Эта машина, часто называвшаяся СБ-ИС или АНТ-40ИС, быстро продемонстрировала свои преимущества. Именно она стала прототипом для серии.

Но на серийные бомбардировщики СБ устанавливались уже советские моторы М-100. Их производство освоили в Рыбинске в 1935 г. Первые детали были изготовлены еще в январе, до получения из Франции полного комплекта чертежей. Двигатели почти не отличались от своих французских "собратьев", советские конструкторы изменили лишь положение смазочных отверстий во вкладышах коренных подшипников и увеличили зазор для поршневых пальцев. Первые серии моторов М-100 комплектовались импортными подшипниками, насосами, ПЦН; импортной была и вся система зажигания. В лабораториях фирмы "Испано-Сюиза" произвели анализ всех материалов, которыми в СССР заменили оригинальные, и одобрили их. По мощности, высотности, расходу топлива и масла моторы были на уровне французских.

В течение 1935 г. в Рыбинск поступила вся необходимая конструкторская и технологическая документация. Хотя несколько раз она запаздывала по сравнению с плановыми сроками, на производство такие накладки не оказали существенного влияния. Этому способствовало присутствие на заводе французских инженеров. В 1935-1936 гг. в Рыбинске находились пять-шесть специалистов "Испано". Регулярно поступали импортные комплектующие, заготовки и полуфабрикаты. Лишь один раз присланные фирмой отливки были забракованы из-за наличия трещин и раковин, но их быстро заменили. Директор завода Баландин писал в Москву: "...не отмечено ни одного сколько-нибудь серьезного инцидента".

Развертыванию массового производства М-100 придавалось огромное значение. Специальным постановлением СТО выделялись большие ассигнования на закупку станков и инструмен-



Мотор "Испано-Сюиза" 12Ybrs



Моторами М-100 оснащались скоростные бомбардировщики СБ

та, по железным дорогам грузы для завода № 26 доставлялись вне очереди. Все работники предприятия освобождались от мобилизации в армию. В условиях дефицита продовольствия и промышленных товаров для рабочих создали систему магазинов, снабжавшуюся "в преимущественном порядке". СТО выделил из специальных фондов на полтора миллиона рублей высококачественных товаров для премирования рабочих и служащих завода. Начали строительство дополнительного жилья. Но в придачу к прянику предусмотрели и кнут - директор получил право переводить подчиненных на 10-часовой рабочий день.

Эта политика дала свои результаты. За год выпуск новых моторов увеличился более чем вдесятеро. Если в 1935 г. изготовили всего 100 двигателей, то в 1936 г. - 1071. Когда 3 августа 1936 г. на заводе № 22 в Филях собрали сотый бомбардировщик СБ, наркомат премировал работников как самолетостроительного, так и моторного заводов. На долю завода № 26 пришлось 250 тыс. рублей.

В Советском Союзе понимали, что закупка серийного строящегося иностранного мотора обречает отечественное двигателестроение на отставание от конструкторов "Испано-Сюизы". Мириться с этим положением советское правительство не желало. Перед конструкторским отделом завода № 26 поставили задачу: в течение двух-трех лет модернизировать мотор и существенно улучшить его характеристики. Руководил всей этой работой Владимир Яковлевич Климов - человек, хорошо известный в советском моторостроении.

Сын рабочего-строителя, он в 1916 г. успешно закончил Императорское высшее техническое училище в Москве. После защиты диплома Климову выделили стипендию для занятия научной работой и подготовки диссертации, но шла Первая мировая война, и его призвали в армию. После Октябрьской революции новую власть вполне устроил дипломированный инженер - сын рабочего. Климов занимал ряд ответственных постов, в том числе несколько лет руководил отделом авиационных двигателей ВСНХ, планировавшим работу всех моторостроительных заводов страны. Должность считалась высокой, но вот реальное количество выпускавшихся тогда в стране моторов было мизерным. Климов стремился уйти от бумажного планирования и самостоятельно заняться конструированием авиадвигателей. Поэтому при первой же возможности он переехал в Научный автомоторный институт (НАМИ), где спроектировал свой первый мотор, названный "ВЯК" по инициалам конструктора. "ВЯК" так и не был построен. Зато в НАМИ и позже в Институте авиационного моторостроения (ИАМ), где Климов возглавлял отдел бензиновых двигателей, Владимир Яковлевич приобрел неоценимый опыт конструкторской работы. Несколько раз он выезжал за границу, участвуя в переговорах о покупке лицензий и приемке авиадвигателей. В 1924 г. он работал в Берлине, в 1928 г. - в Париже. Параллельно конструктор читал лекции в МВТУ, Военно-воздушной академии и некоторое время руководил кафедрой в МАИ. Он успел поработать и в промышленности. В 1930 г. Климов некоторое время исполнял обязанности начальника испытательного цеха, а затем технического директора завода № 29 в Запорожье.

С 1935 г. В.Я. Климов являлся главным конструктором завода № 26. После успешного освоения производства М-100 следующим этапом стало внедрение некоторых новшеств, которые к тому времени предложили французские конструкторы для получения мощности 860 л.с. В частности, ввели подпружиненную шестерню редуктора, усовершенствованные клапаны, стальные (вместо бронзовых) клапанные седла, гиперболические вкладыши коренных подшипников. Фактически доводка модернизированного образца велась параллельно во Франции и в Советском Союзе. На заводе "Испано-Сюиза" его испытания, проводившиеся совместной комиссией, успешно завершились 10 августа 1935 г. К этому времени в Рыбинске уже собирали опытные двигатели, в конструкцию которых было внедрено одно или несколько предложенных изменений. Фирма опоздала с подготовкой документации на модернизированный мотор против сроков договора, в связи с чем была вынуждена выплатить неустойку в 2 600 000 франков. Это ухудшило отношения с "Испано-Сюизой", но она продолжала отправлять в Советский Союз изменения к чертежам и статистику выявленных дефектов. Однако это касалось только серийной продукции. Никакой информации об опытных работах не поступало.

Во второй половине 1935 г. из Франции прибыли закупленные станки, оснастка и специальный инструмент. Это позволило приблизить технологию к той, которой пользовались в цехах "Испано-Сюизы", и освоить некоторые новые процессы. В частности, приступили к изготовлению гиперболических коренных вкладышей. При сборке стали использовать импортные динамометрические ключи.

С 12 декабря 1935 г. в Рыбинске начались заводские испытания мотора мощностью 860 л.с., названного М-100А. Мощность была увеличена в основном благодаря некоторому увеличению наддува. Учитывая довольно низкое качество советского бензина того времени, степень сжатия немного уменьшили (до 5,8). Испытания на заводе прошли удачно, и уже в январе следующего года двигатель представили на 100-часовые государственные испытания. 15 января комиссия признала М-100А годным для серийного производства.

Эти моторы в больших количествах выпускались в 1936-1939 гг. Всего их изготовили более 6000 единиц. Основными потребителями М-100А стали заводы, строившие бомбардировщики СБ. С октября 1936 г. все машины, сдававшиеся московским заводом № 22, комплектовались этими двигателями. Это мероприятие обеспечило повышение максимальной скорости самолета примерно на 25 км/ч.

Моторы М-100А устанавливались также на опытные машины, в частности, на оригинальный истребитель "Сталь-8", созданный под руководством Р.Л. Бартини. В нем было немало новинок: сварной цельнометаллический планер, одноколесное убирающееся шасси (под концами крыла располагались вспомогательные опоры - костыли), широкое применение магниевых сплавов, закрытая кабина с фонарем, вписанным в контуры фюзеляжа. По расчетам, "Сталь-8" должен был достичь скорости 630 км/ч. Но



Спарка моторов М-103 на самолете "С"

вследствие межведомственной борьбы (машину спроектировали в НИИ ГВФ) опытный образец истребителя не достроили.

Двумя М-100А оснащался самолет "Сталь-7" - современная по тем временам быстроходная пассажирская машина. На нем планировали совершить кругосветный перелет, для чего в Рыбинске изготовили партию двигателей, собранных и отрегулированных с особой тщательностью. Но перелет не состоялся - помешало начало Второй мировой войны. А сам самолет "Сталь-7" стал прототипом дальнего бомбардировщика ДБ-240 (Ер-2).

М-100А стал последним мотором семейства, имевшим прямой французский аналог. Все последующие двигатели Климова представляли собой уже импровизацию на тему "Испано-Сюизы". Планом опытных работ в области моторостроения на 1936-1937 гг. предусматривалось несколько направлений совершенствования М-100. Намечались дальнейшее форсирование мотора до уровня 950 л.с., внедрение двухскоростных и двухступенчатых ПЦН, создание советского аналога французской мотор-пушки, проведение экспериментов с различными типами охлаждения. Впоследствии все это опробовали на различных двигателях семейства.

Климов двигался по нескольким направлениям одновременно. Основным считался путь интенсивного развития: в целом сохраняя габариты и массу двигателя, старались форсировать его по частоте вращения вала, степени сжатия и наддуву. В начале 1936 г. появился проект М-100Ф, в окончательном виде названный М-103. Первые два опытных двигателя этого типа поставили на стенд в сентябре того же года. В процессе доводки в конструкцию вносили дополнительные изменения. Когда в марте 1937 г. М-103 выставили на государственные испытания, он уже получил вкладыши коренных подшипников из свинцовистой бронзы (раньше пользовались баббитом), усиленные блок и коленчатый вал, новые впускные клапаны. Маслосопку заменили, применив агрегат большей производительности. Новое днище поршня обеспечило увеличение степени сжатия. Фланцевый носок вала редуктора заменили шлицевым, более удобным для установки винтов изменяемого шага.

Новые технические решения позволили форсировать мотор по частоте вращения вала и наддуву. На испытаниях М-103 развил даже большую мощность, чем рассчитывали - 970 вместо 960 л.с. За это пришлось расплатиться увеличением массы на 21 кг. По оценкам советских специалистов, М-103 был лучше, чем французский двигатель "Испано-Сюиза" 12У21. В серийное производство этот мотор внедрили в 1938 г. К концу 1939 г. выпустили почти 7000 таких двигателей.

