

# Двигатель

Научно-технический журнал № 5 (47) 2006



2007 2005 2004



Научно-техническое издание по освещению проблем в промышленности



## Редакционный совет

**Бондин Ю.Н.,**

ген. директор ГП "НПК газотурбостроения "Зоря"- "Машпроект"

**Губертов А.М.,**

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

**Данилов О.М.,**

ген. директор ЗАО "Центральная компания МФПГ "БелРусАвто"

**Дическул М.Д.,**

зам. ген. директора ЗАО "УК "Пермский моторостроительный комплекс" по экономике

**Иноземцев А.А.,**

ген. конструктор ОАО "Авиадвигатель"

**Каблов Е.Н.,**

ген. директор ГНЦ ВИАМ, академик РАН

**Каторгин Б.И.,**

ген. конструктор 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"

**Крымов В.В.,**

директор ФГУП "ММПП "Салют" по науке

**Кутенев В.Ф.,**

зам. ген. директора ГНЦ НАМИ по научной работе

**Кухаренок Г.М.,**

зав. каф. ДВС Белорусского национального ТУ

**Лобач Н.И.,**

ген. директор ПО "Минский моторный завод"

**Муравченко Ф.М.,**

ген. конструктор МКБ "Прогресс"

**Новиков А.С.,**

ген. директор ММП им. В.В. Чернышева

**Пустовгаров Ю.Л.,**

зам. премьер-министра правительства Республики Башкортостан

**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"

**Тресвятский С.Н.,**

ген. конструктор СНТК им. Н.Д. Кузнецова

**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 Иванович Бажанов

### Заместитель главного редактора

Дмитрий Александрович Боев

### Ответственный секретарь

Александр Николаевич Медведь

### Финансовый директор

Дмитрий Михайлович Чекин

### Редакторы:

Александр Аркадьевич Гомберг,

Андрей Иванович Касьян,

Валентин Алексеевич Шерстянников

### Литературный редактор

Лидия Владимировна Рождественская

### Художественные редакторы

Александр Николаевич Медведь

Владимир Николаевич Романов

### Техническая поддержка

Ольга Александровна Лысенкова

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

А.И. Бажанова,

Д.А. Боева, А.Н. Медведя,

В.Н. Романова

### Адрес редакции журнала "Двигатель":

111116, Россия, Москва,

ул. Авиамоторная, 2

Тел.: (495) 362-3925

Факс: (495) 362-3925

engine@zebra.ru

boeff@yandex.ru

www.dvigately.ru

## ОЧДААЕОАЕУ Е ЕСААОАЕУ

ООО "Редакция журнала "Двигатели" ©

генеральный директор Д.А. Боев

зам. ген. директора А.И. Бажанов

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

Редакция не несет ответственности за достоверность информации в публикуемых материалах.

Мнение редакции не всегда совпадает с мнением авторов

Перепечатка опубликованных материалов без письменного согласия редакции не допускается.

Ссылка на журнал при перепечатке обязательна.

.....  
Научно-технический журнал "Двигатель" ©

зарегистрирован в ГК РФ по печати

Reg. № 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. Новое в производстве лопаток турбин**  
Ю.С. Елисеев, О.Г. Оспенникова
- 4. Применение локальной технической обработки электронным лучом для изготовления и ремонта деталей газотурбинных двигателей**  
В.А. Поклад
- 6. К юбилею нашего президента**
- 7. Тайна с полувековым стажем**  
Д.А. Боев
- 8. Директор с большой буквы**
- 10. Аппаратное обеспечение информационных технологий, как элемент единого информационного пространства предприятий**  
Е.А. Дружинин, Д.Н. Елисеев
- 12. Автоматизированный многопараметровый стенд для экспресс-оптимизации режимов резания**  
В.А. Горелов
- 14. Решение проблемы запуска форсажных камер сгорания турбореактивных двигателей**  
Э.А. Марчик
- 18. GLOBATEX AG: Станки швейцарской фирмы ROLLOMATIC SA для технического перевооружения и модернизации предприятий**  
А.Л. Смирнов, В.С. Полуянов
- 22. Первые отечественные самолеты с турбореактивными двигателями**  
А. Николаев
- 26. Как теорию заставили работать в ГТД**  
В.С. Бекнев
- 30. Горючее - каким ему быть?**  
А. Идин
- 34. Основные принципы сохранения и накопления энергии**  
А.И. Касьян
- 38. Дальнейшее совершенствование судовых паровых машин. Турбины отработавшего пара.**  
В.С. Шитарев
- 40. Буду любить всегда**  
А. Маркуша
- 44. Подводный удар**  
С.Л. Мальчиков
- 47. ...по осени считают**  
А.И. Бажанов
- 48. Создание рулевых приводов БРПЛ в СКБ-385**  
Ю.А. Бобрышев
- 52. Турбулентность без градиентов**  
Ю.М. Кочетков



# НОВОЕ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЛОПАТОК ТУРБИН

ФГУП "ММП" "Салют": **Юрий Сергеевич Елисеев**, генеральный директор, д.т.н.  
**Ольга Геннадиевна Оспенникова**, главный металлург, к.т.н.

**В** металлургических цехах ФГУП "ММП" "Салют" постоянно ведется разработка и внедрение новых перспективных технологических процессов. Это влечет за собой модернизацию существующего производства, что позволяет производить продукцию высокого качества, отвечающую мировым стандартам. Основной способ получения лопаток турбины - литье по выплавляемым моделям. Использование в процессе производства современных пакетов компьютерных программ, нового оборудования, применение и разработка новых материалов, а также многолетний опыт работы позволяют в короткие сроки выпускать высококачественные отливки со сложными внутренними полостями.

Применение современных разработок по сквозному моделированию технологических процессов получения отливок лопаток от конструирования, подготовки до внедрения в производство позволяет резко сократить сроки освоения новых изделий, что делает ФГУП "ММП" "Салют" конкурентоспособным и ведущим производителем турбинных лопаток на российском рынке.

## Математическое моделирование технологических процессов литья, подготовка производства и изготовление опытных отливок

Разработка электронной модели отливки в системе Unigraphics включает в себя несколько основных моментов. Это, прежде всего, оценка технологичности детали, выбор технологии литья, трехмерное моделирование отливки и, наконец, собственно трехмерное моделирование конструкции литниковой питающей системы (ЛПС).

Отработка параметров процесса в системе автоматизированного моделирования литейных процессов "Полигон", PRO-CAST, включает в себя гидродинамический расчет заполнения



Анализ возникновения дефектов усадочного происхождения при использовании ЛПС

формы, моделирование литейного затвердевания отливки и прогноз макро-структуры отливки (ее пористости).

Изготовление модели отливок лопаток и оснастки осуществляется с использованием различного оборудования быстрого прототипирования. Для производства восковых моделей применяют установки ThermoJet, для полимерных моделей - SLA-7000. Керамические стержни для отливок производятся на установке "Феникс" (Франция). На специализированном оборудовании производятся силиконовые и металлополимерные пресс-формы. При разработке технологической оснастки объемных 3-D моделей широко применяются современные CAD/CAM системы Unigraphics NX, Cimatron E и IT, Solid Works и аналогичные им. Сквозной мониторинг и контроль сохранения заданных параметров при проектировании оснастки и организации технологических процессов осуществляются с помощью CAE систем ProCast (оптимизация литниково-питающих систем), ViewCast и др.

После изготовления формы, получения первых опытных отливок и анализа полученных результатов, при необходимости, проводится корректировка литниково-питательных систем и технологических режимов. Если отливки удовлетворяют заданным параметрам, процесс проектирования считается завершенным и результат разработки передается в производство. Применение данных технологий позволяет получить опытные образцы отливок без изготовления дорогостоящей оснастки и сократить сроки подготовки производства по освоению новых деталей до 35-45 дней. Ранее эти сроки обычно составляли от 5 до 7 месяцев.

## Производство керамических стержней

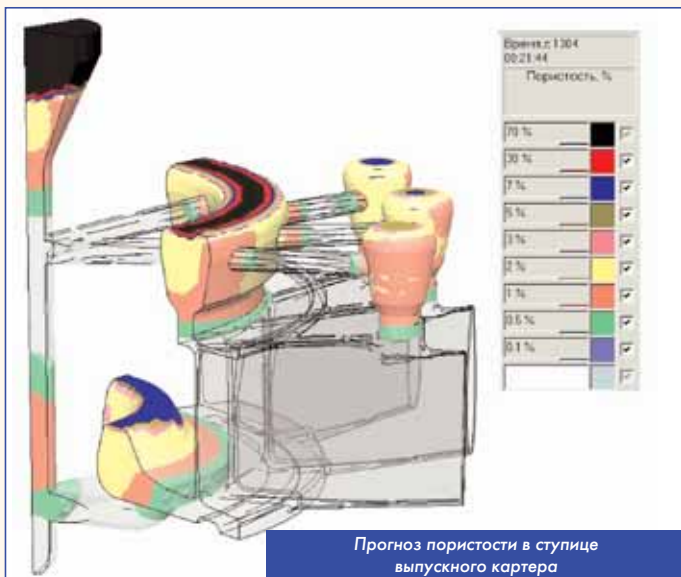
Для изготовления керамических стержней сложной конфигурации применяется пресс-автомат фирмы Mercia (Англия). Используются новые стержневые составы с пределом прочности при изгибе не менее 15 МПа. Такая стержневая керамика удаляется в растворах щелочей без повышенного давления и температур. На стадии завершения находится также и отработка технологии изготовления керамических стержней на основе плавного кварца.

## Производство восковых моделей

В процессе производства моделей деталей используются патентованные низкотемпературные композиционные материалы собственного производства на основе синтетических материалов Салют-1, Салют-2, Салют-3, Салют-4, Салют-5, Салют-6, Салют-7. Изготовление выплав-



Двухкамерная плавильная установка вертикальной конструкции



Прогноз пористости в ступице выпускного картера

ляемых моделей производится на модельных прессах производства ММПП "Салют", а также на прессах фирмы Mueller Phipps (США) усилием 50, 25 и 12 тонн. Применение таких модельных прессов позволяет стабилизировать геометрические размеры модели. В процессе работы контролируются следующие параметры: температура пресс-формы, температура модельной массы, давление впрыска модельной массы, давление запаривания пресс-формы.

**Производство керамических форм**

В производство внедрена технология изготовления керамических оболочек с использованием водного связующего Ludox SK. Нанесение и воздушная сушка слоев керамической оболочки осуществляется на двух высокопроизводительных роботизированных комплексах фирмы VA Technology Ltd. (Англия). Удаление модельной массы из оболочек производится в бойлерклаве фирмы "LBBC" (Англия).

**Производство отливок лопаток**

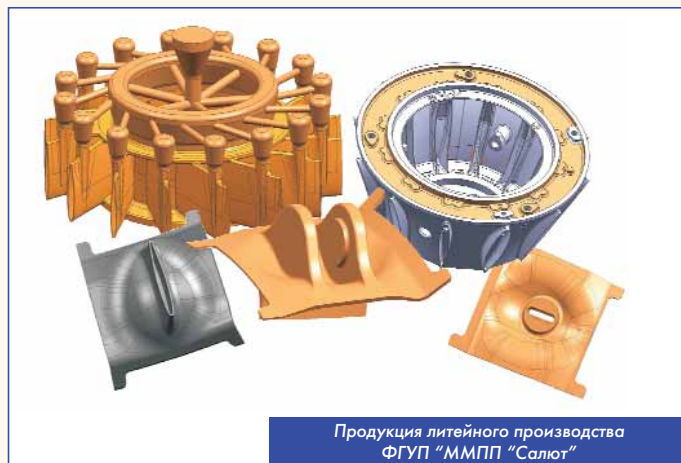
Оснащенность производства плавильным оборудованием позволяет получать широкий спектр отливок лопаток:

- по структуре - с равноосной, монокристалльной и направленной структурой;
- по габаритам - высотой от 20 до 700 мм (соответственно, от нескольких граммов до 160 кг).

В практике ФГУП "ММПП "Салют" используются следующие



Установка SLA-7000 для изготовления мастер-моделей и элементов оснастки



Продукция литейного производства ФГУП "ММПП "Салют"

вакуумные плавильно-заливочные установки: УППФ-3М, ВИПЭ-5, УВП-5, УВНК-8П, УВНК-8ПМ (последняя позволяет осуществлять компьютерное управление и автоматический контроль процесса), УВНК-12. Подготовлена к вводу в эксплуатацию вакуумная плавильная печь фирмы ALD (Германия), которая позволит получать отливки лопаток с равноосной и направленной структурой длиной до 700 мм. Максимальная емкость печи - 100 кг.

На стадии внедрения находится технология горячего изостатического прессования лопаток с применением газостата бельгийской фирмы EPSI для обработки крупногабаритных отливок из жаропрочных сплавов. Данное оборудование является на сегодняшний день в России уникальным. Оно позволяет регулировать скорость охлаждения и таким образом совместить операцию газостатирования с термической обработкой. Применение газостатического прессования позволит повысить комплекс механических и служебных характеристик деталей за счет повышения плотности отливок.

В стадии освоения и внедрения находится технологический процесс хромоалитирования газовым циркуляционным методом (взамен хромоалитирования в порошковых смесях). Преимущества этого метода: повышение качества и стабильности покрытий, снижение материальных затрат, улучшение санитарных условий на производственном участке.

Нашим предприятием освоена новая технология получения комбинированных конденсационно-диффузионных покрытий с использованием метода ВПТВЭ. Этот метод позволяет наносить подслои состава Ni-Cr-Al-W-Ta-Hf-Si-Y. Затем производится алитирование (хромоалитирование) газо-циркуляционным методом с последующим горячим изостатическим прессованием и наносится "финишный" слой состава Al-Si-Y методом ВПТВЭ. К числу преимуществ этого метода относят повышение эксплуатационных характеристик лопаток с покрытием, сформированным по этой технологии.



Установка горячего изостатического прессования

# ПРИМЕНЕНИЕ ЛОКАЛЬНОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ЭЛЕКТРОННЫМ ЛУЧОМ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И РЕМОНТА ДЕТАЛЕЙ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ



**Валерий Александрович Поклад**, главный инженер ФГУП "ММПП "Салют", к.т.н.

**С**оздание и ремонт роторных и корпусных конструкций газотурбинных двигателей осуществляется с применением различных способов сварки плавлением. Так, корпусные узлы сваривают аргонодуговой и электронно-лучевой, а роторные конструкции - электронно-лучевой сваркой.

Наиболее широко в авиационных газотурбинных двигателях применяют титановые и жаропрочные никелевые сплавы. Они обладают высокой чувствительностью к термическим деформациям, поэтому в околошовной зоне и шве могут происходить неблагоприятные изменения структуры и механических свойств, что требует применения особых режимов сварки и термической обработки. Особенно актуальна эта проблема становится при подварке и ремонте окончательно готовых деталей и узлов, обладающих высокой жесткостью.

Оболочковые конструкции из титановых сплавов типа корпуса промежуточного в первом приближении представляют собой две оболочки, соединенные между собой ребрами жесткости. Оболочки имеют большое количество кольцевых и продольных швов (рис. 1). При аргонодуговой сварке такого сложного узла на качество изделия влияет большое число факторов, которые в совокупности приводят к появлению в отдельных участках сварных швов внутренних трехосных напряжений, имеющих высокие градиенты в зоне сварного соединения. К таким факторам следует отнести следующие: источник нагрева, сложность формы свариваемого изделия, количество швов и их расположение, применение жесткой сборочно-сварочной оснастки для обеспечения требуемых геометрических размеров конструкции в процессе сварки и после нее, величину зазоров в стыках. Объемный характер распределения внутренних напряжений в ряде случаев сразу или в процессе эксплуатации может привести к появлению трещин. Трещины такого типа могут возникать непосредственно после сварки, а также в результате процесса замедленного разрушения после вылеживания сварных изделий.

Устранения негативного влияния объемных остаточных сварочных напряжений и процесса замедленного водородного разрушения в конструкциях из титановых сплавов добиваются, применяя неполный или полный рекристаллизационный печной отжиг. Однако не всегда удается избежать образования трещин даже после проведения такой операции. В этом случае конструкцию ремонтируют - подваривают швы в местах образования трещин. Проведение повторного печного отжига изделия после ремонта вызывает ряд трудностей, связанных прежде всего с искажением геометрии узла и "уводом" посадочных мест, что требует разработки дорогостоящей фиксирующей термической оснастки и не всегда приводит к желаемому результату.

Наиболее распространенным дефектом при изготовлении и эксплуатации корпуса промежуточного является образование трещин длиной до 30 мм в сварных швах, соединяющих стойки с корпусными обечайками. В ряде случаев указанные локальные трещины могут привести к разрушению всего узла.

Для предотвращения образования холодных трещин в швах при подварке необходимо разработать эффективный способ локальной термической обработки крупногабаритных узлов корпуса промежуточного из титанового сплава BT20. Основным видом термообработки этого сплава и его сварных соединений является низкотемпературный отжиг при температуре 600...650 °С для снятия нагартовки и уменьшения напряжений, возникающих при сварке или других процессах технологической обработки.

Выбор оптимального способа термической обработки проводился на основе исследования объемных остаточных напряжений на плоских образцах из титанового сплава BT20 размером 150x80x1,5 мм, сваренных аргонодуговой сваркой, до и после подварки (ремонта) с последующим локальным и печным отжигом при температуре 600...650 °С. Двенадцать датчиков (тензорезисторы с базой 3 мм) располагались около шва с двух сторон пластины. Датчики с четными номерами располагались со стороны корня шва, а с четными номерами - со стороны вершины. Вырезка темплетов выполнялась на электроэрозионном станке. Шесть пар образцов представляли следующие варианты:

- вариант 1 - длина сварного шва - 150 мм, без термообработки;
- вариант 2 - длина сварного шва - 100 мм, без термообработки;
- вариант 3 - длина сварного шва - 150 мм, произведена подварка шва (ремонт) длиной 75 мм, без термообработки;
- вариант 4 - длина сварного шва - 150 мм, произведена

подварка шва длиной 75 мм с проведением последующей локальной термообработки электронным лучом;

- вариант 5 - длина сварного шва - 150 мм, произведена подварка шва длиной 75 мм с проведением последующей термообработки электродуговым нагревом в аргоно-вакуумной камере;

- вариант 6 - длина сварного шва - 150 мм, произведена подварка шва длиной 75 мм с последующим печным отжигом при температуре 630 °С в вакууме.

Подварка шва осуществлялась по традиционной схеме с разделкой дефектного участка. Локальная термическая обработка электронным

лучом проводилась нагревом всего места подварки до температуры 630 °С в вакуумной камере при остаточном давлении  $5 \cdot 10^{-3}$  Па. Размер раstra пятна нагрева составлял 80 мм в длину и 20 мм в ширину. Предварительно проводились эксперименты по определению тока нагрева ( $I_{нагр.}$ ), времени прогрева образца на всю толщину и выравнивания температуры в зоне нагрева. Контроль температуры проводился одновременно термовизором и термометрическим способом. Термопару зачеканивали в корне шва. Результаты эксперимента показали, что прогрев образца на всю толщину происходил за 3...5 с. В течение 10 с происходило выравнивание температуры в зоне нагрева от поверхности до корня шва.

Определение объемных остаточных напряжений проводилось методом полного освобождения  $\sigma_{остаточная}$  ( $\sigma_{ост.}$ ) с определением напряжений главных направлений -  $\sigma_{результатирующая}$  ( $\sigma_{р.}$ ). Полученные данные приведены в таблице, в ней полярность деформаций обозначена знаками " - ", растяжение " + ". Как видно из анализа таблицы, минимальный уровень значений объемных остаточных напряжений в сваренных пластинах получен при общем печном отжиге в вакууме. Локальная термическая обработка электронным лучом и дугой также позво-



Рис. 1. Внешний вид промежуточного корпуса

ляет снизить максимальный уровень объемных остаточных растягивающих напряжений. Так, локальный электронно-лучевой отжиг снижает уровень остаточных растягивающих напряжений на 50 %, т.е. вдвое, а аргонодуговой отжиг - на 30 %.

Учитывая то, что общий печной отжиг может приводить к короблению сложных сварных конструкций ГТД (применение термофиксаторов не всегда полностью устраняет это явление), а также к нежелательному изменению качества поверхностного слоя окончательно готовых деталей, особенно при ремонте, применение локальной термической обработки электронным лучом в вакууме является весьма эффективной и экономически оправданной операцией. Еще более важной указанная проблема становится при сварке и ремонте роторных и корпусных конструкций из двухфазных жаропрочных титановых сплавов типа ВТ3-1, ВТ8, ВТ9 и других, так как последующая термическая обработка необходима не только для снятия остаточных напряжений, но и для стабилизации структуры металла шва, околосшовной зоны и получения необходимых механических свойств, что требует проведения уже высокотемпературного отжига и упрочняющей термической обработки.

**Величина объемных остаточных напряжений в сварных образцах в зависимости от последующей термической обработки**

Номер датчика	Вариант № 1		Вариант № 2		Вариант № 3		Вариант № 4		Вариант № 5		Вариант № 6	
	$\sigma_{ост.}$ МПа	$\sigma_{р.}$ МПа	$\sigma_{ост.}$ МПа	$\sigma_{р.}$ МПа	$\sigma_{ост.}$ МПа	$\sigma_{р.}$ МПа	$\sigma_{ост.}$ МПа	$\sigma_{р.}$ МПа	$\sigma_{ост.}$ МПа	$\sigma_{р.}$ МПа	$\sigma_{ост.}$ МПа	$\sigma_{р.}$ МПа
1	+455	+267	+622	+395	+264	+138	+52	-64	+25	-93	+16	-1,0
2	+167	+159	+314	+227	+228	+246	+82	+146	+162	+224	+25	+32
3	-166	-20	-77	+72	-462	-421	-267	-286	-366	-394	-57	-57
4	+246	+196	+105	+131	-12	+62	+169	+213	+140	+207	+13	+23
5	+743	+445	+684	+399	+485	+393	+108	+93	+322	+247	+61	+47
6	+244	+150	+423	+249	+130	+223	+55	+81	+43	+13	0	+11
7	-230	-5	-259	-35	-424	-306	-77	-49	-323	-249	-60	-46
8	-53	+13	-150	-15	+244	+311	+63	+87	+250	+289	+34	+37
9	+452	+226	+523	+341	+77	+41	+156	+145	+121	-68	+17	+3
10	+205	+187	+347	+248	+47	+43	+18	+30	-32	-56	+18	+27
11	-365	-151	-22	+89	-133	-121	-81	-38	-610	-630	-47	-46
12	+263	+214	+96	+132	-25	-12	+32	+41	-63	-80	+22	+30

# К ЮБИЛЕЮ НАШЕГО ПРЕЗИДЕНТА

23 ноября 2006 г. исполняется 75 лет Генеральному директору и Президенту АССАД, доктору технических наук, профессору Виктору Михайловичу Чуйко.

Среди авиационных моторостроителей и во всех смежных областях вы не сможете найти сколь-либо грамотного сотрудника, которому был бы не знаком этот человек. Инженер, ученый, администратор, сумевший в неимоверно трудные для промышленности последние годы XX века на базе двух "моторных" главков Минавиапрома объединить всех, причастных к созданию самолетных моторов, и тем уберечь отрасль от развала, уже сейчас стал в инженерном народе личностью поистине легендарной.

Виктор Михайлович родился в 1931 г. в южной части России. В 1956 г. он окончил Харьковский авиационный институт по специальности инженер-механик по авиастроению. И с этого момента по настоящее время он безотрывно работает в авиационной промышленности.

Начал свою трудовую деятельность молодой инженер Чуйко в 1956 г. в Запорожском машиностроительном конструкторском бюро "Прогресс". Здесь он проработал до 1979 г. на различных инженерных должностях: от инженера-конструктора до заместителя генерального конструктора. На его личном счету выпуск нескольких широко известных моделей ГТД запорожской разработки.

С 1979 г. В.М. Чуйко был переведен на работу в центральный аппарат Министерства авиационной промышленности СССР, где работал заместителем начальника 3 Главного управления (двигательного), а с 1984 г. - заместителем министра авиационной промышленности СССР по двигателю- и агрегатостроению. Будучи человеком с богатым опытом практической работы, блестящим инженером и ученым, В.М. Чуйко активно участвует в мероприятиях, направленных на развитие авиационного двигателестроения. Многочисленные научные труды В.М. Чуйко были опубликованы в журналах "Авиационная промышленность", "Техника воздушного флота", а также в изданиях



АН СССР и ЦИАМ. Под руководством В.М. Чуйко и при его непосредственном участии созданы, внедрены в серийное производство и успешно эксплуатируются двигатели НК-25, НК-32, НК-86, АЛ-31Ф, ТВ3-117, ТВ7-117, АИ-24, АИ-25, Д-18Т, Д-36, Д-136, Д-30Ф6, Р29-300, РД-33, Р95Ш, Р195, ПС-90А и другие, которые устанавливаются на большинстве типов самолетов и вертолетов гражданского и военного назначения, а также применяются для создания газотурбинных приводов к газоперекачивающим и энергетическим установкам.

Известный организатор отечественного авиационного двигателестроения, ученый с мировым именем, доктор технических наук, профессор, академик Академии авиации и воздухоплавания и Академии транспорта В.М. Чуйко является одним из создателей и бессменным Президентом и Генеральным директором Ассоциации "Союз авиационного двигателестроения" (АССАД).


Созданная по инициативе предприятий авиационного двигателестроения в мае 1991 г. АССАД в настоящее время объединяет на добровольной основе более 100 отечественных и зарубежных фирм различного профиля, все научно-исследовательские институты авиационной промышленности. Будучи уникальной в мировой практике некоммерческой организацией, АССАД оказывает помощь своим членам в поиске наиболее коротких и эффективных путей взаимовыгодного сотрудничества, систематически анализирует возникающие проблемы, а также выработывает и внедряет предложения по их решению.