В сентябре 1937 г. два еще несерийных М-103 установили на экспериментальном самолете СБ-бис, а с мая следующего года ими оснащали все СБ, выпускавшиеся в Москве. Такие машины воевали в Китае, Монголии и позднее против Финляндии. Еще одной серийной машиной с этими двигателями стал ББ-22 (Як-2). Самолеты обоих типов активно применялись на советско-германском фронте в начале Великой Отечественной войны.

Оснатив М-103 новым двухскоростным нагнетателем Э-23, получили мотор М-104 с улучшенными высотными характеристиками. Но он не стал столь массовым, как М-103. В Рыбинске сделали всего 232 таких двигателя. Причиной тому послужило появление более перспективного мотора М-105, речь о котором пойдет позднее.

Какими же еще путями Климов совершенствовал М-100? Для того, чтобы уменьшить массу мотоустановки в целом и справиться со все увеличивавшимся выделением тепла при форсировании двигателя, начали экспериментировать с жидкостями, имевшими большую теплоемкость, чем у воды, в частности, с этиленгликолем. Изготовили опытные моторы М-100Г (на базе М-100А), а затем М-103Г. От серийной продукции они отличались в основном материалами уплотнений. В конечном итоге на дефицитный тогда этиленгликоль моторы полностью так и не перевели. Все климовские двигатели летом эксплуатировались на дистиллированной воде, а зимой переводились на антифриз. В качестве такового в СССР использовали отечественные смеси на основе этиленгликоля, а позднее - поставлявшиеся по ленд-лизу гликоль (английский) и престон (американский).



Мотор М-103 на самолете ББ-22

Неудачей закончилась попытка создать мотор со смешанным охлаждением - цилиндры должны были охлаждаться воздухом, а головки - этиленгликолем. На основе проекта М-100СВ построили экспериментальный двигатель М-110А, но не смогли справиться с перегревом.

Мощность мотора пытались наращивать не только качественным совершенствованием, но и увеличением количества цилиндров. Довольно долго продолжались попытки создания спаренных моторов, состоящих из двух двигателей, которые устанавливались друг за другом носками в разные стороны. Редукторы моторов объединял тяжелый и громоздкий вал с системой демпферов. Первый проект такого рода, М-100Сп, появился еще в 1936 г. В конце года спаренную установку установили на стенд. Достаточно надежную "спарку" удалось получить лишь в 1939 г. на базе двух моторов М-103. В мае установка М-103Сп успешно прошла испытания. Летом 1939 г. она уже летала на скоростном ближнем бомбардировщике "С" конструкции В.Ф. Болховитинова. Но потери мощности у заднего двигателя оказались очень велики, и тему закрыли.

Еще одним вариантом стал 18-цилиндровый мотор М-120, состоявший из трех блоков от М-103, а затем от М-105. Блоки располагались под углом 120 градусов друг к другу этакой трехлучевой звездой, причем один блок был ориентирован головками вверх. Работу над проектом этого двигателя Климов начал в 1938 г. Сборку первого опытного образца завершили 30 октября 1939 г. Мотор оснастили карбюратором и двухскоростным ПЦН. В дальнейшем предполагалось выпустить модификации М-120НВ (с непосредственным впрыском топлива), М-120ТК (с турбонаддувом) и М-120УВ (с удлиненным валом для использования на самолете с компоновкой американской "Аэрокобры"). На новый двигатель возлагались большие надежды. Разным конструкторам выдали большое количество заданий, связанных с проектированием истребителей и бомбардировщиков с М-120. В результате возникли проекты ПБ, ФБ (превратившийся позже в Ту-2), ОДБ и ИВС.

Но доводка трехблочного мотора продвигалась медленно и с большими трудностями. Одной из основных проблем являлось надежное функционирование масляной системы - ведь блок "Испано" не был рассчитан на работу в перевернутом положении. Все же конструкторам удалось достичь некоторых успехов. В ноябре 1940 г. поднялся в воздух опытный дальний бомбардировщик ДБ-4, оснащенный двумя М-120ТК. Позже такие же моторы смонтировали на опытном высотном бомбардировщике ДВБ-102, созданном группой инженеров-заключенных во главе с В.М. Мясичевым в специальном конструкторском бюро НКВД.

Однако за несколько лет так и не удалось выйти на заданные уровни мощности и надежности двигателя. Ресурс опытных образцов не превышал 50 часов. В 1942 г., в тяжелое военное время, работу по М-120 исключили из плана, чтобы сосредоточить силы на совершенствовании серийных моторов. Проектирование являвшегося дальнейшим развитием М-120 мотора М-121 фактически приостановилось на эскизной стадии. □

(Окончание в следующем номере)

ТУРБУЛЕНТНОСТЬ ЖИДКОСТИ, ГАЗА И ПЛАЗМЫ

Юрий Кочетков, начальник отделения ФГУП "Исследовательский центр имени М.В. Келдыша", д.т.н.

Исследование турбулентности в настоящее время все еще остается сложной научно-технической проблемой. В экспериментальном плане изучение турбулентности окончательно не завершено из-за отсутствия достоверных методов и инструментария с высокой разрешающей способностью и быстройдействием, которые обладали бы способностью фиксировать сложную структуру течения. Универсальные уравнения Навье-Стокса в настоящее время в полной постановке также не решены и не сопоставлены с экспериментом. Предстоит непростое экспериментальное доказательство адекватности общей системы уравнений, описывающей процессы турбулентности в аппаратах, технических устройствах и энергоустановках, работающих на жидкостях, газах и плазме.

Начиная разговор о турбулентности жидкости, газа и плазмы, следует акцентировать свое внимание прежде всего на различиях их свойств, а также на общности условий, в которых данные рабочие тела находятся. Необходимо также договориться о том, что же понимать под словом "турбулентность". Если под турбулентностью понимать хаотическое движение "молей" рабочего тела, формирующих пульсации, то больше чем на статистический подход рассчитывать не приходится. По-видимому, более конструктивным и дающим возможность прогноза является волновой подход к определению турбулентности, опирающийся на методы математической физики. В основу определения данного понятия положена гипотеза Л.Д. Ландау о постадийном усложнении течения в зависимости от возрастания величины определяющих критериев. Другими словами, под турбулентностью понимается цепочка последовательно усложняющихся конфигураций (солитонов), связанных между собой условиями устойчивости (см. журнал "Двигатель" № 2 за 2005 г.). В такой постановке появляется возможность экспериментального и расчетного сравнения полей течения (движения) различных жидкостей, газов и плазмы с целью доказательства общих закономерностей при работе энерго-двигательных установок и других аппаратов на рабочих телах с разными агрегатными состояниями.

Агрегатное состояние рабочих тел во многом определяет законы течения в каналах и условно в бесконечном пространстве. В одном случае это внутренние течения, в другом - внешнее обтекание. Анализ течений в соплах ракетных двигателей является одной из классических задач внутренней газовой динамики. Сверхзвуковым обтеканием самолета занимается внешняя газовая динамика (аэродинамика). Законы движения рабочих тел во всех случаях одинаковы и универсальны, а комбинации граничных условий многообразны и определяют интерфейс между стенками аппарата и рабочим телом. В качестве материалов для аппаратов и устройств в технике используются твердые тела из сталей, графитов, полимеров и пр., а рабочие тела - в виде жидкостей, газов и плазмы. И те, и другие обладают своими специфическими свойствами: твердостью, электропроводностью, теплопроводностью. Рабочие тела обладают также свойствами переноса: вязкостью, диффузией и переменной плотностью.

Свойства материалов конструкций аппаратов должны оставаться постоянными в процессе их функционирования. Свойства рабочих тел могут существенно меняться в зависимости от назначения аппарата. Например, в период форсированной работы двигателей подводной лодки может изменяться температура и несколько увеличиваться вязкость воды в пристенном слое. Плотность газов в камере сгорания и сопле ракетного двигателя уменьшается в десятки раз, электропроводность плазмы в МГД-ге-

нераторах существенно зависит от температуры по тракту. Кроме того, свойства самих рабочих тел сильно отличаются друг от друга. Если сравнить плотность жидкостей и газов, вязкости жидкостей и плазмы, а также вспомнить об отсутствии степени ионизации и ленгмюровской частоты колебаний у первых, то можно усомниться в справедливости общих закономерностей их движения. Что же на самом деле объединяет эти три различные на первый взгляд формы материи, используемые человеком в качестве рабочих тел, движущихся относительно стенок аппаратов? Высокая подвижность молекул, атомов, ионов, электронов, а также их сильное взаимодействие. Эти два свойства объединяются в одно универсальное свойство неразрывности или сплошности среды, для которой построена теория гидро-, газо- и плазмодинамики, включающая в себя основы теории турбулентности. Ответ на вопрос, насколько справедлива эта теория для описания физических процессов, безусловно, должна давать практика, непрерывно пополняя свои запасы все более новыми и новыми фактами.

Основу теории составляет система уравнений импульсов Навье-Стокса. В общем случае для жидкостей, газа и плазмы ее дивергентная форма записывается в виде:

$$\rho \frac{dV}{dt} = -grad P + \mu \Delta V + \frac{1}{c} [jrot j].$$

Второй член данной системы целиком определяет силы вязкости, а третий - электромагнитную силу Лоренца в плазме.

Система уравнений Навье-Стокса является универсальной. Эти уравнения были сформулированы для любого вида течения, в том числе для турбулентного. Поэтому практически все известные уравнения гидрогазодинамики (кроме молекулярно-кинетических уравнений Больцмана) являются частными случаями уравнений Навье-Стокса. В форме Ламба и Громеки уравнения Навье-Стокса позволяют наглядно представить поле скоростей в виде совокупности поступательных и вихревых течений, что характерно для турбулентности:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{\partial V}{\partial t} - grad \frac{V^2}{2} + [Vrot V].$$

Структура приведенных уравнений однозначно указывает на причины возникновения турбулентности. Их, по крайней мере, три: положительный градиент давления (наличие преграды в потоке), вязкое трение и переменное электромагнитное поле. Каждая из трех составляющих характеризует фазу рабочего тела: градиенты давления - газ; вязкость, в основном, характеризует жидкость, а скорость света C и плотность электрического тока j - плазму. Практически во всех случаях эти параметры проявляются одновременно, и пренебрежение любым из них ведет лишь к математическому упрощению и потере точности расчетов. Например,

неучет вязкости для хорошо текучих газов (He , H_2 и др.) приводит уравнения Навье-Стокса к более простым уравнениям Эйлера, решения которых в общем характеризуют турбулентные особенности потока, но при этом дополнительная турбулентность из-за неучтенной вязкости иногда может оказаться определяющей.