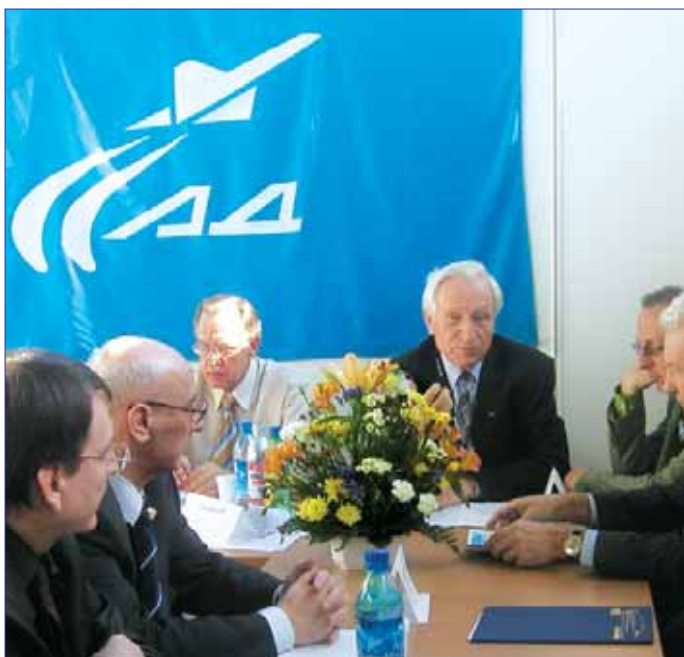
Руководимая В.М. Чуйко генеральная дирекция АССАД выполняет большую работу по поручениям аппарата Правительства Российской Федерации, Минпромэнерго России, Роспрома, других федеральных органов России и стран СНГ с целью развития отечественного авиационного двигателестроения, создания новых высоких технологий с использованием их двойного назначения в газоперекачке, энергетике и других отраслях промышленности.

Виктор Михайлович - инициатор и организатор проведения международных салонов "Двигатели", которые больше 15 лет дают возможность осуществлять эффективный обмен опытом и заключать взаимовыгодные контракты между предприятиями и фирмами двигателестроения и смежных отраслей.

В.М. Чуйко является членом Экспертного совета Госдумы РФ по вопросам авиационно-космического комплекса, а также Комитета Торгово-промышленной палаты РФ по развитию авиационно-космического комплекса и Общественного совета по техническому регулированию при Минпромэнерго России.

Доказательствами государственного признания заслуг Виктора Михайловича являются присвоенные ему звания лауреата Государственной премии Украинской ССР, лауреата Премии Советов Министров СССР и Премии Правительства Российской Федерации. Он награжден двумя орденами Трудового Красного Знамени, орденом Почета, медалями.

Коллеги по работе, друзья, товарищи по сложному делу - созданию авиационных двигателей и другому, не менее, может быть, сложному - сбережению наработанного от агрессивности бестолковой экономики, сердечно поздравляют Виктора Михайловича с юбилеем, желают ему крепчайшего здоровья и успешного продолжения столь же энергичной и эффективной деятельности для всеобщего блага. И - удовольствия от жизни во всех ее проявлениях. 





75



Редакция журнала сердечно поздравляет своего постоянного автора, неперменного и весьма деятельного члена Редакционного совета, президента и генерального директора АССАД, доктора технических наук и профессора **Виктора Михайловича Чуйко** с 75-летием. Мы от души желаем ему крепкого здоровья и удачи во всех делах и начинаниях!



Чем мы, редакция журнала, могли бы порадовать уважаемого нами человека в такой день? Разве что тем, чего он еще не видел. Вот, пожалуйста! Без комментариев: наши самые свежие фотографии с Гидроавиасалона в Геленджике и сентябрьской сессии Совета по газовым турбинам РАН. Смотрите на них! Искренность по отношению к юбиляру легко видима не только в нашем поздравлении, но и у всех, кому довелось встречаться с Виктором Михайловичем: и у академиков, и у Героев, и у министров, и у журналистов.

С днем рождения, Виктор Михайлович! Наши страницы всегда открыты для Вас. Пусть работа с "Двигателем" будет еще более плотной: без Вашего участия журнала в таком виде точно не существовало бы. И мы это помним и ценим. **Д**



По поручению Клуба Главкомандующих ВВС и от имени военных летчиков РФ позволяете от всей души сердечно поздравить Вас со славным юбилеем! Вы достигли самого прекрасного в жизни человека возраста, в котором сочетаются мудрость, опыт и жизненные силы.

Глядя на Вас невольно приходишь к выводу, что самый лучший возраст - это 75!

Желаю Вам здоровья и успехов в Вашем благородном труде во славу Российской Авиации!

Главкомандующий ВВС (1991 - 1998 гг.) Пётр Дейнекин

## ТАЙНА С ПОЛУВЕКОВЫМ СТАЖЕМ

На территории Российского государственного гуманитарного университета (РГУ) 22 июня 2006 г. проходил VII международный форум образовательных технологий "Прикосновение к будущему". На состоявшихся в рамках форума переговорах представителей РГУ, Политехнического музея и ЦИАМ было достигнуто соглашение о начале археологических исследований на территории Центрального института авиационного моторостроения (ЦИАМ) им. П.И. Баранова, что на Авиамоторной улице.

Информацию об этом уникальном техническом кладе неоднократно публиковал журнал "Двигатель" (№ 3 за 1999г., № 5, 1999, № 6, 2003). Дело связано с судьбой ЦИАМовской коллекции авиационных поршневых двигателей 20...50-х годов XX века. В свое время все они были экспонатами развернутой в институте выставки новинок мирового двигателестроения: препарированных поршневых двигателей, агрегатов, отдельных узлов. Это как распространенные некогда конструкции типа моторов "Мерлин", "Испано-Сюиза" или отечественные конструкции, так и довольно редкие, хотя и интересные, такие, как "Центавр" воздушного охлаждения.

В начале 50-х министр минавиапрома (Деминтьев) издал приказ прекратить все расчетные на перспективу работы, связанные с поршневыми авиамоторами. Промышленность этот приказ исполнила, а ученые бросать обычные темы не торопились: очень много было наработок, да и просто привыкли к своим поршневым. Начальником ЦИАМ в 1954 г. был назначен Н.П. Кононенко. Человек решительный, он весьма просто решил проблему перевода уче-

ных на новую тематику: нет объекта - нет темы.

Во внутреннем дворе административного здания во время войны было открыто деревянное бомбоубежище, разрушенное после Победы (точнее говоря, самостоятельно сгоревшее: кто из рабочих, наладившихся "забивать козла" в обед в деревянном подвале-убежище оставил непотухший окурок, и вот...). Оставшуюся после него яму и решили заполнить разным мусором: ломом, щебнем, и... экспонатами выставки поршневых двигателей. Дело в том, что металлоломом пункты приема вторичного металла были после войны переполнены, а вести все эти мелочи на свалку себе дороже.

Через год с небольшим начальника института сменили и всем стало не до поршневых раритетов. Со временем вся эта история превратилась в еще одну ЦИАМовскую побасенку (их вообще предостаточно накопилось за более чем 75 лет существования института). И вот теперь эта история суждено, кажется, сдвинуться с мертвой точки. Работы начнутся скорее всего не раньше следующего года: не сезон уже.

**Дмитрий Боев**, ведущий научный сотрудник Политехнического музея. **П**



Автор статьи - сотрудникам ЦИАМ:  
"Вот отсюда и в ту сторону - лежат сокровища Института"

# ДИРЕКТОР С БОЛЬШОЙ БУКВЫ

26 октября 2006 года исполняется 70 лет Юрию Евгеньевичу Решетникову, прошедшему путь от инженера-конструктора до начальника моторостроительного главка. Проработав в авиапроме более 45 лет, Ю.Е. Решетников заслужил известность и авторитет как крупный специалист в области двигателя телестроения среди коллег в России и за рубежом.

Трудовая деятельность Юрия Решетникова берет начало в пермском моторостроительном КБ (ныне ОАО "Авиадвигатель"), куда он был направлен в 1960 г. после окончания Казанского авиационного института.



В те годы внимание отечественного авиационного моторостроения было приковано к развитию двигателя Д-30. На базе Д-30 создаются двигатели для самого различного назначения: для пассажирского самолета Ил-62М, для транспортного Ил-76 и для сверхзвукового истребителя-перехватчика МиГ-31. Первой серьезной работой молодого конструктора (которой Юрий Евгеньевич заслуженно гордится до сих пор) стала компоновка компрессора низкого давления самого надежного в истории российского моторостроения двигателя Д-30. Позднее Юрий Решетников принимает непосредственное участие и в создании двигателей Д-30КУ, Д-30КП, Д-30КУ-154, Д-30Ф6.

В 1968 г. приказом Министра авиационной промышленности СССР Ю.Е. Решетников назначен заместителем главного конструктора конструкторского бюро. В этот период в производство внедрен ряд технологических новинок того времени: электронно-лучевая сварка, плазменное напыление, автоматизированная запись и обработка параметров авиадвигателя при его испытании, станки с программным управлением, организация точного лопаточного литья и др., что значительно повысило качество турбинных лопаток нового поколения. Уменьшение трудоемкости производства, а также совершенствование

технологической базы предприятия позволило пермякам существенно сократить сроки создания двигателей, их доводки и внедрения в серийное производство.

С 1981 по 1989 гг. Ю.Е. Решетников работает главным инженером 13-го Главного Управления Министерства авиационной промышленности СССР, а затем начальником Научно-технического центра авиационного моторостроения. На этой должности Юрий Евгеньевич с присущей ему энергичностью успешно решает сложные задачи моторостроительного главка. Содержанием его работ стало участие в создании и доводке авиационных двигателей: Д-18, Д-36, НК-86, НК-32, Р-79-300, ПС-90А и ряда других, организация их серийного производства и ремонта. В этот же период Ю.Е. Решетников возглавляет рабочую группу министерства авиационной промышленности СССР по созданию и организации серийного производства отечественного газотурбинного привода НК-16СТ для нужд газовой промышленности.

В 1989 г. Ю.Е. Решетников возвращается в Пермь, и в результате открытых выборов становится генеральным конструктором МКБ.

Конец 80-х - начало 90-х гг. минувшего века стали временем мобилизации пермского конструкторского коллектива на разработку и изготовление образцов двигателей для уникальных по своим тактико-техническим характеристикам самолётов. Осуществлен первый полет высотного самолета М-55 "Геофизика", затем в небо поднимается экспериментальный истребитель пятого поколения С-47 "Беркут" с обратной стреловидностью крыла. Оба самолета оснащены двигателями, созданными пермскими моторостроителями.



Особого внимания генерального конструктора требовало и завершение программы доводки двигателя ПС-90А, давшего жизнь основным современным магистральным самолетам нового поколения Ил-96-300, Ту-204, Ту-214. В период безденежья и административной разлуки в 1992 г. пермским двигателестроителям под руководством Ю.Е. Решетникова удается завершить государственные испытания и получить сертификат на двигатель ПС-90А. Уже в 1993 г. в свой первый рейс по маршруту Москва - Нью-Йорк отправляется дальнемагистральный Ил-96-300, оснащенный двигателями ПС-90А.

Успешность пермяков на рынке авиационного двигателестроения в первую очередь оценили именно там, за океаном. С начала 90-х годов активно разворачивается сотрудничество "Авиадвигателя" и "Пермского моторного завода" с дочерним предприятием United Technologies - известной двигателестроительной компанией Pratt&Whitney, ставшей в 1997 году крупным акционером "Пермского моторного завода". Она вложила более 70 миллионов долларов в реконструкцию завода и модернизацию его продукции. Сегодня ключевым аспектом сотрудничества пермских и американских моторостроителей является совместное проектирование перспективных двигателей на основе современных информационных технологий и передовых методов конструирования. В настоящее время предприятия Пермского моторостроительного комплекса и Pratt&Whitney работают над созданием трех типов двигателей: авиационного ПС-90А2, промышленных ПС-90ЭУ-16А и ПС-90-ГП2А.

В 1992 г. по инициативе Ю.Е. Решетникова в Перми на основе авиадвигателей разворачивается проектирование и серийное производство газотурбинных установок в диапазоне мощностей от 2 до 25 МВт для транспортировки газа и выработки электроэнергии. Еще в 1991 году генеральный конструктор неоднократно подчеркивал: *"В условиях рынка мы не должны ограничивать свою деятельность только авиационными двигателями. Будет совершенно правильно, если мы попробуем найти применение нашим двигателям не только в небе, но и на земле"*. Так родился новый вид бизнеса, давший работу и зарплату тысячам работников оборонной промышленности Прикамья, повысивший отчисления в бюджет.