В настоящее время полная система дифференциальных нелинейных уравнений второго порядка не решена аналитически. Анализ уравнений Навье-Стокса применительно к вопросам турбулентности жидкости, газа и плазмы проводится с применением численных методов и только в отдельных случаях подтвержден экспериментально (ламинарное течение, уединенные волны Дж. Ск. Рассела и др.). Поэтому очень важными являются экспериментальные результаты, особенно такие, которые позволяют визуализировать структуру турбулентного течения и проводить сравнения течений рабочих тел в различных агрегатных состояниях.

Наиболее распространенными и показательными являются опыты на мелкой воде. Каждую весну можно наблюдать течение жидкости по асфальту после дождя. Здесь можно обнаружить и бегущие, и стоячие волны, регулярно расположенные вдоль поверхности. Здесь возникают водяные боры - аналоги скачков уплотнений, и отходящие от стенок бордюра косо направленные лучи в виде характеристик, и великолепная "дорожка" Кармана, формирующаяся за попавшимся на пути камешком. Многие из этих рисунков на воде можно наблюдать и при движении газа.

На рис. 1 представлена регулярная волнообразная структура, зафиксированная на поверхности воды в неглубоком водоеме. Структура имеет постоянную длину волны и амплитуду. Она характеризует плоское течение в режиме волн Толмина - Шлихтинга. Аналогичное течение для осесимметричного случая можно наблюдать при формировании сосулес (рис. 2). Маленькие сосульки, как правило, гладкие (течение ламинарное). При увеличении их размера режим течения изменяется. Вода течет и замерзает при относительно больших числах Рейнольдса, образуя волны Толмина - Шлихтинга. Аналогичные волны наблюдались на фторопласте в виде отпечатков при исследовании течения газов по тракту РДТТ.

На рис. 3 зафиксированы прямолинейные пересекающиеся волны в виде ромбовидных узоров на поверхности воды. Характерно то, что эти волны, проходя друг через друга, не изменяют своей формы и размеров, то есть обладают свойствами солитонов. Аналогичные волны уже много раз наблюдались при движении газов в соплах. Это волны Маха, структура таких волн хорошо предсказывается расчетами и может быть описана уравнениями Эйлера.

При течении холодного воздуха вдоль канала со ступенькой методом саже-мазевых покрытий на поверхности были зафиксированы вихри Тейлора-Гертлера (рис. 4). Аналогичные вихри были получены в соплах на продуктах сгорания РДТТ при высоких температурах (см. "Двигатель" № 2 - 2005). Там, в соответствии с формулой Саха, практически были достигнуты условия существования низкотемпературной плазмы.

В 1978 г. Ямадо и Мацуи, экспериментируя с холодным воздухом, который выбрасывался последовательно дважды через круглое отверстие, получили "чехарду" двух вихревых колец (рис. 5). При этом выходящая из выхлопа струя сворачивалась, образуя два непересекающихся тора, опирающихся на цилиндрический столб воздуха. Благодаря малым скоростям, картину течения удалось зафиксировать при помощи дымовой проволоочки. Людям прошлого тысячелетия известна похожая картина (рис. 6), когда гигантская энергия атомного взрыва приводит к величайшей трагедии целых городов (температура плазмы внутри атомного гриба соизмерима с температурой внутри солнца).

Приведенные экспериментальные сравнения говорят об идентичности законов турбулентного движения рабочих тел в различных агрегатных состояниях и подтверждают общность математических подходов при описании турбулентности жидкости, газа и плазмы. Однако для полного решения данной проблемы требуется прямое сравнение теоретических и экспериментальных результатов.

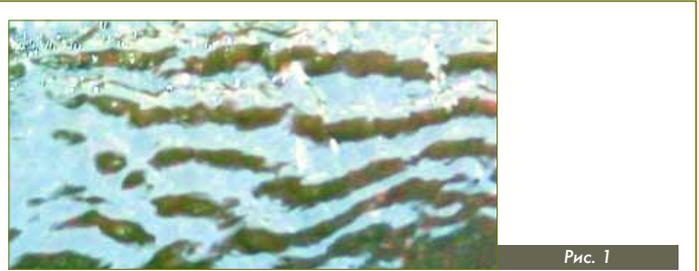


Рис. 1



Рис. 2



Рис. 3



Рис. 4



Рис. 5



Рис. 6

ТАК РОЖДАЛСЯ ЗНАМЕНИТЫЙ "СКАД"

Юрий Бобрышев



Оперативно-тактическая ракета Р-17, известная также по ее открытому индексу как изделие 8К-14, с комплексом наземного оборудования, который обеспечивал транспортировку, заправку топливом, проверку и пуск (в целом комплекс имел наименование 9К-72), была разработана в 1958–1961 годах в СКБ-385 с участием ряда КБ и НИИ. На вооружение Советской Армии ракета была принята в марте 1962 г. В армейских и фронтовых ракетных бригадах ракета эксплуатировалась более 30 лет, применялась в Афганистане, входила в состав вооружений армий стран Варшавского договора. Р-17 экспортировалась в страны Ближнего Востока, где подтвердила свои высокие качества и надежность. В странах НАТО она получила наименование SS-1C и Scud B.

В марте 1946 года первая послевоенная сессия Верховного Совета СССР, учитывая складывающуюся международную обстановку, в пятилетнем плане восстановления народного хозяйства среди многих задач выделила новое по тем временам направление "...по развитию реактивной техники, применению нового типа двигателей, создающих новые скорости и мощности". В развитие этого решения сессии ВС СССР в мае 1946 г. вышло постановление Совета Министров СССР, поручившее ряду министерств разработку и производство реактивного вооружения. Головным по указанному направлению определялось Министерство вооружения.

Создание в нашей стране ракет дальнего действия, без преувеличения можно сказать, начиналось почти с чистого листа, в отличие от самолетостроения, танкостроения, подводного кораблестроения, а также двигателестроительных подотраслей, обеспечивавших выпуск соответствующих типов техники. Традиционные отрасли военной промышленности располагали конструкторскими бюро и НИИ с опытными коллективами и довольно мощной производственной базой, выдержавшей испытания недавно закончившейся войной. Базы же для ракетостроения практически не существовало.

16 декабря 1947 г. министр вооружения СССР Д.Ф. Устинов подписал приказ о создании в городе Златоусте Челябинской области Специального конструкторского бюро по ракетам дальнего действия с лабораториями и опытным цехом на базе заводов № 66 и № 385, ранее выпускавших стрелковое оружие. Вскоре СКБ получило номер 385. Если другие головные КБ и производст-

ва для создания ракет организовывались в крупных городах (Москве, Днепропетровске, Свердловске и др.), то СКБ-385 располагалось в 10 км от Златоуста, среди гор и лесов, вдали от крупных городов. Для выполнения поставленных задач требовались расширение конструкторской и производственной базы, строительство жилья и кадры. До 1955 г. шло трудное становление СКБ, при этом сменились несколько главных конструкторов и типов выпускавшейся техники. Так, начатую было подготовку к производству ракеты Р-1 пришлось прекратить, а саму задачу передать днепропетровскому заводу. Затем главный конструктор Щербаков организовал проектирование и изготовление деревянных (!) баков для ракет. Взамен задачи по освоению производства ЖРД С09.29 СКБ-385 получило задание организовать выпуск ЖРД С2.145 главного конструктора А.М. Исаева. Спустя непродолжительное время СКБ загружается серийным выпуском 16-ствольной реактивной установки залпового огня.

Разнообразие ставившихся задач обескураживало. Однако для специалистов конструкторского бюро М.М. Кузнецова, А.И. Ялышева, О.П. Кирюшина, Н.В. Бардова, П.А. Алексеева, А.Ф. Лысова, А.К. Кузнецова, Н.С. Данилова, Е.В. Бушмина, Л.М. Косого, Ф.Ф. Ровинского и других накопленный опыт оказался бесценным. Впоследствии многие из перечисленных работников СКБ-385 стали заместителями главного конструктора, начальниками крупных отделов, образовав ядро большого коллектива и опору в организационных и технических начинаниях Виктора Петровича Макеева, который был назначен главным конструктором СКБ-385 в 1955 г. Замечу, что еще в марте

1952 г. директором СКБ-385 стал Е.М. Ушаков, на плечи которого легли все производственные проблемы, связанные с освоением новых видов техники.

В феврале 1953 г. постановлением Совмина СССР СКБ-385 получило задание освоить серийное производство ракеты Р-11, находившейся в опытной разработке в ОКБ-1 С.П. Королева. В 1954 г. в СКБ стала поступать конструкторская документация на ракету, а из ОКБ-1 в СКБ было переведено несколько специалистов. Коллектив СКБ пополнился выпускниками ряда вузов страны, причем с каждым годом молодых специалистов становилось все больше. К началу 1955 г. в СКБ-385 работало 400 инженеров и техников, были отремонтированы и вошли в строй все необходимые производственные, технологические и конструкторские помещения. Чтобы представить масштабы двух стоящих в линию заводских корпусов, в которых разворачивалось производство Р-11, достаточно сказать, что от начала одного из них до конца другого можно было пройти всего за 4...5 минут. Зато главный сборочный цех имел внушительные размеры и предназначался для сборки больших ракет. Начала свою работу и станция испытаний ЖРД.