Четкая, продуманная организация работ позволила КБ в кооперации с серийным заводом в течение 1994 г. изготовить и собрать первый экземпляр привода мощностью 12 МВт, а уже в 1997 г. заказчику сдана ГТУ-16П мощностью 16 МВт. Обе установки с высоким к.п.д. спроектированы для привода газоперекачивающих агрегатов нового поколения серии "Урал" и в короткие сроки освоены в серийном производстве. В 1994 г. впервые запущена в опытно-промышленную эксплуатацию передвижная автоматизированная газотурбинная электростанция, созданная на базе авиационного двигателя Д-30, а с 1995 г. начато серийное производство газотурбинных установок для электростанций. В 2000 г. по заказу ОАО "Газпром" в Перми разработана установка ГТУ-10П для применения в качестве привода нагнетателей газа в составе дожимных компрессорных станций и станций подземного хранения газа.

Генеральным директором - генеральным конструктором ОАО "Авиадвигатель" Юрий Евгеньевич проработал до 2001 г., а также с 1998 г. он пять лет возглавлял одно из крупнейших моторостроительных предприятий России - ОАО "Пермский моторный завод".

Юрий Решетников стал директором завода, когда не стало заказов, ушли и продолжали уходить специалисты, недовольные большой задолженностью по зарплате, и возникла еще масса проблем, которые обязан был решать руководитель оборонного предприятия без всяких государственных гарантий на выживание. Но кто-то лишь пытался найти выход, а Юрию Решетникову это удалось в полной мере. Была восстановлена работоспособность завода и КБ, создана новая эффективная структура управления и стабилизирована численность персонала. Удалось обеспечить ежегодный прирост объемов продаж не менее чем в полтора раза, приток инвестиций в технологическое переоснащение и развитие производства. Были не только



ликвидированы долги по зарплате, но и обеспечен ее достойный уровень и постоянный рост. В результате объем продукции, произведенной одним из крупнейших моторостроительных заводов России, ежегодно увеличивается в 1,5-2 раза и в 7 раз - с момента начала работы Ю.Е. Решетникова в должности генерального директора предприятия.

Возглавляя одновременно "Авиадвигатель" и Пермский моторный завод, Юрий Решетников достиг четкой кооперации конструкторского бюро и серийного завода по освоению и производству новых изделий. Рост объемов произведенной продукции позволил увеличить в 5 раз налоговые отчисления в бюджет.

В 2003 г. Юрий Решетников оставил пост генерального директора Пермского моторного завода, но с коллективом родных предприятий не расстался до сих пор. В том же году он стал председателем Советов директоров ОАО "Пермский моторный завод" и ЗАО "Управляющая компания "Пермский моторостроительный комплекс".

Юрий Евгеньевич Решетников - действительный член Академии наук авиации и воздухоплавания РФ, действительный член Академии транспорта РФ, член-корреспондент Инженерной академии РФ. Лауреат Государственной премии СССР, лауреат премии РФ, Почетный авиастроитель, Почетный машиностроитель, Почетный работник газовой промышленности. Он награжден орденом "Знак Почета", орденом Почета, орденом Трудового Красного Знамени.



*Редакция журнала "Двигатель" присоединяется к поздравлениям Юрию Евгеньевичу Решетникову и желает ему творческих успехов, здоровья и исполнения намеченных планов.*

# АППАРАТНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ КАК ЭЛЕМЕНТ ЕДИНОГО ИНФОРМАЦИОННОГО ПРОСТРАНСТВА ПРЕДПРИЯТИЯ

Егор Александрович Дружинин  
Дмитрий Николаевич Елисеев

**В настоящее время необходимым условием конкурентоспособности предприятия является наличие единого информационного пространства, внедрение информационных технологий на всех этапах конструирования, производства и эксплуатации высокотехнологичной продукции. Единое информационное пространство предприятия является основой успешной поддержки принципов CALS – технологии.**

Федеральное государственное унитарное предприятие "ММПП "Салют" является одним из крупнейших государственных предприятий авиационной промышленности в области разработки и производства авиационных двигателей для военной и гражданской авиации, высокотехнологичных энергетических установок. Предприятие обладает уникальной научно-производственной базой, Правительством Российской Федерации предприятию присвоен статус федерального научно-производственного центра.

Основным компонентом стратегии развития Федерального государственного унитарного предприятия "ММПП "Салют" является программа создания единого информационного пространства предприятия, внедрение информационных технологий (ИТ) на всех этапах конструирования, производства и эксплуатации авиационных и промышленных двигателей. Предприятие активно развивает технологии интегрированной поддержки изделий. Целью технологий интегрированной поддержки изделий (ИПИ-технологий) является информационная поддержка продукции в течение всего жизненного цикла (ЖЦ). Создание технологии, поддерживающей жизненный цикл изделия, связано с необходимостью сократить финансовые и временные затраты на организацию информационного взаимодействия между учреждениями и предприятиями по эксплуатации дорогостоящей техники. Первоначально ИПИ-технологии трактовались как Computer Aided Logistic Support (CALS) - компьютерная поддержка процесса поставок, далее потребовался охват всех этапов жизненного цикла изделия, тогда концепция получила более широкую трактовку - Continuous Acquisition and Life cycle Support (непрерывное развитие и поддержка жизненного цикла продукции).

Программа разработки и внедрения элементов CALS-технологий на "Салюте" реализуется с 1996 г. В то время на предприятии было около 50 компьютеризированных рабочих мест, сегодня их уже свыше 5500 и без компьютера не обходится ни одна служба завода. На всех этапах жизненного цикла изделие сопровождается различными системами автоматизации, на этапе проектирования это системы геометрического моделирования (CAD) и системы инженерного анализа (CAE). Далее следуют системы автоматизации производства (CAM), системы планирования ресурсов предприятия (ERP) и другие. В современных условиях все эти системы интегрируются в единое информационное пространство, т.е. в ИПИ или CALS-технологии. Под единым информационным пространством предприятия ФГУП "ММПП "Салют" подразумевается использование и развитие полномасштабной, многофункциональной ERP-системы.

Задачи, связанные с формированием нормативных данных для конструкторской и технологической подготовки производства сложны и для подготовки этих данных возможностей только ERP недостаточно. Основой данных для подготовки производства является конструкция изделия. На этапе конструирования изделия формируются точные математические и геометрические модели, как всего изделия в целом,

так и отдельных его узлов и деталей. Разработка конструкции изделия выполняется с помощью специализированных пакетов автоматизированного проектирования - CAD-систем. В зависимости от сложности решаемых задач все CAD-системы ФГУП "ММПП "Салют" подразделяются на три уровня. На нижнем уровне находятся системы двухмерного моделирования семейства AutoCAD, применяемые, в основном, при работе со смежными предприятиями отрасли. Средний уровень занимают системы, решающие задачи по созданию относительно несложных трехмерных геометрических моделей и при проведении эскизного моделирования, таковыми являются системы семейства "Компас". На верхнем уровне расположен наиболее мощный пакет трехмерного поверхностного параметрического моделирования UNIGRAPHICS.

Такую же трехуровневую структуру дифференциации задач имеют CAE-системы ФГУП "ММПП "Салют" для проведения прочностных, термодинамических и аэродинамических расчетов. На первом уровне широко применяются пакеты собственной разработки. Высший уровень иерархии CAE-систем занимают продукты MSC Corporation и ANSYS Inc.

Хранение, обработку и управление конструкторскими данными о проекте принимает на себя PDM-система Teamcenter Engineering. Основные задачи Teamcenter Engineering - это управление конструкторским документооборотом и интеграция с CAD-системами второго и третьего уровня. На базе PDM-системы Teamcenter Engineering сформирован электронный архив технической документации, осуществляется повсеместный переход к безбумажным технологиям.

Использование Teamcenter Engineering также решает задачи интеграции с ERP Салют и системами технологического проектирования.

ФГУП "ММПП "Салют" использует коммерческие CAM-системы ведущих производителей. Разработка управляющих программ для пяти- и шестикоординатных станков с ЧПУ и расчета режимов резания выполняется собственными пакетами программ, разработки ФГУП "ММПП "Салют". Изготовление деталей также основывается на CALS-технологиях с использованием оборудования с числовым программным управлением для формообразующих и контрольных операций. За последние годы было приобретено более пятисот современных станков таких известных фирм, как Starrag, Liechti, Willemijn, Fehlmann, Micron, WFL, Boehringer, Cincinnati, AGIE, Sodick, Gleason-Pfauter, Kliengelberg, Ipsen, LK, Tesa, Opton и многих других.

Роль информационных технологий многократно возросла при создании крупного интегрированного центра газотурбостроения. В состав интегрированной структуры предприятия в качестве филиалов и обособленных хозяйственных объединений вошли Воскресенский машиностроительный завод "Салют", МКБ "Гранит", НТЦ НИИД, МКБ "Горизонт" и приднестровский завод "Прибор". Теснейшая структурная кооперация связывает ММПП "Салют" с Гаврилов-Ямским машиностроительным заво-

дом "Агат", ОАО "Агрегат", ОАО "Топаз", ОАО "Наро-Фоминским машиностроительным заводом".

Без применения информационных технологий было бы невозможно в кратчайшие сроки расширить номенклатуру выпускаемой продукции (помимо АЛ-31Ф и его модификаций). ФГУП "ММПП "Салют" является крупнейшим специализированным предприятием по ремонту двигателей АЛ-21Ф (для Су-24), Р15Б-300 (для МиГ-25), изготовлению узлов и деталей двигателей Д-436Т1/ТП (для Ту-334-100, Ту-134М, Бе-200), Д-27 (для Ан-70) и энергетических установок.

Главным звеном в стратегии повышения эффективности бизнес-процессов ФГУП "ММПП "Салют" является создание единого информационного пространства научно-исследовательских, опытно-конструкторских работ и техпроцессов производства. Все основные процессы ФГУП "ММПП "Салют" автоматизированы с помощью системы управления предприятием ERP Салют и системы электронного документооборота, но от надежности работы и безопасности информационной структуры напрямую зависит работа всего предприятия. Информационное пространство предприятия содержит более 5500 компьютеров, распределенных на территории России и ближнего зарубежья. Связь с удаленными компьютерами осуществляется по каналу VPN. Одной из основных проблем управления ИТ-инфраструктурой обычно является сопровождение жизненного цикла персональных компьютеров, рабочих станций и серверов, требующее больших трудовых, денежных и временных затрат на инвентаризацию, установку и обновление программно-аппаратного обеспечения. ФГУП "ММПП "Салют" проводит внедрение автоматизированной системы управления ИТ-инфраструктурой LANDesk. Кроме того, эта система позволила создать единую базу данных, содержащую информацию об аппаратном и программном обеспечении рабочих станций, а также содержит инструменты автоматического сбора такой информации и отслеживания изменений в аппаратном и программном обеспечении клиентов. Благодаря внедрению этой системы удалось существенно снизить затраты на администрирование и эксплуатацию ИТ-инфраструктуры, повысить управляемость и безопасность информационной системы в целом.

Инвестиции в новейшие технологии, современные средства вычислительной техники, коммуникационное оборудование и введение концепции единого информационного пространства показали свою эффективность. Это позволило предприятию сократить сроки разработки новой газотурбинной техники, снизить затраты на создание нового авиационного двигателя, повысить загрузку оборудования и качество выпускаемой продукции, снизить производственный брак и уровень складских запасов.

Выполняя стратегические цели "Программы разработки и внедрения САСТехнологий" руководство ФГУП "ММПП "Салют" планирует развитие вычислительной среды с высоким параллелизмом.

В конце 2002 г. на предприятии стартовал проект по внедрению кластерных технологий в инженерном анализе и подготовке существующей инфраструктуры для её успешного применения в конструкторских подразделениях. В феврале 2003 г.

проведен запуск в промышленную эксплуатацию системы распределенных вычислений, таким образом, предприятие получило первый в отрасли кластер на платформе Intel. Применение кластерных технологий позволило повысить конкурентоспособность изделия путем сокращения времени разработки и экономии материальных ресурсов в результате сокращения количества натурных испытаний и оплаты времени конструкторов, затраченного на ожидание решения.

В настоящий момент загрузка всех специализированных вычислительных комплексов составляет 100%. Они позволяют в десятки раз сократить время инженерных расчетов при проектировании газотурбинных двигателей. Очередь на проведение расчетных работ, с применением кластеров, подтолкнула руководство ИТ ФГУП "ММПП

"Салют" к созданию единого узла высокопроизводительных кластерных вычислений на все конструкторские подразделения предприятия. В результате ведущейся работы совместно с Межведомственным суперкомпьютерным центром Российской академии наук была определена необходимая предприятию производительность вычислительного комплекса, равная 3..3,5 Терафлопа. В настоящий момент на предприятии существует два специализированных комплекса на базе процессоров Intel® Xeon® и Intel Itanium-2 совместно с системой хранения конструкторской документации общей емкостью 35 Тбайт, ФГУП "ММПП "Салют" ведет последовательное создание консолидированного вычислительного центра масштаба предприятия.

В качестве технического решения данной задачи была рассмотрена возможность применения 64-разрядных серверов Arbyte Alkazar на платформе Bensley.

Сервер Arbyte Alkazar создан на базе новейших двухъядерных процессоров Intel Xeon в компактном исполнении и предназначен для построения высокопроизводительных вычислительных кластеров.