Автор настоящей статьи в 1955 г. окончил Казанский авиационный институт, где на последних двух курсах моторостроительного факультета в составе небольшой группы он изучал ЖРД и ракетную технику. Затем я был направлен в СКБ-385, где проработал более сорока лет - с апреля 1955 г. по август 1997 г. С первых дней работы нас, молодых специалистов, окунали в гущу производственных забот, связанных с проектированием технологической оснастки и корректировкой конструкторской документации для серийного изготовления Р-11. Работа в группе общей сборки, куда меня направили, потребовала за короткий срок изучить разнообразную документацию на ракету, освоить соответствующие технологические операции и стала своеобразным вступительным экзаменом и школой одновременно. Мои первые руководители: начальник группы О.П. Кирюшин, начальник сектора А.И. Ялышев и заместитель начальника отдела М.М. Кузнецов оказались отличными учителями в познании производства от простого чертежа до собранной ракеты. В последующие два года "перетряски" структуры СКБ молодых специалистов не один раз переставляли с одной должности на другую, а процесс обучения продолжили Г.С. Перегудов, И.К. Боголюбский, рабочие, мастера, технологи и военные заказчики. Спустя десятки лет, пройдя неоднократно через жернова, начинающиеся с возникновения идеи и кончающиеся сдачей ракеты на вооружение, можно по достоинству оценить те первые годы. Именно в тот период зрели сделавшие знаменитым СКБ-385 будущие кадры во главе с В.П. Макеевым. Этими людьми двигали не только указания сверху, честолюбивые желания и стремление к познанию нового, служебному росту и хорошей зарплате, но и честное отношение к труду, чувство ответственности за качественное выполнение порученной работы, за результаты своего труда. Многие из них были полны энтузиазма и стремились сделать все возможное, чтобы, дав армии на вооружение могучее оружие, предотвратить новую войну, чтобы Родина побыстрее возрождалась после войны прошедшей. Не хочу спустя полсотни лет кого-то в чем-то убеждать, но как участник событий тех дней и лет, я могу с полной уверенностью заявить: именно эти благородные и патристические мотивы были движущей силой для большинства специалистов, собранных в те годы в далеком уральском городке. В основной своей массе они упорно стремились к конечному результату - созданию новой ракетной техники, так необходимой для обеспечения безопасности нашей Родины.

Чтобы прояснить дальнейший ход событий, остановлюсь на некоторых особенностях Р-11. По своим конструктивным, технологическим, эксплуатационным качествам и тактическим характеристикам Р-11 значительно превосходила ракету Р-1, с которой нас на институтской практике познакомил на одном заводе. Одноступенчатая ракета Р-11 (изделие 8А-61) с диаметром корпуса 880 мм имела классическую вытеснительную (то есть без турбонасосного агрегата - ТНА), систему подачи топлива в ЖРД С2.253 разработанного ОКБ-2 А.М. Исаева. В баках окислителя и горю-

чего создавалось давление 36 атм. Окислитель и горючее вытеснялись сжатым воздухом из торовых бачков, в которые подавались высокотемпературные газы от газогенераторов. Блоки системы управления ракетой располагались в хвостовом отсеке, а между ними был смонтирован двигатель, прикрепленный к раме, которая, в свою очередь, крепилась к баку горючего. Окислитель из бака, размещенного впереди бака горючего, подавался под давлением в двигатель по толстостенной трубе из кислотостойкой стали. Труба четырежды изгибалась, обходя бак горючего. Горючее подавалось в двигатель по алюминиевой спиральной трубе, совершавшей 2,5 оборота вокруг рамы двигателя и крепившейся к ней четырьмя кронштейнами. Габариты трубы позволяли разместить в ней около 30 литров пускового горючего. Столь подробное описание отдельных особенностей конструкции Р-11 приведено здесь, поскольку именно эти особенности в будущем подтолкнули нас к разработке собственного варианта ракеты.

В начале 1955 г. завершились летно-конструкторские испытания Р-11. Корректировка документации по результатам испытаний, согласование ее с заказчиком, подготовка производства, изготовление, проведение этапа совместных испытаний и серийное производство ракеты Р-11 - все это С.П. Королев планировал возложить на СКБ-385. Однако руководство СКБ, озабоченное другими проблемами, кратко обрисованными ранее, в тот период времени еще не считало освоение Р-11 своей первоочередной задачей.

11 апреля 1955 г. ведущий конструктор Р-11 Виктор Петрович Макеев был назначен главным конструктором СКБ-385 и заместителем С.П. Королева по ракете Р-11. Уже 3 июня 1955 г. он приступил к работе на новом месте. Исчезли все сомнения в определении главной задачи СКБ-385, заметно ускорились темпы корректировки документации, подготовки производства, завод приступил к изготовлению деталей и отдельных узлов ракеты. В августе 1955 г. по решению правительства С.П. Королев передал СКБ-385 документацию на первую морскую ракету Р-11ФМ, а вскоре и на другую модификацию - Р-11М (индекс заказчика 8К-11), оснащенную головной частью с атомным зарядом. Последняя ракета предназначалась для Сухопутных войск, она транспортировалась и запускалась с гусеничного стартового агрегата.

Как обычно, при освоении производства ракет пришлось столкнуться с первыми технологическими трудностями. После сварки баков из жаропрочной кислотостойкой стали требовался их отжиг в термических печах при температуре в несколько сот градусов. Пришлось построить специальные печи, в которых следовало строго выдерживать заданную температуру. Для двух газогенераторов изготавливались четыре типа форсунок, по два вида для каждого. Их характеристики проверялись на специальных проливочных стендах. Требовался строгий учет форсунок, поскольку при случайном их перепутывании температура газов в баке при его наддуве могла резко увеличиться, и бак мог разрушиться из-за чрезмерного внутреннего давления. Трудно шли первые сборочные работы; на некоторые детали пришлось переиздавать документацию и переделывать их. Трубопровод подачи окислителя, имевший четыре изгиба, для обеспечения точной стыковки с фланцами бака и двигателя приходилось неоднократно переносить из сборочного цеха в другой корпус для подгибки, пока не придумали сборочный имитатор. Спиральная труба подачи горючего не поддавалась закреплению на кронштейнах и, как подбадет спирали, извивалась, а на ее укрощение уходила целая смена. Находившийся в очередной раз на заводе заместитель министра собрал у спирали совещание руководителей КБ и завода. Проблема была решена после того, как автор этих строк предложил новый вариант кронштейна.

Для решения проблем, связанных с освоением производства Р-11, в СКБ-385 почти постоянно находились представители ОКБ-1. С.П. Королев лично разбирался с ситуацией, возникшей на заводе, и провел в расширенном составе совещание с руководством СКБ. Министр Д.Ф. Устинов неоднократно приезжал на предприятие, делал кадровые перестановки, помогал

в обеспечении завода материалами и комплектующими. Обеспечивая военные направляли в Златоуст свои "генеральские" комиссии. По их мнению, сборка ракет производилась слишком медленно. Практически постоянно в СКБ находился начальник 2-го Главка министерства Лев Архипович Гришин, удивительно спокойный, обладавший большим опытом специалист. Его и Виктора Петровича Макеева всегда можно было видеть вместе на самых трудных участках. Но не все получалось гладко на первых порах. Пуски собранных ракет первой и второй партии завершились авариями. Об этом еще недавно не принято было упоминать, но что было - то было.

Как показывал анализ аварийных пусков, одной из причин неприятностей могло являться разрушение днища бака из-за перегрева, который возник вследствие перепутывания форсунок в газогенераторе. В.П. Макеев принял решение провести эксперимент и в 8 часов вечера поручил мне до следующего утра отработать тарированную мембрану, которая должна была прорываться при превышении в баке давления свыше 32...36 атм. Накопленный опыт свидетельствовал, что для подбора давления прорыва требовалось 5-10 дней, а мне дали только одну ночь. И все же испытание было проведено на следующий день и подтвердило гипотезу с разрушением бака. Подобные задачи приходилось решать не раз и не только мне, но и многим моим коллегам; своим рассказом я лишь хочу подчеркнуть сложность обстановки тех дней.

В мае 1957 г. было принято решение об изготовлении в июне шести так называемых "конструкторских" ракет. Для каждой ракеты назначили ответственного конструктора, дав производству всего один месяц на их сборку. Мне досталась одна из ракет. На протяжении всего месяца мне приходилось почти непрерывно отслеживать сроки поставок агрегатов, качество каждой детали и узла и качество сборки в целом. Начало и конец рабочих дней почти сливались.

В ходе испытаний все шесть ракет достигли целей. Неудачи закончились, завод и конструкторы постигли науку делать ракеты Р-11, Р-11М, Р-11ФМ. Впоследствии была освоена в производстве и ракета Р-13, которую начали разрабатывать в 1956 г. Ее важным отличием от предшественницы явилось применение ЖРД с ТНА.

Передача С.П. Королевым В.П. Макееву опытной разработки первой ракеты Р-11ФМ, предназначенной для вооружения подлодок, а затем оказание поддержки в разработке ракеты Р-13, стартовой с подводной лодки из надводного положения, привели к переориентации СКБ-385 с 1956 г. преимущественно на "морские" ракеты. "На суше" за СКБ осталась лишь небольшая "зацепка", связанная с улучшенной модификацией Р-11М. Весной 1957 г. вышло постановление правительства, которым СКБ-385

поручалось создание ракеты Р-11МУ, т.е. усовершенствованной Р-11М. Военные присвоили ей индекс 8К-12. В июне 1957 г. В.П. Макеев назначил меня ведущим конструктором по Р-11МУ.

Для улучшения Р-11М требовалось переиздать конструкторской документации с учетом накопленных результатов изготовления и предложений, направленных на повышение ее технологичности, а в бортовую систему управления намечалось ввести дублирование электроцепей и отдельных элементов. Все остальные элементы конструкции ракеты и наземного оборудования заимствовались без изменений от Р-11М. Новые тактические требования к Р-11МУ не предъявлялись, но при согласовании документации по ракете необходимо было подключить всех участников разработки ее систем. При составлении план-графиков для Военно-промышленной комиссии, необходимых для подключения смежных КБ, мне помог и многому научил начальник отдела систем управления Лейб Меерович Косой. Вскоре КБ приступило к выпуску документации по ракете Р-11МУ и в ноябре 1957 г. начало ее передачу опытному заводу № 385.

Все окончательные решения по вопросам, связанным с контролем исполнения и преодолением возникших технических проблем при разработке документации Р-11МУ, принимались Валерием Романовичем Серовым - заместителем главного конструктора В.П. Макеева, поскольку последний длительное время находился на полигоне. Анализируя с В.Р. Серовым разработанные документы, мы склонялись к тому, что увеличение массы системы управления вследствие проведенных доработок, пусть и весьма незначительное, поставило под сомнение возможность обеспечения заданной дальности стрельбы - 150 км. Кроме того, над нами висел двухгодичный "груз" освоения Р-11. Начали искать решение. В.Р. Серов был знаком с ЖРД, мне вспомнились теоретические знания по газовым турбинам, полученные в КАИ, в том числе выполненный в дипломном проекте расчет ЖРД с турбонасосным агрегатом (ТНА) под руководством профессора Г.С. Жиряцкого. Повысить дальность стрельбы ракеты можно было путем повышения удельной тяги двигателя, т.е. повысив давление в камере сгорания двигателя. Однако такое решение для Р-11 являлось неприемлемым, ведь оно вело к дальнейшему росту давления в баках ракеты, которое и так было предельным. Другой путь был связан с повышением массы ракеты, увеличением запаса топлива и, соответственно, массы баков, что также исключалось из-за малого запаса тяги двигателя. Для решения возникшей проблемы следовало подыскать другой двигатель с более высокой удельной тягой, а это мог быть только ЖРД с ТНА. Времени на разработку нового двигателя ситуация не отпускала. В.Р. Серов принял решение, и мы с руководителем проектной группы Г.Б. Мочаловым в ноябре срочно вылетели в Москву на поиски готового ЖРД. Нами владели энтузиазм и романтика.

Ведущий специалист 2-го Главного управления Министерства оборонной промышленности (ГУ МОП) Борис Сергеевич Смирнов показал нам чертежи двигателя СЗ.42. Это был ЖРД с ТНА, обладавший регулируемой тягой в диапазоне от 6 до 17 тс. Двигатель разрабатывался в ОКБ-3 Главного конструктора Д.Д. Северюка, он находился в производстве и подходил нам по габаритам. В ОКБ-3 в течение трех дней мы провели компоновочные проработки, а В.Р. Серов в ОКБ-1 рассчитал максимальную дальность, получив что-то около 240 км. В свой карманный блокнот я записал полученную экспериментально формулу зависимости удельной тяги и секундного расхода топлива при изменении тяги от 6 до 17 тс (эту формулу "в рабочем порядке" дали мне работники ОКБ-3). В начале декабря 1957 г. возвратился с полигона В.П. Макеев после удачных пусков шести конструкторских ракет Р-11. Мы доложили ему предложения о разработке новой ракеты вместо Р-11МУ. Главный конструктор принял реше-



Ракета Р-11М

ние: в течение месяца (до 10 января 1958 г.) подготовить проектный чертеж компоновки, пневмогидравлическую схему и основные расчеты (баллистика, аэродинамика, массовая сводка). В работу включились основные проектные силы: П.А. Алексеев, А.К. Кузнецов, А.Ф. Лысов, Я.С. Садиков, Е.В. Бушмин. В быстром темпе решались основные вопросы компоновки, связанные с размещением приборов системы управления и баллона с воздухом для наддува баков (по опыту компоновки Р-11 горячий наддув исключили). Оставалось неясным, какой бак поместить впереди, куда заправлять пусковое горючее? Какую тягу двигателя выбрать, и как обеспечить дальность стрельбы не менее 240 км?

Вся компоновка, все расчеты делались, исходя из основных принятых условий: диаметр и длина новой ракеты должны были оставаться идентичными соответствующим характеристикам ракет Р-11М и Р-11, что позволяло сохранить большую часть заводской оснастки, использовать штатные для комплекса Р-11 транспортные средства, машины заправки окислителем и горючим, а также стартовый агрегат. Конструкция головной части (с обычным и специальным зарядом) тоже оставалась прежней, как и основное предназначение ракеты. Нашим главным козырем являлось значительное увеличение дальности пуска новой ракеты. Однако от формирования идеи до ее воплощения в металле - долгий путь, и для того, чтобы уложиться в заданный срок, нам пришлось трудиться ежедневно по 14...16 часов, причем субботы также были рабочими.

В декабре 1957 г. для оказания помощи заводу в выполнении годовой программы в СКБ-385 приехал заместитель министра К.Н. Руднев. В.П. Макеев доложил ему о проектной проработке, направленной на создание новой ракеты с лучшими, чем у Р-11М и Р-11МУ, характеристиками. На этом этапе все результаты предварительных прикидок в трех вариантах были записаны только в моей рабочей тетради. К.Н. Руднев одобрил начинание СКБ-385 и пообещал его поддержать.

12 января 1958 г. В.П. Макеев вместе с группой основных участников разработки проекта (Ю.А. Бобрышев, Е.В. Бушмин, П.С. Кухтов, А.Ф. Лысов, Г.Б. Мочалов) выехал в столицу. Во-первых, намечалось посещение ОКБ-1 и обращение к С.П. Королеву с просьбой о поддержке нашего начинания. Отчаянный шаг? Ведь вместо того, чтобы совершенствовать его детище, мы предлагали фактически "похоронить" Р-11М. Во-вторых, мы ехали за моральной поддержкой нашей идеи о создании новой ракеты со стороны Минобороны. Добиться такой поддержки также было непросто. Но мы видели уверенность нашего главного конструктора.

В ОКБ-1 "шефы" встретили нас приветливо. Сергей Павлович пригласил в свой кабинет, рассказал о первом искусственном спутнике Земли, выслушал доклад В.П. Макеева, внимательно рассмотрел проект новой ракеты. Затем он пригласил своего проектанта для некоторых пояснений (или, может быть, хотел показать ему - до чего додумалась молодежь на Урале), после чего предложил Виктору Петровичу участие в разработке своего проектанта. Королев заявил, что проектант уже имеет два ордена, а за новую ракету получит, вероятно, еще один. Мы восприняли это предложение как высокую оценку нашей ракеты. Виктор (так называл его тогда Королев) деликатно отказался, ведь это была полностью самостоятельная идея его еще юного СКБ. В конечном счете, С.П. Королев поддержал предложенный проект. Дорога в Главное артиллерийское управление (ГАУ) открылась, а поддержка министерства обеспечил В.П. Макеев.

В ГАУ доставили наш проект, и мы "растеклись" по его кабинетам пояснять, убеждать, привлекать сторонников, хотя на некоторые вопросы ответить пока было невозможно. В 20-х числах января в ГАУ в присутствии седовласых генералов, солидных полковников, трех майоров и пяти совсем молодых штатских В.П. Макеев сделал доклад о преимуществах новой ракеты, подчеркнув самое главное - увеличение дальности стрельбы до 240 км вместо 150 км при той же массе заряда, как у Р-11МУ. Все было понятно (с нашей точки зрения), но конечные сроки сдачи новой

ракеты на вооружение по сравнению с Р-11МУ, естественно, отодвигались. Руководители военно-промышленного комплекса должны были решить: оставаться пока с Р-11М или сделать ставку на новую ракету?

И вот - решение принято! 24 февраля 1958 г. В.П. Макеев и я вновь срочно вылетели в Москву для визирования документов о разработке новой ракеты в Военно-промышленной комиссии. Постановлением ЦК КПСС и правительства № 378-181, в соответствии с которым разработка ракеты Р-17 с дальностью стрельбы от 50 до 240 км поручалась СКБ-385, было подписано Н.С. Хрущевым 1 апреля 1958 г. Мы победили вместе с разработчиками двигателя, имеющего турбонасосную систему подачи топлива! Начался отсчет времени наших ответственных действий. Предстояло оправдать оказанное СКБ-385 доверие.

Постановлением предписывалось провести стендовые, летно-конструкторские и начать совместные летные испытания в 1960 г. Чертежи Р-11МУ были изъяты из производства. Главной задачей стало - уложиться в сроки разработки и сдачи ракеты Р-17 на вооружение.

В апреле 1959 г. СКБ-385 получило от ГАУ тактико-технические требования (ТТТ) на новую ракету, в которых указывались требования к летным характеристикам, снаряжению головных частей обычным и специальным зарядами, системе управления и двигателю, условиям транспортировки, хранения, изготовления и т.п. Следует отметить, что ТТТ были жесткими. На протяжении нескольких дней вместе с В.Р. Серовым и другими специалистами СКБ мне пришлось внимательнейшим образом изучить и скрупулезно проанализировать возможность выполнения каждого пункта требований. Совместно с прибывшим из ГАУ капитаном Жемчужным мы организовали согласование и уточнение ТТТ.

В мае главные конструкторы основных систем ракеты и наземного оборудования были приглашены в ГАУ для визирования ТТТ. В мае требования к ракете были утверждены министрами. Мы поняли, что нам следует делать, а заказчик - что он получит от СКБ-385. ГАУ присвоило ракете индекс - изделие 8К-14 - и назначило ведущими по изделию подполковника А.В. Титова, а по системе управления подполковника П.В. Захарова.

Разработчиками основных систем изделия 8К-14 от смежных организаций промышленности были назначены:

- главный конструктор НИИ-592 Н.А. Семихатов - по бортовой системе управления и наземным пультам настройки и проверок бортовых систем на заводе, технической и стартовой позиции;
- главный конструктор ОКБ-3 Д.Д. Севрук - по двигателю на первом этапе летных испытаний (ведущий конструктор Н.И. Леонтьев; после смерти А.М. Исаева он стал главным конструктором ОКБ-5);
- главный конструктор ОКБ-5 А.М. Исаев - по двигателю со второго этапа летных испытаний (ведущий конструктор Н.В. Малышева);
- главный конструктор НИИ-944 В.И. Кузнецов - по гироскопическим приборам;
- НИИ-6 - по разрывному заряду и обычному снаряжению головной части;
- научный руководитель НИИ-1011 МСМ Ю.Б. Харитон, главный конструктор С.Г. Кочарянц - по спецзаряду и комплекту электроавтоматики;
- главный конструктор ГСКБ В.П. Петров - по комплексу наземного оборудования, (ведущий конструктор С.С. Ванин; в последующем он стал заместителем министра);
- главный конструктор завода 784 Киевского СНХ С.П. Парняков - по приборам прицеливания;
- главный конструктор ОКБТ Ленинградского Кировского завода Ж.Я. Котин - по стартовому агрегату на гусеничном ходу;
- главный конструктор ЦКБ ТМ Кривошеин - по стартовому агрегату на колесном ходу.