Новый сервер Arbyte Alkazar является альтернативой существующим системам. Он может быть оснащен двумя 64-разрядными двухъядерными процессорами Intel® Xeon®, иметь до 32 Гб памяти FB-DIMM DDR2 и два гигабитных сетевых адаптера с поддержкой технологии Intel I/O Acceleration Technology. При этом обеспечивается высочайшая производительность системы при минимальной потребляемой мощности. Если возникнет необходимость, то наращивание производительности системы возможно путем увеличения рабочей частоты процессоров.

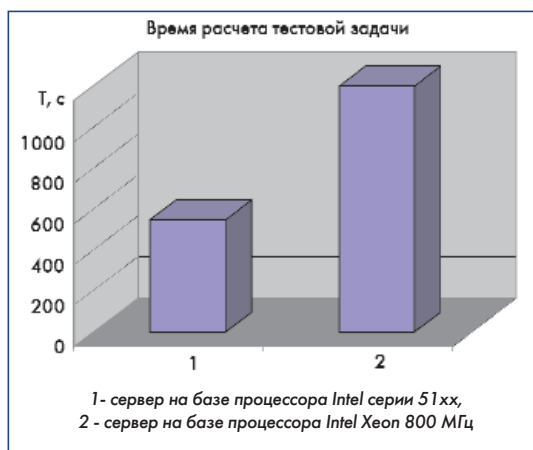
Увеличение вычислительной мощности серверов происходит без существенного увеличения расходов на инженерное обеспечение серверных комнат (электропитание, кондиционирование, занимаемая площадь).

Серверы Arbyte Alkazar готовы использовать как уже существующие процессоры серии 51xx (Intel Dual Core Xeon), так и перспективные четырехъядерные процессоры семейства Intel® Xeon® серии 53xx на основе новой микроархитектуры Intel Core. Как показывают результаты предварительного тестирования, системы, основанные на процессоре 51xx, обеспечивают производительность, в два раза превышающую данный показатель для серверов предыдущего поколения, и трехкратную экономию энергопотребления, что позволяет одновременно использовать больше приложений на меньшем числе систем с меньшим энергопотреблением. Использование технологии Intel

I/O Acceleration Technology позволяет эффективно использовать среду Gigabit Ethernet в качестве среды передачи данных в высокопроизводительных вычислительных кластерах. Благодаря технологии FB-DIMM памяти DDR2 компания Arbyte имеет возможность создавать вычислительные ресурсы, удовлетворяющие растущим требованиям к объемам вычислений и детализации моделей (данных). Среди других преимуществ серверов Arbyte Alkazar - повышенная безопасность, надежное энергоснабжение, возможность оптимизации под конкретные задачи предприятия.

Технологии, используемые в новой архитектуре гарантируют возможность создания консолидированных вычислительных центров крупного предприятия. Именно поэтому специалистами ФГУП "ММПП "Салют" рассматривается целесообразность применения серверов Arbyte Alkazar для дальнейшего развития своей вычислительной среды. Предполагается что применение новейшей платформы Intel® Xeon® в многоузловых вычислительных кластерах, используемых для инженерных расчетов, позволит резко увеличить их вычислительную мощность, обеспечить высокий параллелизм.

Окончательные решения о внедрении будут приняты по результатам анализа результатов проведенного тестирования системы на этой платформе. Пока можно сказать, что предварительные тестирования подтвердили заявленные возможности новой платформы. 



# АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ МНОГОПАРАМЕТРОВЫЙ СТЕНД ДЛЯ ЭКСПРЕСС-ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ

Валерий Александрович Горелов, зам. главного технолога ФГУП "ММПП "Салют", к.т.н.

Быстрому переходу предприятий на выпуск новых видов продукции и внедрению высокоэффективных технологий способствуют автоматизированные системы информационного технологического обеспечения, оперативно и объективно предоставляющие предприятию оптимальные инженерные решения технологических задач. При этом существенно сокращаются трудовые и материальные затраты.

Эффективным подходом к информационному обеспечению технологических процессов при автоматизированной подготовке производства является разработка и внедрение стендов для измерения и анализа параметров физических процессов при резании. Необходимость создания таких стендов обусловлена тем, что в последние годы в современном производстве применяются высокопроизводительные многокоординатные станки с ЧПУ, режущие инструменты, оснащенные сменными многогранными пластинами (СМП) и смазочно-охлаждающие технологические средства (СОТС), как правило импортного производства. Отсутствие нормативной технологической информации о режимах резания и стойкости инструмента при использовании новых инструментальных материалов, упрочняющих покрытий, форм и геометрии СМП, СОТС при обработке деталей из современных и новых конструкционных материалов снижает эффективность процессов механической обработки.

С развитием автоматизированных средств измерений получены важные результаты по разработке научных основ и новых инженерных решений задач оптимизации процессов механической обработки. Информативность методов, основанная на измерении параметров термодинамических и виброакустических процессов (сил резания, вибраций элементов технологической системы, акустической эмиссии и др.) обусловлена тем, что они позволяют регистрировать в реальном времени физические процессы при резании: разрушение, трение, пластическую деформацию, фазовые и структурные изменения. Поэтому указанные методы позволяют получить ту информацию, которая отражает конкретные динамические и временные условия выполнения технологических операций, связанные с режимами резания и изнашиванием инструмента.

Таким образом, для решения современных задач, стоящих перед технологией механообрабатывающего производства, необходимо дальнейшее развитие методов и средств многопараметровой диагностики по следующим основным направлениям:

- разработка методических основ и расчетных моделей по выбору оптимальных условий перспективных процессов многокоординатного резания на станках с ЧПУ;
- создание программно-информационных систем выбора

области эффективных условий резания на основе измерения и анализа термосиловых, виброакустических и эмиссионных параметров процессов;

- разработка проблемно-ориентированных диагностических стендов для автоматизированных исследований по выбору режимов резания и стойкости инструмента.

Для реализации этих направлений на ФГУП "ММПП "Салют" создан автоматизированный многопараметровый стенд по экспресс-оптимизации условий резания и инструмента.

Выбор режимов резания для обработки деталей в производственных условиях является многофакторным процессом, и проведение исследований в лабораторных условиях, как правило, не отражает особенностей обработки деталей в механообрабатывающих цехах. Важно отметить, что построение эмпирических зависимостей стойкости инструмента от режимов резания на основе известных стойкостных испытаний инструмента практически невозможно из-за многообразия условий обработки современного производства, а также экономически невыгодно. Разработанный многопараметровый стенд позволяет в 50 и более раз сократить трудоемкость и материалоемкость стойкостных испытаний с помощью моделирования многообразия факторов, имеющих место в производственных условиях обработки деталей, а при разработке методического и программного обеспечения - выполнять следующие функции:

- ускоренный выбор оптимальных режимов резания при точении;
- оценку обрабатываемости конструкционных материалов;
- оценку технологических возможностей инструментальных материалов, геометрии инструмента, упрочняющих покрытий инструмента, СОТС и т.д.;
- разработку и проверку аналитических моделей динамики технологических процессов обработки резанием;
- моделирование процесса износа инструмента с учетом динамики технологических процессов обработки резанием.

Стенд, структурная схема которого приведена на рис. 1, разработан на базе станка фирмы Jesco Machinery 1650ENC с ЧПУ системы Fagor 800TGI и укомплектован трехкомпонентным динамометром "9257 BA" со

встроенным усилителем заряда, датчиком акустической эмиссии Kistler 8152B2, акселерометром Kistler 8614A1000M1 с усилителем сигнала Kistler 5127B. Стенд обеспечивает автоматизированный прием информации о динамических и виброакустических процессах при резании в реальном масштабе времени и обработку этой информации с целью определения физических критери-



Рис. 1. Структурная схема и общий вид автоматизированного стенда по экспресс-оптимизации режимов резания

ев, характеризующих состояние технологической операции.

В систему сбора и обработки данных входит: компьютер Panasonic CF-28PB, 800 Mhz Pentium Processor, 256 MB RAM, 30 GByte HDD, 13.3" TFT-цветной дисплей - промышленное исполнение; встроенный аналогово-цифровой преобразователь, имеющий восемь аналоговых входных каналов SubD 9-pole, возможность автоматической корректировки смещения нуля.

Возможная частота от 156,25 до 80 000 выборок в секунду. При использовании 8 входных каналов частота выборки до 10 000 выборок в секунду на канал. Для приема и первичной обработки данных применяется программа Mlab. Для дальнейшей обработки данных используется программа MGraph, позволяющая быстро проводить обработку больших массивов с результатами измерений.

Диагностические методы и автоматизированные средства для оценки изнашивания инструмента были применены при выборе эффективных водоземulsionных СОТС для лезвийной обработки никелевых и титановых сплавов (рис. 2). Выбранные наиболее эффективные СОТС внедрены в производство.

Исследования, проведенные на основе анализа сил резания и акустической эмиссии (RMS) при обработке точением жаропрочных сплавов, позволили установить диапазон оптимальных скоростей обработки резанием с использованием различных СОТС. Так, например, при точении сплава 15X16K5H2MBФАБ инструментом, оснащенный твердосплавной СМП с острой режущей кромкой, диапазон оптимальных скоростей резания (для  $S = 0,1$  об/мин и  $t = 1$  мм) при использовании ЭП в качестве СОТС составил  $V = 65...75$  м/мин и без СОТС  $V = 45...55$  м/мин (рис. 2, а). При увеличении износа инструмента в процессе обработки его стойкость при отсутствии СОТС резко снижается (рис. 2, б). Поэтому при выборе оптимальных режимов резания необходимо учитывать текущий износ режущей кромки инструмента, влияющий на выбор оптимальной скорости резания.

Эксплуатация многопараметрового стенда на ФГУП "ММП "Салют" позволила провести исследование обрабатываемости типовых конструкционных материалов, применяемых на предприятии. Результаты исследования легли в основу разработки электронной базы данных на режимы резания жаропрочных никелевых и титановых сплавов и технологических рекомендаций на режимы резания и применение конструкций инструмента, оснащенного СМП. Выполненные работы позволили повысить скорость резания на 40 % и более при увеличении стойкости инструмента в 2,5...3,5 раза.

На автоматизированном стенде проведены сравнительные испытания современных порошковых быстрорежущих сталей, демпфирующих конструкционных сталей для режущего ин-

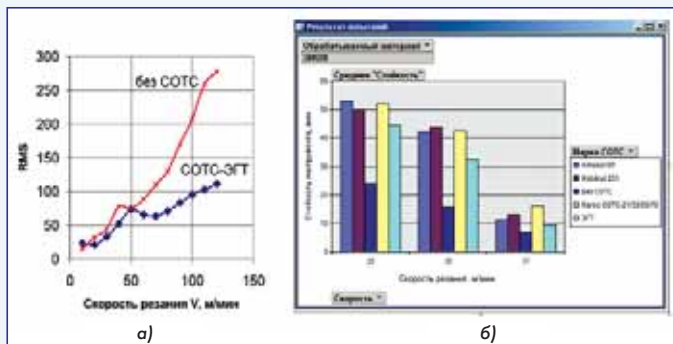


Рис. 2. Результаты исследования эффективности применения различных СОТС при обработке жаропрочных сплавов, проведенного на автоматизированном многопараметровом диагностическом стенде.

струмента, различных методов упрочнения инструмента и др. На основе результатов исследований, проведенных ФГУП "ММП "Салют" совместно с кафедрой ВТО МГУ "СТАНКИН" создана многопараметровая автоматизированная система измерения параметров физических явлений в процессе резания. При проектировании системы резание рассматривалось как совокупность сложных процессов, включающих пространственные переме-

щения инструмента и заготовки, длительность которых изменяется от нескольких часов до тысячных долей секунды, автоколебания элементов технологической системы с диапазоном от  $10^{-1}$  до  $2,5 \cdot 10^{-5}$  с, пластическую деформацию, разрушение и трение на контактных поверхностях длительностью  $10^{-5}...10^{-7}$  с. В состав системы входят: измеритель сигналов акустической эмиссии, измеритель составляющих силы резания, трехканальный измеритель вибраций, многоканальный аналого-цифровой преобразователь, персональный компьютер и программное обеспечение приема и обработки данных. Универсальный модуль сбора данных (УМСД) обеспечивает максимальную скорость 3 млн преобразований в секунду и имеет возможность наряду с вводом аналоговых сигналов осуществлять ввод/вывод цифровых сигналов. Помимо специализированного программного обеспечения УМСД может работать под управлением интегрированного пакета LabVIEW фирмы National Instruments (США).

Программное обеспечение (ПО) многопараметровой измерительной системы процесса резания разрабатывалось с учетом возможности решения широкого круга задач: от проведения технологических исследований до имитации системы контроля состояния процесса резания и инструмента. Структура программного обеспечения многопараметровой измерительной системы в процессе резания приведена на рис. 3. ПО состоит из базы данных, содержащей параметры процесса резания, программ приема и обработки данных.

В ближайшее время планируется дальнейшее развитие методов и средств диагностики для создания баз данных по применению новых инструментальных материалов, обеспечивающих дальнейшее повышение режимов резания и стойкости инструмента. Для корректного отражения системой измерения текущего состояния процесса резания необходимым условием является соответствие временных характеристик указанных явлений временным характеристикам измерительной аппаратуры. Совокупность указанных явлений не может быть отражена одним способом измерений или одним широкополосным датчиком. Для решения этой проблемы необходимы исследования по комбинированию способов измерений и датчиков, различных по временным, пространственным и функциональным характеристикам, которые в совокупности дают многопараметровую измерительную систему.



Рис. 3. Структура программного обеспечения многопараметровой измерительной системы в процессе резания

# РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ ЗАПУСКА ФОРСАЖНЫХ КАМЕР СГОРАНИЯ ТУРБОРЕАКТИВНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

**Эдуард Александрович Марчик**, ведущий научный сотрудник ФГУП "ЦИАМ им. П.И. Баранова",  
лауреат премии имени Н.Е. Жуковского, к.т.н.

Эксплуатационная полетная область ТРДФ и ТРДДФ отличается очень широким диапазоном высотно-скоростных условий. По этой причине, надежный запуск форсажной камеры сгорания и ускоренный выход на минимальные, частичные и полные форсированные режимы с любого (вплоть до малого газа) режима работы должен производиться при существенно разных давлениях и температурах потока в газогенераторном тракте.

Актуальная научная проблема надежного запуска форсажных камер сгорания и ускоренного устойчивого выхода турбореактивных двигателей на форсированные режимы работы в отечественном авиадвигателестроении успешно решена путем разработки и создания специальной автоматической системы запуска по методу "огневой дорожки". Кратковременная локальная топливовоздушная "огневая дорожка" из работающей основной камеры сгорания в форсажную предельно эффективно запускает последнюю на всех режимах работы. Применение такой системы позволяет повысить надежность и высотность запуска форсажных камер сгорания. С ее внедрением расширяется диапазоны термодинамических параметров в камере и режимов работы двигателей, в которых возможен запуск форсажной камеры. Одновременно минимизируется расход пускового форсажного топлива. В конечном итоге все это приводит к улучшению качества переходных процессов и сокращению времени выхода двигателя на форсированные режимы работы.

"Огневая дорожка" при появлении пускового форсажного топлива образует в газогенераторном потоке локальный топливовоздушный факел к стабилизатору пламени. Факел организуется при кратковременном ( $\Delta\tau_{\text{дол}} = 0,02...0,5$  с) впрыске топлива через две форсунки разных типов и конструкций. Подача дополнительного топлива осуществляется в основную камеру сгорания и за турбиной через постоянно продуваемый вторичным воздухом общий разветвленный трубопровод. Расход топлива регулируется саморегулирующимся дозатором, питаемым от топливной системы основного контура двигателя. Прекращение впрыска и выход на заданный форсированный режим производится по сигналу, который поступает от ионизационных датчиков наличия пламени в форсажной камере.

Удалось достичь всережимного пространственного и динамического согласования работы струйной (в основной камере сгорания) и центробежной (за турбиной) форсунок в широком диапазоне изменения частот вращения роторов двигателя. Для этого





вслед за заполнением общего трубопровода посылается опережающая порция дополнительного топлива через центробежную форсунку. После осуществления процесса поджига оставшееся в трубопроводе топливо выдувается в газовый поток через центробежную форсунку, продолжая активизировать начавшееся в форсажной камере горение.

Фундаментальные научные и технические основы метода "огневой дорожки" были исследованы в ЦИАМ на демонстрационном турбореактивном двигателе. Демонстратор был изготовлен на базе ТРДФ РД-9Б, специально препарированного для изучения нестационарных газодинамических и термохимических процессов, которые возникают, в частности, при запуске и выключении форсажной камеры. В семидесятых годах проведены испытания этого двигателя в высотных условиях. В результате получен уникальный экспериментальный материал, позволяющий анализировать характеристики процесса запуска форсажной камеры и оценивать влияние на него элементов конструкции систем двигателя. Безотказное воспламенение форсажного топлива происходило при давлении газа за турбиной до  $p_{T \min} = 0,21 \cdot 10^5$  Па и осуществлялось вплоть до режима высотного малого газа ( $T_r^* = 750$  К,  $T_T^* = 630$  К). Система надежно работала при длительности действия "огневой дорожки"  $\Delta t = 0,2$  с. Горение форсажного топлива начиналось спустя  $\Delta t_{\text{воспл}} = 0,1$  с после начала функционирования "огневой дорожки".

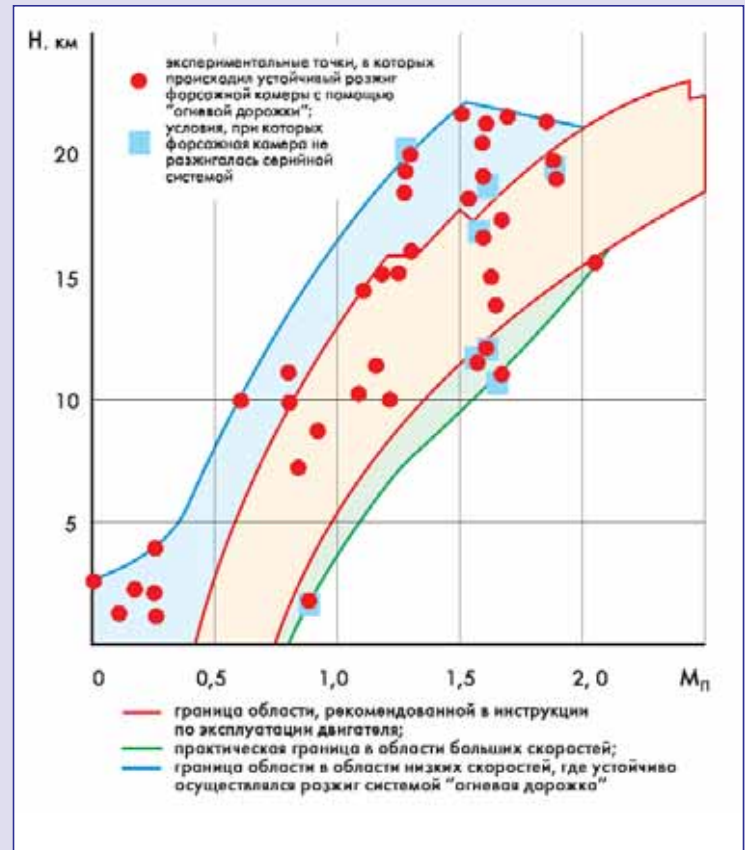
Эти исследования позволили обосновать целесообразность организации совместных конструкторских и экспериментальных работ с моторными и агрегатными ОКБ, направленных на реализацию нового метода всережимного запуска форсажных камер сгорания на опытных и вновь создаваемых ТРДДФ. Впервые принципиальное сравнительное экспериментальное определение динамических и режимных преимуществ запуска методом "огневой дорожки" форсажной камеры сгорания ТРДФ Р15Б-300 в полном диапазоне эксплуатационных высотно-скоростных условий было осуществлено при специальных испытаниях в термобарокамере стенда Ц-1А. В расширенной по сравнению с эксплуатационной области высот и скорости полета самолета в двигателе с прототипом системы "огневая дорожка" были получены стабильные ускоренные на 2,5...4 с выходы на форсированные режимы работы (рис. 1).

Эксперименты по запуску форсажной камеры сгорания этого двигателя проводились при изменении значений статического давления газа за турбиной вплоть до  $p_{T \min} \sim 19,6$  кПа, при этом были достигнуты минимальные значения давления газа в основной камере сгорания около 59 кПа. Максимальные режимы работы данного двигателя характеризуются высоким уровнем скоростей газа за турбиной и в районе стабилизаторов пламени форсажной камеры сгорания ( $\lambda_x = 0,32...0,39$ ). При давлениях газа за турбиной  $p_T < 50$  кПа скорость газа возрастает до  $w_{x1M} = 188$  м/с и  $w_{x2M} = 214$  м/с.

Проверен запуск форсажной камеры сгорания в высотных условиях при низкой температуре воздуха на входе в двигатель ( $T_{\text{вх}}^* = 242$  К,  $H = 10$  км,  $M_n = 0,63$ ) и большом скоростном напоре ( $V_{\text{приб}} = 1090$  км/ч,  $H = 11$  км,  $M_n = 1,66$ ).

В период создания систем "огневая дорожка" применительно к разным турбореактивным двигателям одновременно совместно с ОКБ и ЛИИ были выполнены прямые сравнительные испытания ряда серийных и опытных электрических систем, опытных каталитической, плазмохимической и плазматронной систем на следующих ТРДФ и ТРДДФ: Р11Ф-300, Р15Б-300, Р27Ф2-300, Р13Ф-300, Д-30Ф6, Р79В-300 и АЛ-31Ф.

С учетом современных требований к динамике переходного процесса запуска форсажных камер турбореактивных двигателей воспламенение первоначальных количеств топлива должно осуществляться за время, не превышающее 0,3 с. Электрические системы зажигания принципиально не могут воспламенять топливовоздушную смесь, в которой еще не достигнуто рабочее соотношение "горючее - окислитель". Факел "огневой дорожки" сам локально приносит большое количество подготовленного топлива и



тем самым обеспечивает более раннее воспламенение образующейся горючей смеси по сравнению с другими методами поджига.

На первом российском военном ТРДДФ Д-30Ф6 метод "огневой дорожки" применен впервые к двухконтурному турбореактивному двигателю. Для этого одновременно с кратковременным впрыском дополнительного топлива в заднюю часть основной камеры сгорания (переносимого газовым потоком в проточном тракте протяженной - длиной 436 мм - с большой степенью понижения давления четырехступенчатой турбине) осуществляется согласованный впрыск дополнительного топлива на выходе из турбины. Суммарный газотопливный переобогащенный факел проходит затурбинный участок, смеситель потоков и засмесительное пространство до среднего стабилизатора пламени форсажной камеры сгорания. Полное расстояние от места впрыска дополнительного топлива в конце газосборника основной камеры сгорания до стабилизатора пламени форсажной камеры сгорания составляет очень большую величину - 1827 мм.

При испытании прототипа двигателя Д-30Ф6 на наземном стенде получен "мягкий" (без изменения параметров основного контура) запуск общей форсажной камеры сгорания. Форсажная камера целиком расположена за смесителем горячего и холодного потоков. Количество форсажного топлива при воспламенении составляло 4,3% его расхода на режиме полного форсирования. Необходимые для воспламенения форсажного топлива расходы дополнительного топлива и продолжительность его впрыска составляли  $G_{\text{доп1}} = 60$  г/с (5,6%  $G_{T \text{ о}}$ ),  $G_{\text{доп2}} = 70$  г/с и  $\Delta t_{\text{доп}} \sim 0,2$  с. Количество введенного в основную камеру сгорания топлива равнялось  $G_{\text{доп1}} \Delta t_{\text{доп}} \sim 12$  г. Воспламенение форсажного топлива осуществлялось на всех режимах работы двигателя (в том числе и с искусственным ухудшением условий запуска форсажной камеры сгорания путем раскрытия створок реактивного сопла и снижения частоты вращения ротора турбокомпрессора высокого давления) вблизи границы "бедного" срыва горения.

Совместные работы ПМКБ, ЦИАМ и ЛИИ обеспечили безотказный ускоренный устойчивый выход двигателя на минимальные, частичные и полные форсированные режимы во всем эксплуатационном диапазоне полетных условий. Запуск форсажной камеры сгорания в процессе приемистости ранее достижения макси-



мального режима позволил получить устойчивые практически без возмущения параметров ускоренные (на 2 с) выходы двигателя с режимов малого газа на форсированные режимы.

При внедрении систем "огневая дорожка" на полноразмерных ТРДФ и ТРДДФ экспериментально, а также расчетно-теоретически исследовался комплекс сложных взаимосвязанных научно-технических проблем нестационарных гидрогазодинамических и термофизикохимических процессов, определивших:

- конструкцию самонастраивающегося агрегата дозирования и кратковременного впрыска топлива по определенным законам через гидравлически объединенные форсунки одновременно в основную камеру сгорания и за турбиной газогенераторного тракта;

- нестационарный отбор топлива от основного контура двигателя и оптимизированный его впрыск в высокотемпературные высокоскоростные газовые потоки (с давлением, различающимся более чем в 200 раз);

- газодинамику и термофизику проникновения, распада, движения и горения топливных струй в разнотемпературных газогенераторных потоках существенно различной плотности;

- характеристики воспламенения и горения топлива в газогенераторном потоке, проходящем турбину и затурбинный тракт;

- пространственное ориентирование газотопливного факела в основной камере сгорания, турбине и перед фронтальным устройством форсажной камеры сгорания с активизацией поджигающей способности;

- нестационарное тепловое воздействие "огневой дорожки" на элементы конструкции двигателя в зависимости от ее расходно-динамических характеристик и термодинамических параметров газогенераторного потока;

- минимальные воспламеняющие количества топлива "огневой дорожки" и требуемую длительность (с необходимой цикличностью) ее функционирования для всего диапазона термодинамических параметров в основной и форсажной камерах сгорания на установившихся и переходных режимах работы двигателей разных конструкций, размерности и поколений;

- характеристики переходного процесса выхода двигателей на заданные форсированные режимы работы с установившихся режимов и при приемистостях (с малого газа и встречных) в расширенной эксплуатационной области по скорости и высоте полета (с отрицательной температурной инверсией атмосферного воздуха);

- возможность быстрого восстановления форсированного режима в случае срыва горения в камере (в условиях возросшей скорости потока, без возвращения на бесфорсажный режим работы двигателя и повторения всей процедуры запуска);

- безотказный запуск форсажных камер сгорания многорежимных ТРДДФ с удовлетворением всем требованиям к быстродействию и динамическому качеству переходных форсированных режимов.