(Продолжение в следующем номере)

О "НЕМЕЦКОМ СЛЕДЕ" В ИСТОРИИ ОТЕЧЕСТВЕННОГО РАКЕТОСТРОЕНИЯ

Вячеслав Рахманин,

главный специалист НПО Энергомаш имени академика В.П. Глушко

(Продолжение. Начало в № 1 - 2005)

Не лучше обстояли дела и на производстве. Приведем характеристику состояния производственной базы завода № 456, заимствованную из официального отчета предприятия за IV квартал 1946 г.: "Завод не отапливался с 1941 г., не снабжался электроэнергией, цехи захлаплены, электро- и водоканализационные сооружения разрушены, нет пригодных помещений для размещения КБ и испытательных лабораторий. Ремонтные работы ведутся вяло, план выполнен на 6,3 %. ОКБ испытывает трудности из-за нехватки квалифицированных конструкторов. Перевезенные из Казани работники ОКБ снимают комнаты в частных домах. Строительства жилых домов не ведется".

В столь сложных бытовых и производственных условиях директивно объединенный коллектив завода и ОКБ-456 приступил к выполнению порученного ему дела, которое в поэтапном изложении выглядело так:

- на основе привезенных из Германии чертежей к технологий выпустить комплекты этих документов, адаптированных и отечественным техническим возможностям, и освоить изготовление и стендовые испытания ЖРД - копии двигателя ракеты А-4, что должно было стать технической основой для дальнейших собственных работ;
- создать научно-техническую базу и творческий коллектив конструкторов и технологов для проектирования и изготовления мощных ЖРД собственной конструкции;
- организовать кооперацию отечественных предприятий, обеспечивавших изготовление агрегатов и узлов вначале по немецким чертежам, а впоследствии - наладить самостоятельную разработку и изготовление комплектующих элементов для ракетных двигателей.

В IV квартале 1946 г. на заводе № 456 начались ремонтно-восстановительные работы. Создавались новые цехи и технологические подразделения, силами прибывших из Казани конструкторов и испытателей выпускалась документация, необходимая для изготовления и монтажа оборудования в строящихся лабораториях и испытательных стендах. Из Германии поступало оборудование завода "Монтания". На 230 железнодорожных вагонах было доставлено 210 станков, спецснастка, 14 собранных двигателей А-4, а также узлы и агрегаты для сборки 15 двигателей.

Однако, несмотря на самоотверженный труд работников ОКБ и завода № 456, темпы создания промышленной базы не отвечали государственному плану создания ракетного вооружения. С целью ускорения реконструкции промышленной базы ОКБ и завода № 456 министр авиапромышленности 26 марта 1947 г. издал приказ, в котором указывались сроки выпуска и поставки первых отечественных двигателей для ракет дальнего действия, а также мероприятия, направленные на ускорение ввода в строй огневого стенда и производственных подразделений.

Важнейшими положениями этого приказа предусматривалось:

- завод № 456 отнести к предприятиям первой категории и определить головным по разработке опытных образцов и выпуску

первых малых серий двигателей для ракет дальнего и сверхдальнего действия;

- ОКБ к 20 апреля 1947 г. выпустить комплект чертежей двигателя РД-100 путем переработки немецкой документации для обеспечения соответствия отечественным стандартам;
- технологической службе завода к 1 июня 1947 г. завершить отработку технологической документации;
- к 15 июня 1947 г. провести реконструкцию помещений ОКБ, опытных цехов, лабораторий гидравлики и автоматики;
- к 1 августа 1947 г. построить в овраге на территории завода № 456 временный огневого стенд;
- изготовить двигатель РД-100 для заводских стендовых испытаний в октябре 1947 г., для официальных стендовых испытаний - в январе 1948 г.;
- в феврале 1946 г. поставить Министерству вооружения для отработки ракеты Р-1 десять двигателей РД-100.

Однако для выполнения этого приказа в трудных условиях, когда шло восстановление разрушенного войной народного хозяйства, материально-промышленных ресурсов не хватило, и реализация требований приказа потребовала большего времени. В итоге только 24 мая 1948 г. на построенном в ОКБ-456 огневом стенде был испытан двигатель РД-100, первый из изготовленных по собственной технологии и из отечественных материалов на заводе № 456.

Это испытание стало знаменательным событием не только для ОКБ-456, но и для всей отечественной ракетостроительной промышленности. В этот день, вошедший в историю отечественной ракетной техники, было положено начало промышленному производству в СССР мощных двигателей для ракет дальнего действия и состоялась первая практическая проверка стенда, открывшего возможность осуществления широкомасштабных исследовательских работ, связанных с созданием мощных двигателей отечественной конструкции.

С момента выхода 13 мая 1946 г. исторического постановления о создании в СССР реактивного вооружения прошло всего два года, а с января 1947 г., когда в Химках были фактически начаты работы по воспроизводству двигателя ракеты А-4 - менее полутора лет. За это время советские инженеры и рабочие освоили изготовление и технологию огневого испытания двигателя, не имеющего отечественных аналогов по размерам, ряду материалов к технологиям изготовления. В условиях послевоенной разрухи поколение работников отечественной ракетной промышленности совершило трудовой подвиг. В связи с этим вспоминается высказывание, сделанное в конце 90-х годов XX века уже упоминавшимся немецким "историком", который утверждал, что по уровню достижений науки и технического оснащению промышленности в 40-е годы СССР отставал от Германии на 15 лет. Как увязать это заявление с бесспорным фактом: для освоения в СССР немецкого ЖРД большой тяги потребовалось всего 1,5 года?

Оценивая с сегодняшних позиций научно-технический уровень в СССР и Германии в рассматриваемый период, очевидно, что в некоторых отраслях Германия была впереди, в других - отставала от СССР; при этом следует признать более высокий общий уровень германской промышленности, но объективно исчислять эту разницу в годах невозможно.

На сроки освоения двигателя в ОКБ-456 повлиял ряд факторов и обстоятельств, причем некоторые из них объективно способствовали сокращению этого времени, а другие - удлиняли его.

Обстоятельства, способствовавшие ускорению освоения двигателя:

- наличие проверенных эксплуатацией комплектов конструкторской и технологической документации;
- получение части технологической оснастки и станков с завода "Монтания", а также оборудования для производства жидкого кислорода;
- наличие готовых деталей и агрегатов двигателя, ставших наглядным пособием при изготовлении отечественных аналогов;
- участие немецких специалистов-консультантов в работах, связанных с изготовлением и испытаниями агрегатов и двигателя в целом.

Обстоятельства, задерживавшие освоение двигателя:

- необходимость перевыпуска комплектов конструкторской и технологической документации применительно к условиям изготовления двигателя на заводе № 456;
- подбор и выпуск новых отечественных стандартов, аналогичных указанным в конструкторской и технологической документации на двигатель А-4;
- подбор отечественных материалов, эквивалентных использованным немцами в двигателе А-4;
- промышленное изготовление новых материалов, ранее не выпускавшихся в СССР;
- освоение новых технологий, ранее не применявшихся на заводе № 456;
- строительство новых цехов и лабораторий, монтаж оборудования стендов для технологических испытаний узлов и агрегатов двигателя.

В этот же раздел следует включить производственную и бытовую неустроенность и малочисленность коллективов ОКБ и завода.

Напрашивается небольшое отступление по излагаемой теме. Сегодня, спустя более 50 лет, сложилась очень похожая ситуация. Совместное предприятие американской компании "Юнайтед Технолоджиз" и российского НПО Энергомаш на лицензионной основе ведет подготовку к параллельному производству в США двигателей РД-180 для первой ступени ракеты-носителя "Атлас". По контракту с НПО Энергомаш, разработчиком и российским изготовителем двигателей, американцы получили комплекты конструкторской и технологической документации, для них ведется изготовление технологической оснастки. Российские конструкторы и технологи оказывают консультативную помощь в понимании требований конструкторской документации и особенностей отдельных технологических процессов. Как и в 40-х годах в ОКБ-456, американцам нужно создать ряд технологических стендов и научиться работать по российским чертежам, техническим условиям, стандартам (разумеется, переведенным на английский язык). В ряде случаев им приходится заменять российские материалы американскими. Перечень проводимых работ почти под копирку повторяет аналогичный список при освоении двигателя А-4, вот только время, запланированное американцами на освоение двигателя РД-180, в 3...4 раза больше, чем потребовалось ОКБ-456 в 1947-1948 гг. Конечно, трудоемкость и техническая сложность двигателя РД-180 во много раз больше, чем у двигателя А-4, но и сегодняшние возможности американской промышленности трудно сопоставить с условиями работы в СССР в 1947 г.

Вернемся, однако, к временам освоения в Химках двигателя ракеты А-4. Как уже указывалось, на бывшем авиаремонтном заводе № 456 ничего подобного не изготавливалось, практически весь станочный парк, технологическая оснастка и технологичес-

кие процессы были привезены из Германии. Конструкторская документация требовала адаптации к условиям промышленного изготовления двигателей в СССР. Такая обстановка в ОКБ и на заводе № 456 были типичным фрагментом общего положения в СССР при освоении трофейного реактивного вооружения. Прогнозируя сложности начального периода освоения немецкой техники, политическое руководство СССР приняло решение о депортации немецких специалистов для передачи опыта и обучения советских инженеров и рабочих "премудростям" изготовления новой для них техники. Так, прибывшими немецкими авиаконструкторами частично укомплектовали два авиационных ОКБ, группа специалистов в области ракетостроения численностью около 230 человек была направлена в филиал НИИ-88, расположенный на острове Городомля (озеро Селигер). Этой группе, возглавлявшейся Гельмутом Греттрупом, бывшим заместителем В. фон Брауна по системам управления ракет, поручалась разработка проекта боевой ракеты с дальностью, превышавшей дальность действия ракеты А-4. Помимо специалистов из Пенемюнде в группу входили научные работники различных специальностей из германских университетов и промышленных фирм.