Стабильность характеристик системы "огневая дорожка" в ТРДДФ РД-33 проверена на установившихся и переходных режимах работы двигателя в диапазоне давления топлива на входе в агрегат 4033, превосходящем эксплуатационный и соответствующий условиям  $p_{\text{Тох}}^* = 250...11$  кПа. Воспламенение форсажного топлива четко фиксировалось двумя ионизационными датчиками ДПИ-1500-6П(Л) с последующим отключением подачи топлива от агрегата 4033 и снятием блокировки увеличения степени форсирования.

Воспламенение уменьшенных (вплоть до  $G_{\text{Тф воспл}} \sim 0,3G_{\text{Тмф}}$  при самовоспламенении) количеств форсажного топлива способствует плавному запуску форсажной камеры сгорания.

Работа "огневой дорожки" экспериментально (с учетом расчетных данных) исследовалась на различных ТРДФ и ТРДДФ нескольких поколений в эксплуатационном диапазоне изменения термодинамических параметров. Были выбраны необходимые для создания расходные и траекторные характеристики кратковременного по режимам проникновения топливных струй, впрыскиваемых через специально изготовленные форсунки. Определены места и направления дополнительной подачи топлива в основную камеру сгорания при давлениях газа  $p_{\text{к}} = (0,59...20) \cdot 10^2$  кПа и оптимизированного прохождения образующихся топливовоздушных факелов (взаимодействующих с элементами конструкции) проточных трактов турбин, диффузора, смесителя потоков (протяженностью в осевом направлении  $L = 940...1827$  мм). Расход дополнительного топлива в основную камеру сгорания составлял от 10 до 85 г/с.

Двадцатипятилетний опыт эксплуатации подтверждает: созданные системы типа "огневая дорожка" с достигнутой малой продолжительностью рабочего топливного импульса 0,1...0,3 с не могут влиять на ресурс теплоинерционной конструкции горячего проточного тракта двигателя.


В исследованных расширенных режимных термодинамических условиях безотказных запусков форсажных камер сгорания ТРДФ и ТРДДФ воспламеняющие относительные (к основному топливу) суммарные расходы топлива "огневой дорожки" (локально значительно превышающие минимальные расходы форсажного топлива) составляли  $G_{\text{од}}/G_{\text{то}} = 0,02...0,14$  (максимальные значения относятся к предельным высотным условиям; расход снижается при возрастании температуры газа в двигателе), а момент воспламенения находился в пределах  $\Delta t_{\text{од}} < 0,1$  с.

По удельной тепловой мощности, площади теплового потока и продолжительности топливного рабочего импульса система "огневая дорожка" в  $10^3$  раз превосходит электрические (и все другие) средства зажигания форсажного топлива.

Система "огневая дорожка" способна немедленно восстановить горение в камере в случае его срыва и произвести запуск форсажной камеры сгорания двигателя в условиях отказа электрической и электронной систем.

Комплекс проблем безотказного запуска форсажных камер сгорания и ускоренного устойчивого выхода (с совмещением форсажной приемистости с обычной приемистостью) на форсированные режимы работы решен для турбореактивных двигателей разных конструктивных схем (ТРДФ и ТРДДФ с одно-, двух- и четырехступенчатыми турбинами), разных поколений ( $T_r^* = 1240...1800$  К) и размерности ( $G_v = 44...182$  кг/с) в расширенных заданными тактико-техническими требованиями диапазонами высотно-скоростных условий.

Системы всережимного запуска "огневая дорожка" успешно реализованы в современных серийных российских ТРДДФ Д30-Ф6, РД-33 и АЛ-31Ф (и их модификациях) основных боевых самолетов МиГ-31, МиГ-29, МиГ-29К, Су-27, Су-30, Су-30МК, Су-34, Су-35 и Су-37.

Накопленный опыт и современные исследования показывают возможность и целесообразность непосредственного сжигания углеводородного топлива в межлопаточных каналах турбин ТРДФ и ТРДДФ для реализации оптимальных комбинированных рабочих циклов. 

**Экономия  
рабочего  
времени  
до 49%\***

**ИСКЛЮЧИТЕЛЬНО  
НИЗКИЙ УРОВЕНЬ  
ШУМА (менее 35дБА)**



## Исключительная производительность для высокопроизводительных вычислительных CAD систем

Графические станции ARBYTE® CADStation оптимизированы под приложения САПР ведущих производителей ПО: **UGS, Autodesk, Dassault Systemes, PTC, АСКОН.**

**CAD**  
оптимизировано

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

\*В сравнении с неспециализированными ПК аналогичной конфигурации. По методике, опубликованной в журнале "САПР и графика" №11 2004, №3 2005.

# ARBYTE®

Москва ARBYTE  
(095)- 725-8008  
www.arbyte.ru

Альметьевск	Белфорт (8553) 31-87-71	Минск	Белфорт (017) 234-20-54
Благовещенск	Сп Групп (4162) 37-22-22	Набережные Челны	Белфорт (8552) 39-65-25
Владимир	Электрон-сервис (0922) 33-60-01	Нижний Новгород	Онлайн (8312) 18-46-48
Волгоград	УОСВ (0442) 37-75-79	Новосибирск	Арбайт Компьютера Сибирь (3832) 12-57-79
Воронеж	Криста-Офис (0732) 71-84-75	Оренбург	Белфорт Коинкомпани (3532) 70-30-64
Екатеринбург	Дилем Компьютер (3432) 214-46-77	Орск	Контаят Плюс (3537) 25-05-98
Калуга	Пл 8 Плюс (0642) 56-48-88	Санкт-Петербург	Симета Плюс (812) 235-17-75
Казань	Стандарт (8432) 92-10-55	Смоленск	Коликомпани (0812) 55-50-39
Киров	ВИТ (8332) 61-04-10	Улан-Удэ	ИАЦ г. Улан-Удэ (3012) 43-62-25
Кострома	Стэл (0842) 84-15-35	Уфа	Белфорт (3472) 25-37-77
Курск	К95 (0712) 83-18-04	Чебоксары	Капар-Сервис (8552) 74-11-00
Липецк	Регард-Тур Электроникс (0742) 22-05-55		



# GLOBATEX AG:

## СТАНКИ ШВЕЙЦАРСКОЙ ФИРМЫ ROLLOMATIC SA ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ПЕРЕВООРУЖЕНИЯ И МОДЕРНИЗАЦИИ ПРЕДПРИЯТИЙ

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

Как было отмечено в наших статьях (журнал "Двигатель", № 1 - 4, 2006 г.) о станках фирм Roders, Zimmer & Kreim (Германия), Seibu Electric & Machinery Co., Ltd (Япония), Unisign (Голландия), Voumard и Dixi (Швейцария), компания Globatex AG, которая работает на рынке СНГ более 15 лет (прежнее название фирмы - Charmilles & Mikron Diffusion), делает упор на поставку новейших технологий на основе использования высокопроизводительных прецизионных станков зарубежных фирм.

Компания предлагает высокотехнологичные станки и оборудование европейских фирм и фирмы Японии:

- Roders (Германия) - прецизионные высокоскоростные фрезерные многоцелевые станки с CNC-управлением (до пяти одновременно управляемых осей) для выполнения операций фрезерования, сверления, координатного и контурного шлифования и др.;

- Unisign (Голландия) - высокопроизводительные трех-пятиосевые вертикально-фрезерные станки и фрезерные станки портального типа с CNC-управлением для обработки деталей средних и больших размеров (например, станки со столом длиной до 18 000 мм);

- Zimmer & Kreim (Германия) - высокопроизводительные прецизионные электроэрозионные копирующе-прошивочные станки с CNC-управлением;

- Seibu Electric & Machinery Co., Ltd (Япония) - прецизионные электроэрозионные проволочно-вырезные станки с CNC-управлением;

- Vumotec (Швейцария) - токарно-фрезерные многоосевые обрабатывающие центры для массового производства точной механики, приборов, медицинской техники и др.;

- Voumard (Швейцария) - шлифовальные центры для обработки наружных и внутренних цилиндрических, конических, плоских торцевых и др. поверхностей деталей, как правило, с одной их установкой;

- Dixi (Швейцария) - высокоточные горизонтальные многоцелевые станки с CNC-управлением для выполнения координатно-расточных, координатно-шлифовальных операций, фрезерования, сверления и др. операций;

- Rollomatic (Швейцария) - высокоточные шлифовальные и заточные станки с CNC-управлением для производства методом вышлифовки режущих инструментов, в том числе сверл, концевых фрез, бор-фрез, расточных резцов и т.п.

Компания Globatex AG предлагает станки различных моделей (более 100 моделей) с возможностью объединения некоторых из них в гибкие производственные системы с использованием предлагаемых компанией средств автоматизации процессов смены инструментов и деталей, их транспортировки и хранения.

Помимо станков указанных фирм компания Globatex AG также предлагает новое оборудование и некоторые системы программного обеспечения, которые призваны существенно повысить технический уровень производства различных предприятий:

- высокопроизводительное оборудование фирмы Ismeca Semiconductor (Швейцария) для автоматической сортировки, тестирования, маркировки и упаковки полупроводниковых приборов

для сборочного производства в электронной промышленности;

- автоматические линии фирмы Ismeca Automation (Швейцария) для сборки электротехнических изделий, бытовых приборов, медицинской техники и др.;

- установки фирмы Solidscape (США) для скоростного и точного изготовления моделей и опытных образцов деталей сложной формы (установки скоростного прототипирования);

- системы программного обеспечения контроля передачи файлов и управления их печатью, разработанные фирмой Will 2C (Франция).

Ниже приведены основные данные о специализированных инструментальных шлифовальных и заточных станках фирмы Rollomatic SA с CNC-управлением.

Фирма Rollomatic SA, основанная в 1953 г., первоначально специализировалась на производстве твердосплавных сверл и другого режущего инструмента для часовой промышленности.

С 1989 г. фирма сосредоточила свои усилия главным образом на выпуске специализированных станков с ЧПУ для производства и перезаточки режущих инструментов, в том числе сверл, концевых фрез, бор-фрез и т.п., а также пуансонов и заготовок инструментов. Фирма обеспечивает полное решение задач современного производства высококачественных режущих инструментов. Новый завод фирмы, введенный в действие в 2002 г., имеет производственные мощности для выпуска 400 станков с CNC-управлением в год. Производственный корпус завода соответствует лучшим мировым стандартам по эффективности и эксплуатационным характеристикам и отличается также экологичным воздушным охлаждением вместо обычного кондиционирования.

Фирма Rollomatic проявляет профессиональный подход к проектированию и производству высокотехнологичных шлифовальных центров с трех-восьмиосевым CNC-управлением. Кроме того, фирма выпускает одноцелевые станки, предназначенные для изготовления точных заготовок инструментов, станки для обработки канавок и затылованных поверхностей, станки для обработки вершин сверл, хвостовиков, а также околостаночное вспомогательное оборудование, в том числе устройства правки кругов и измерения их дисбаланса, концентричности инструментов.

Гамма выпускаемых фирмой станков непрерывно пересматривается и приспособляется к изменяющимся условиям рынка и требованиям потребителей, определяя рыночную стратегию развития. Самые последние технологические открытия были также приняты на вооружение благодаря тесному сотрудничеству с ведущими исследовательскими организациями, учреждениями и университетами.

За последние 15 лет фирма стала одним из наиболее успешных производителей инструментальных шлифовальных станков в мире. Такой статус был подтвержден выпуском первого в мире шлифовального центра с неизнашивающимися гидростатическими направляющими по всем шести координатам для шлифования профилированными кругами.

Фирма предлагает:

- разнообразное шлифовальное оборудование для производства и перезаточки инструментов;

- программное обеспечение для конструирования инструментов;
- измерительные устройства;
- устройства для правки шлифовальных кругов;
- выполнение проектов под ключ;
- обучение операторов;
- техническую поддержку.