Поступившая в распоряжение ОКБ-456 группа немецких специалистов была неоднородна как по уровню образования, так и по роду выполнявшихся в Германии работ (я называю прибывших немцев единым термином - "специалисты", хотя это вызывает возражения у некоторых ветеранов НПО Энергомаш, считающих, что среди них настоящих специалистов было всего 5-6 человек, остальные - рядовые исполнители в рамках своей профессии. Но другого термина, учитывающего оценку профессионализма прибывших немцев, я не нашел). Среди прибывших 5 человек имели высшее образование, 3 человека - незаконченное высшее, 11 - среднее техническое, а 4 человека имели за плечами только школу. По специальностям и опыту работы это были начальники и технические руководители производства, конструкторы и эксплуатационники стенового оборудования, технологи по сварке и сборке агрегатов двигателя, специалисты по заводскому техническому контролю за изготовлением деталей и агрегатов и приемке двигателей со стороны Управления вооружения армии. Номинальным руководителем этой группы был Освальд Путце, окончивший два университета и имевший степень доктора наук в области вагоностроения. В Германии он работал техническим директором завода Линке-Гофман, изготавливавшим камеры для двигателей А-4. С ним прибыла личный секретарь-стенографистка, выпускница коммерческой школы Розмари Тангейзер.

В соответствии с квалификацией немцы были распределены по подразделениям предприятия: в КБ - 10 человек, включая О. Путце и Р. Тангейзер, в экспериментальное производство и цехи завода - 7 человек, на испытательные стенды и установку по производству жидкого кислорода - 6 человек,

Таким образом, в Химках находилось 23 специалиста: к 17 прибывшим в ноябре 1946 г. в конце декабря добавилось еще 6 человек - 2 инженера-конструктора по ВРД, инженер-компрессорщик Х. Хаазе и 3 механика по эксплуатации криогенных установок.

В бытовом отношении немцы были устроены весьма неплохо: им были предоставлены вблизи завода коттеджи для каждой двух семей с двухсторонним входом и назначена достаточно высокая для тех лет зарплата. Так, в 1948 г. у главного конструктора ОКБ-456 В.П. Глушко месячный оклад составлял 6000 руб., у его заместителей Д.Д. Севрука и В.А. Витки - 4000 руб. и 3500 руб., соответственно. В тот же период времени зарплата заместителя начальника производства О. Путце составляла 5000 руб., у заместителя начальника огневого стенда В. Шварца - 3500 руб. и заместителя начальника станции по производству жидкого кислорода Х. Хаазе и ведущего инженера-технолога Р. Квальчика - 3000 руб. У остальных немцев зарплата была в диапазоне 1500-2500 руб., что было почти в 1,5 раза больше, чем у наших работников на аналогичных должностях. Уровень зарплат у немцев был предопределен постановлением Совмина СССР от 13 мая 1946 г., а вот занимаемые ими должности пришлось подбирать в штатном расписании в соот-

ветствии с назначенной им зарплатой. И, называясь заместителями начальников производства, стенда, конструкторской бригады, ведущими технологами и т.д., они не имели никаких распорядительных прав и никого в подчинении. Немцы самостоятельно выполняли порученную им работу, общались с нашими рабочими через переводчиков, инициативы не проявляли. Наши конструкторы, технологи, рабочие первое время после появления немцев ожидали от них откровений в технологии изготовления. Действительность оказалась иной. Технические возможности немецких специалистов, тех, что были в ОКБ и на заводе в Химках, оказались весьма ограниченными. В КБ они помогли выпустить комплект конструкторской документации, адаптированной к возможностям завода № 456. Главная трудность в этой работе заключалась в правильном подборе советских стандартов при производстве двигателя А-4, а также в формировании требований к выпуску новых стандартов, аналогичных по содержанию указанным в конструкторской и технологической документации. Такая же работа проводилась и по материалам, использованным в конструкции двигателя. В этих работах существенную помощь нашим специалистам оказали Вернер Баум, Генрих Винсковски и Бернхардт Герхардт. С ними плотно и плодотворно работал начальник конструкторской бригады Г.Н. Лист, который с детских лет хорошо знал немецкий язык, а за полторагодичную командировку в Германию отшлифовал свои знания до совершенства.

В экспериментальном производстве ОКБ и в цехах завода немецкие технологи Рудольф Квальчик, Фриц Бенеш и др. оказывали помощь в освоении технологии применительно к имеющемуся оборудованию, однако отказывались участвовать в отработке новых технологических приемов, предлагавшихся нашими инженерами и рабочими.

Положительным следует оценить участие Вилли Шварца в отладке и контроле технической готовности систем первого в СССР стенда для огневых испытаний мощного ЖРД. При проведении огневых испытаний в 1948-1949 годах В. Шварцу поручалась дежурство на кнопке аварийного отключения двигателя. Вторая, дублирующая кнопка была у начальника этого стенда В.Л. Шабранского.

Большой вклад в становление производства двигателей РД-100 внесли немецкие специалисты-криогенщики, направленные в ОКБ-456, поскольку руководство Главкислорода отказалось их принять. Эти специалисты под руководством Х. Хаазе приняли самое активное участие в монтаже и отладке оборудования установки для производства жидкого кислорода. В отличие от всех других немецких специалистов, Х. Хаазе были представлены права на распорядительную деятельность в рамках работ по производству жидкого кислорода, с чем он успешно справился, не вызывая каких-либо возражений у советского персонала. Немецкие криогенщики работали на своих рабочих местах до самого отъезда в ГДР в 1950 г.

Не следует, однако, думать, что работа немецких специалистов всегда проходила гладко, бесконфликтно. После нескольких месяцев достаточно осторожного отношения с нашими рабочими немцы осмелели, и некоторые стали показывать свой характер. Это выразилось в отказе от выполнения отдельных поручений, нарушении трудовой дисциплины, низком качестве выполняемой работы, нежелании передавать свой опыт и навыки советским рабочим. Ветераны НПО Энергомаш, участники событий тех лет, рассказывали о нескольких таких случаях. Приведем два из них.

Немецкий специалист-сварщик должен был обучить наших рабочих выполнять ручную сварку алюминиевых труб. Однако он уклонялся от этого. В присутствии наших рабочих сварка у него "не получалась": все время шел брак - пережоги да непровары. Но стоило только нашим сварщикам отойти в сторону, как качество сварки начинало соответствовать всем требованиям. И никакая написанная технология не могла помочь: ручная сварка - это опыт и навыки сварщика.

Как же вышли из этого положения? В те годы был очень силен дух патриотизма, дух победителей в войне с Германией. А тут, что же, мы вынуждены кланяться немцам? Два наших работника осваи-

вали сварку всю ночь. Потом, передремав пару часов, продолжали это занятие до вечера. Через два дня немца на участок сварки перестали приглашать. Он пришел сам, посмотрел на аккуратно сложенные на стеллаже сваренные трубы, что-то буркнул по-немецки, и больше его на сварочном участке не видели.

Второй пример связан с освоением технологии изготовления воздушного редуктора двигателя А-4. Надо сказать, что в результате воспроизводства (в соответствии с правительственным постановлением) точной копии этого двигателя, советский вариант унаследовал не только технические достижения, но и все слабые стороны конструкции, ее "хронические болячки". Одной из таких болячек была неустойчивая работа воздушного редуктора. Этот дефект вообще присущ агрегатам аналогичной конструкции; он проявляется в самопроизвольном "срыве" рабочей характеристики и "гудении" редуктора при работе. Чтобы обеспечить нормальную работу редуктора, его нужно определенным образом отрегулировать, чаще всего эту операцию называют "настроить". Настройку производят настоящие специалисты своего дела, почти на интуитивном уровне познания. О хроническом дефекте конструкции редуктора свидетельствовала запись в немецком первоисточнике - чертеже редуктора: "Если редуктор гудит, вызывать мастера Шульца". Поскольку среди депортированных немцев этого мастера не было, настройку выполнял другой специалист. Делал он это за отдельно стоящим верстаком, но подпуская в этот момент никого близко к своему рабочему месту. Такое положение дел терпели достаточно долго, но потом при явном неудовольствии немца ему в "помощь" выделили нашего слесаря. Теперь они "колдовали" вдвоем все также за отдельно стоящим верстаком. Порою складывалась ситуация, когда отсутствие кондиционного редуктора задерживало сдачу готовых двигателей. О таком положении дел знал даже Д.Ф. Устинов. Когда в свойственной ему манере он неожиданно приезжал на завод № 456, то всегда спрашивал: "Ну что, все еще гудит ваш редуктор?" Положение было исправлено путем изменения немецкой конструкции.

Кроме приведенных примеров отношения немцев к работе отмечались факты некачественного выпуска чертежей, нарушений трудовой дисциплины, за что одному из немецких специалистов было вынесено административное взыскание. Излагая фрагменты истории работы немецких специалистов в ОКБ-456, нельзя оставить без внимания случаи, когда практически все немцы стали уклоняться от выполнения порученной работы. Этот эпизод описан на основании архивных документов.

В октябре 1947 г. на полигоне Капустин Яр начались пуски ракет А-4, собранных из деталей и агрегатов, привезенных из Германии. В качестве консультантов при запуске ракет на полигоне находились немцы, прикомандированные к НИИ-86 и к ОКБ-456. Получив возможность пообщаться с соотечественниками, работавшими в ракетном НИИ, немцы из ОКБ-456 узнали, что они получают более низкую зарплату, чем их коллеги из НИИ-88. Это вызвало недовольство и привело к саботажу немцами их работ в ОКБ-456. Проверив достоверность информации о разнице в уровнях зарплаты, В.П. Глушко предложил немцам продолжить работу, а сам обратился к руководству отрасли с просьбой увеличить фонд зарплаты ОКБ-456 для выравнивания должностных окладов у немцев, работающих в ОКБ-456 и НИИ-88. Для решения этого непростого вопроса было подключено Главное планово-финансовое управление, два заместителя министра, Комитет № 2 при Совмине СССР. Кончилось тем, что денег не выделили, поскольку коэффициент повышения зарплаты для немцев в ОКБ-456 и в НИИ-88 одинаков, но базовая составляющая зарплат в НИИ-88, как у предприятия I категории, была выше, чем у ОКБ-456, которое являлось предприятием II категории. Все эти соображения были доведены до немецкого персонала. Хотя реакции немцев на такое объяснение документов в архиве, естественно, нет, думается, что воспринято оно было без удовлетворения. □

(Окончание в следующем номере)

Зачем в линейных станках "Содик" линейки с дискретностью 10 нм?

ВОПРОС:

Q

Известно, что в станках Sodick устанавливаются линейные датчики обратной связи (оптические линейки) с дискретностью 10 нм (0,01 мкм). Однако заявленная точность большинства станков Sodick - 2,5 мкм. Зачем оснащать станок линейками с точностью в 250 раз более высокой, чем точность, достижимая на этом станке?

Линейка – неотъемлемая часть любого добротного привода, повышающая прежде всего его управляемость. В дешевых приводах линейки не ставят – используют круговые датчики (осевые энкодеры), которые показывают угол поворота электромотора, а не фактическое перемещение того, что приводится. Что же касается приводов станков "Содик", то система ЧПУ не только получает достоверную информацию о фактическом положении приводимых органов, но и получает эту информацию с дискретностью на порядок выше, чем в лучших станках "не-Содик".

В станках Sodick - прямые, бесконтактные линейные приводы, которые физически обеспечивают подачи с дискретностью 0,1 мкм. По общему правилу, дискретность измерительной системы обратной связи в приводе должна иметь на порядок более высокое разрешение. Это как раз соответствует 0,01 мкм, разрешению линеек, которыми оборудуются станки Sodick. Дискретность линеек связана с дискретностью привода, а не точностью, достигаемой на станке. На точность обработки помимо привода влияют очень многие другие факторы.

Если бы на станках Sodick стояли приводы с ШВП, тем более приводы с ременными или зубчатыми редукторами, люфты в которых достигают сотки, то линейки даже с дискретностью 0,1 мкм были бы не более чем рекламным ходом. Сравните: на снайперскую винтовку ставят оптический прицел, но никто же не ставит оптический прицел на дробовик!



Для справки:

Измерительные линейки обратной связи с дискретностью 0,01 мкм (10 нм!) устанавливаются на все линейные электроискровые станки "Содик". В том числе и на недорогие модели.

До апреля 2002 г. на проволочно-вырезные станки "Содик" ставились линейки SONY, а на прошивочных – HEIDENHAIN. При этом дискретность линеек составляла 0,1 мкм. С апреля 2002 г. на все станки устанавливаются только линейки HEIDENHAIN с дискретностью 0,01 мкм.

Функция лазерного интерферометра встроена в линейные станки "Содик"

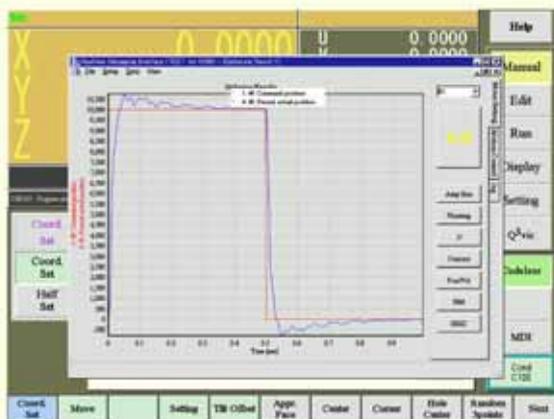
ВОПРОС:

Q

Считается, что линейные двигатели имеют большой разброс по параметрам, и их нужно настраивать индивидуально под каждый станок. Говорят, что поэтому при замене линейного привода у станков "Содик" могут быть проблемы. Точная настройка, якобы, возможна только на заводе изготовителя. Так ли это?

Линейные приводы, в отличие от ШВП, из строя практически не выходят и замены не требуют, но каждый линейный привод действительно индивидуален, и ЧПУ нужно под привод настраивать. В линейных станках "Содик" есть стандартные программы настройки, считывающие характеристики постоянных магнитов и электромагнитов. Достаточно один раз выполнить эти программы и занести данные в ЧПУ станка, чтобы учитывались все особенности постоянных и переменных магнитов. Более того: если по какой-либо причине произойдет изменение характеристик магнитов привода, в линейных станках "Содик" всегда есть возможность ввести коррекцию.

Если у вас станок с ШВП, и привод потребовал замены, то для настройки ШВП-привода скорее всего придется взять станок в фирменный сервисный центр, где имеется необходимый для этого стенд с лазерным интерферометром и другим оборудованием. Таких центров мало. Например, у известной японской фирмы M один такой центр на всю Европу, в Германии. Чтобы настроить привод, приходится не только преодолевать множество госграниц с их таможенными барьерами и соответствующими шокирующими затратами, но и ждать других желающих - очередь! Покупатели линейных станков "Содик" с этими проблемами не сталкиваются. По сути покупатель линейного станка "Содик" получает за те же свои деньги встроенный в станок самый точный и надежный лазерный интерферометр, позволяющий настраивать линейные приводы и корректировать их настройки в любой нужный момент в течение всего срока эксплуатации станка.



Функцию лазерного интерферометра для точной настройки приводов в линейных станках "Содик" эффективно выполняют установленные в ЧПУ специальные программы Ripple и Tcomp.





**Выбирая между точностью
и производительностью,
чаще идут на компромисс...**

Линейные электроискровые станки **Sodick - совершенство без компромиссов**

- Линейные сервоприводы по всем осям;
- Линейные датчики обратной связи с дискретностью 10 нанометров;
- Керамическая рабочая зона: сверхмалое тепловое расширение и идеальная гальваническая развязка;
- Встроенные 3D CAD/CAM-системы в дополнение к встроенному автопрограммированию и автотехнологу;
- Фантастические возможности электроискрового зеркального выжигивания.





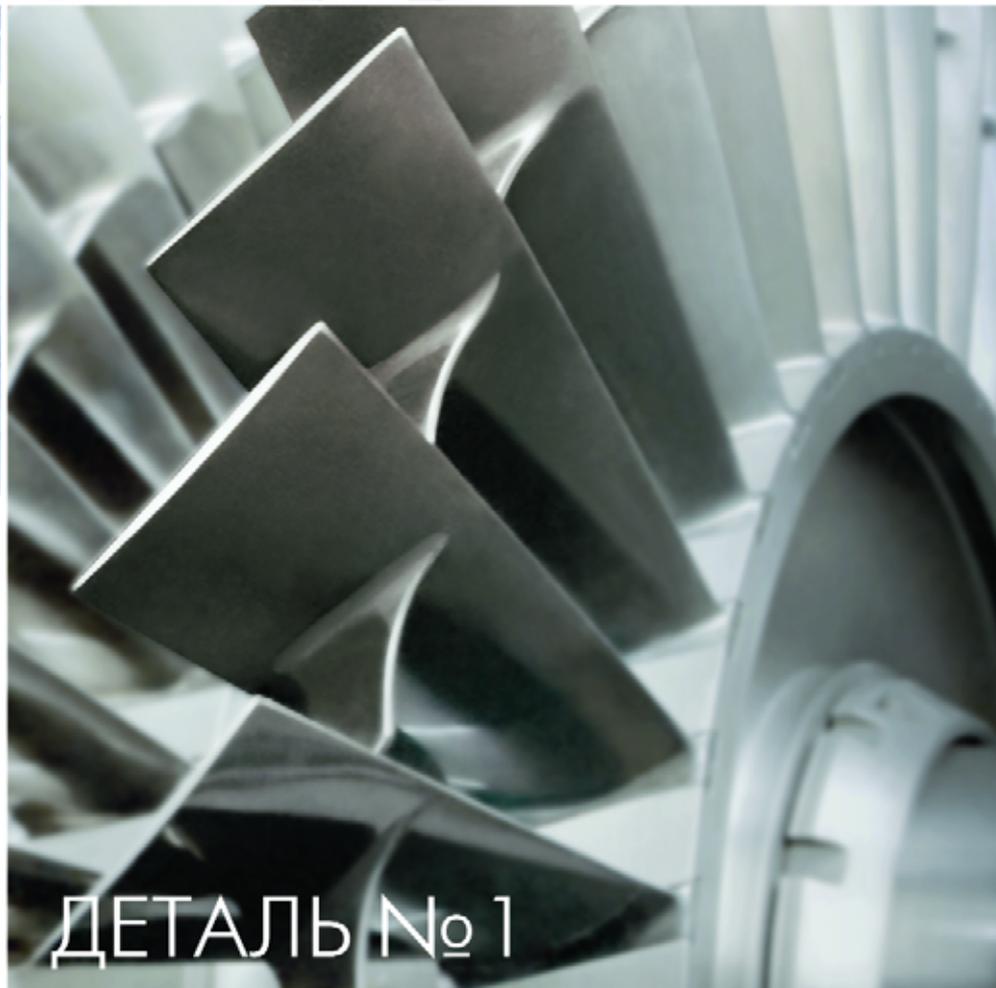
ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

E-mail: umpo@umpo.ru, [http:// www.umpo.ru](http://www.umpo.ru)



ГАЗОТУРБИННЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ
УСТАНОВКИ ОТ 2,5 ДО 325 МВт

ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИЕ
АГРЕГАТЫ ОТ 4 ДО 16 МВт



РАЗРАБОТКА,
ПРОИЗВОДСТВО,
МОНТАЖ,
МОДЕРНИЗАЦИЯ,
СЕРВИС

ДЕТАЛЬ № 1