Станки фирмы Rollomatic обладают следующими конструктивными и технологическими особенностями:

- сочетанием базирования хвостовика в призме с поддержкой инструмента;
- патентованной системой позиционирования инструмента с использованием лазера;
- патентованной системой круглого шлифования;
- возможностью шлифования цилиндрических деталей с отношением длины к диаметру, равным 400;
- возможностью шлифования режущего инструмента диаметром 0,05 мм, включая вышлифовку канавок;
- возможностью шлифования стержней диаметром 0,02 мм;
- наличием двухгодичной гарантии для станка без ограничения степени загрузки;
- наличием пакета шлифовальных и моделирующих программ, включенного в стоимость станка, с бесплатным обновлением программного обеспечения;
- патентованной системой измерения concentричности заготовок инструментов;
- наличием гидростатических направляющих по всем шести координатам станка для шлифования инструмента;
- наличием встроенного загрузочного робота.

Станки фирмы Rollomatic SA применяются в станкоинструментальной, авиакосмической, автомобильной и других отраслях промышленности для изготовления и перезаточки режущих инструментов.

В металлообрабатывающей промышленности с использованием станков фирмы Rollomatic SA организовано производство:

- концевых фрез с прямым торцом, сферических фрез, сверл, конических инструментов, ступенчатых инструментов, в т. ч. ступенчатых сверл, инструментов для аэрокосмического производства;
- высокоточных пуансонов;
- высокоточных (с прецизионной степенью concentричности и узким диапазоном допусков) заготовок для изготовления инструментов.

В медицинской промышленности станки фирмы Rollomatic SA применяют для изготовления медицинских и зубоврачебных специальных инструментов (программное обеспечение, разработанное фирмой, создано с учетом особенностей и специфики медицинского инструмента, в т. ч. бор-фрез, зубоврачебного инструмента и др.)

В электронной промышленности на станках фирмы Rollomatic SA производят высококачественные сверла и концевые фрезы для изготовления печатных плат.

В деревообрабатывающей промышленности с использованием указанных станков организовано производство высокостойких режущих инструментов.

Станки серии **Microgrind 2000X** предназначены для производства микросверл диаметром от 0,05 до 1,6 мм (мод. **MicroGrind 2000XD**), специальных микрофрез Router диаметром от 0,4 до 3,175 мм (мод. **MicroGrind 2000XR**) и концевых микрофрез диаметром от 0,4 до 3,175 мм (мод. **MicroGrind 2000XE**). Система CNC-управления станков серии **Microgrind 2000X** способна управлять устройствами с восемью осями (в том числе шесть осей



Рис. 1. Станки фирмы Rollomatic

станка и две оси робота) и одновременно осуществлять интерполирование по трем CNC-управляемым осям. Форма абразивных кругов может быть рассчитана с помощью программного обеспечения фирмы FluteCalc, которое гарантирует точную геометрию инструмента и точность установки.

Станки этой серии поставляются с встроенными роботами для загрузки, поворотными планшайбами с паллетами для перемещения деталей от одной позиции к другой. При этом обработка осуществляется на всех позициях одновременно. Станки предназначены для крупносерийного производства и отличаются быстротой и простотой наладки и программирования.

Высокоточный станок мод. **CNC24F3** с трехосевым управлением и двухосевым загрузочным роботом предназначен для шлифования канавок, спинок и задних поверхностей концевых фрез, сверл, разверток, специальных фрез типа Router и других специальных режущих инструментов из твердых сплавов, быстрорежущих сталей и других аналогичных материалов диаметром от 0,05 до 6,35 мм.

Станок мод. **CNC100F3** предназначен для обработки режущего инструмента диаметром от 0,3 до 12,7 мм.

Круглошлифовальный четырехосевый станок мод. **CNC148P4** обеспечивает высокую concentричность сложных по форме инструментов, обрабатываемых за одну установку. Отличительной особенностью станка является возможность одновременной черновой и чистовой обработки (патент фирмы) на нем, позволяющей исключить поочередно выполняемые операции и уменьшить время цикла обработки. Станок оснащен двумя шлифовальными кругами, установленными на отдельных шпинделях, положение которых на соответствующих суппортах в процессе обработки определяется системой CNC-управления. Станок предназначен для обработки режущего инструмента диаметром от 0,025 до 12,7 мм, в том числе пуансонов, сверл, конических инструментов, многоступенчатых инструментов, концевых фрез с прямым и сферическим торцом.

Станок мод. **CNC148F3** предназначен для обработки режущего инструмента диаметром от 0,3 до 12,7 мм, изготовленного из твердых сплавов, быстрорежущих сталей и других аналогичных материалов.

Станок мод. **GrindSmart 620XS** - автоматический шестиосевой высокоточный шлифовальный станок с CNC-управлением и встроенным роботом для загрузки/разгрузки. Он предназначен для производства высококачественного режущего инструмента диаметром от 0,1 до 16 мм с одной установки.

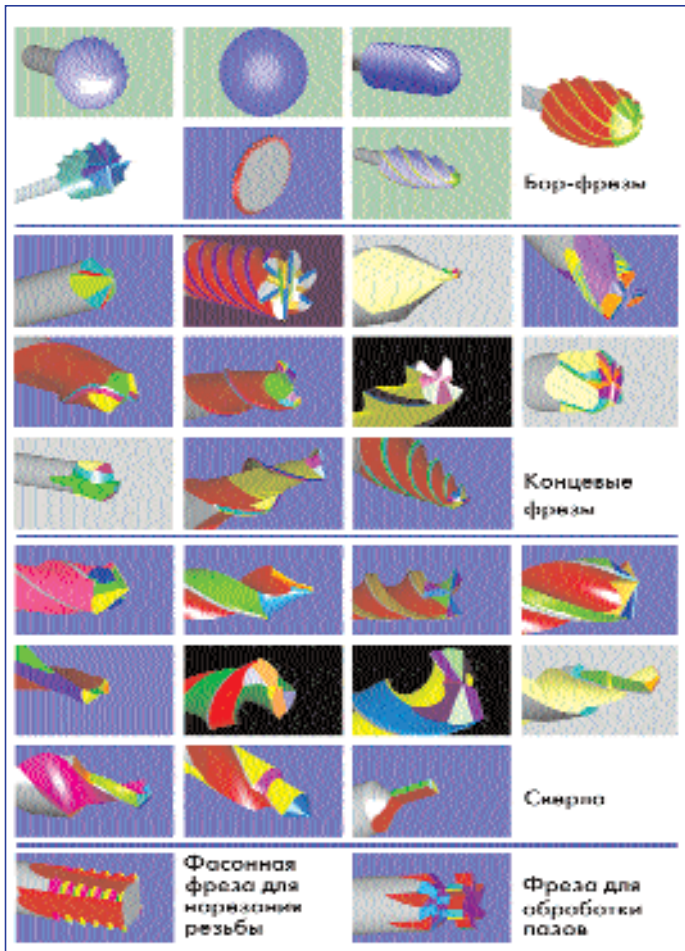


Рис. 6. Примеры режущих инструментов, изготовленных на станках Rollomatic

Материал	Быстрорежущая сталь
Диаметр хвостовика	1,5 мм
Диаметр метчика	0,3 мм
Программирование	С использованием ISOEasy module
Форма круга	Стандартная, 60° V-тип
Время обработки	4 мин с учетом времени загрузки/разгрузки

Шлифовка задней поверхности каждого профиля и обратного конуса. Использование встроенного блока автоматической правки круга. Все операции с одной установки



Рис. 7

Материал	Быстрорежущая сталь или твердый сплав
Диаметр хвостовика	От 1 до 12,7 мм
Длина заготовки	От 10 до 150 мм
Программирование	С использованием ПО P4Smart
Время загрузки/разгрузки	15 с
Достижимый допуск на биение	Менее 1 мкм

Одновременная черновая и чистовая обработка. Все операции с одной установки



Рис. 8

Современное программное обеспечение станка создает интерфейс для конфигурирования, управления и поддержки операций на станке, а также обеспечивает возможность программирования использования инструментов многочисленных типов при выполнении базовых операций шлифования, таких как шлифование стружечных канавок, затылования (для образования задних углов резания), скругления углов по радиусу, шлифования фасок, выступов и впадин и т. д.

Станок мод. **GrindSmart 6000XL** - первый в мире инструментальный шестиосевой станок с гидростатическими направляющими по всем осям, со встроенным быстродействующим роботом и системой правки кругов. Он предназначен для изготовления инструментов диаметром от 3 мм до 32 мм.

Станок мод. **CNC 235NM** используется для вышлифовки канавок, выемок, плоских граней на хвостовиках медицинских инструментов, предназначенных для их быстрой установки в соответствующих устройствах, а также для обработки торцов инструментов, обработки фасок, отрезки и т.п. операций. Максимальный диаметр обрабатываемых хвостовиков - 3,175 мм, максимальный диаметр инструмента - 10 мм.

Станок мод. **PRG** предназначен для изготовления точных заготовок концевых фрез, сверл, борфрез и пуансонов. Диапазон шлифуемых диаметров от 0,3 до 3,65 мм, диаметров хвостовиков - от 1,0 до 6,35 мм. Размер заготовок по длине - от 30 до 60 мм.

Для обеспечения работы станков указанных моделей они оснащаются вспомогательным оборудованием, в том числе:

- устройством тип **FRP200** (рис. 2) для правки алмазных кругов и шлифовальных кругов из кубического нитрида бора диаметром до 200 мм;
- измерительными устройствами типа **Concentricity Pro** и **LS-Smart** (рис. 3) для контроля concentricity инструментов и других их параметров с использованием лазера;
- устройством тип **MPM** (рис. 4) для балансировки шлифовальных кругов.

На рис. 5 показана оправка станка модели **620XS** с 4 кругами для изготовления сверл.

На рис. 6 приведены примеры режущих инструментов, изготавливаемых на станках фирмы Rollomatic.

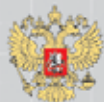
В качестве примера на рис. 7 показана фотография микрометчика с данными по его изготовлению на станке мод. **GrindSmart 620XS**, а на рис. 8 - фотография и данные по обработке пуансонов и заготовок инструментов на станке мод. **CNC148P4**.

Специалисты фирмы Globatex AG готовы ответить на вопросы о приобретении предлагаемых станков, условиях их поставки, монтажа и пуска в эксплуатацию. □

**Представительство фирмы Globatex AG в России:**  
**129223, Москва, пр. Мира, д. 119, стр. 69.**  
**Тел.: (+7-495) 739-0375, 739-0376.**  
**Факс: (+7-495) 232-3625.**  
**www.globatex.ru**



ФОРУМ ОРГАНИЗУЕТСЯ ПРИ ПОДДЕРЖКЕ



Правительства  
Российской Федерации



Правительства  
Москвы

ВЫСОКИЕ ТЕХНОЛОГИИ  
МЕНЯЮТ МИР

BT XXI  
2007

23-26 апреля 2007 г.

Москва,  
ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»

[www.VT21.ru](http://www.VT21.ru)



МОСКВА 2007

VIII Международный форум  
**ВЫСОКИЕ  
ТЕХНОЛОГИИ**  
HIGH  
TECHNOLOGY OF **XXI**  
**ВЕКА**

**МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА «ВТ XXI-2007»**

**Специализированные салоны:**

- «Нанотехнологии»
- «Технопарк»
- «Hi-Tech-Наука»
- «Криогенные технологии»
- «Hi-Tech-Медицина»
- «Высокотехнологичные  
товары народного потребления»
- «IT-технологии»
- «Композиционные материалы и сплавы»
- «Наукоград»

**Специализированные выставки:**

- 2-я Международная выставка «Океан-2007»
- 1-я Международная выставка  
«Сертификация и технические регламенты-2007»
- 1-я Международная выставка «Энергия-2007»

**ДЕЛОВАЯ ПРОГРАММА:**

- Международная конференция
- Конкурсная программа
- Бизнес-клуб
- Презентации

**Организаторы:**

Министерство промышленности и энергетики РФ  
Департамент науки и промышленной политики города Москвы  
ЗАО «Экспоцентр»

По вопросу участия в мероприятиях Форума обращайтесь:  
ООО «ЭКСПО-ЭКОС»

117209, Москва, ул. Зюзинская, д. 6, корп. 2

Тел.: (495) 332-3595, 331-0501, 331-2333. Факс: (495) 331-0511, 331-0900

E-mail: [vt21@vt21.ru](mailto:vt21@vt21.ru); [arena@vt21.ru](mailto:arena@vt21.ru). <http://www.vt21.ru>; [www.expococos.com](http://www.expococos.com)



# ПЕРВЫЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ САМОЛЕТЫ С ТУРБОРЕАКТИВНЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ

Александр Николаев

## Хроника несостоявшегося отечественного первенца

Прообразом первого отечественного авиационного газотурбинного двигателя можно считать экспериментальную установку ГТУ-1, созданную в лаборатории № 1 Теплотехнического института им. Ф.Э. Дзержинского в 1934 г. По схеме она напоминала первые ПТ англичанина Ф. Уиттла и немца Г. фон Охайна и состояла из одноступенчатого центробежного компрессора, камеры сгорания и одноступенчатой осевой турбины. Важнейшим отличием ГТУ-1 являлось примененное его разработчиками водяное охлаждение лопаток и диска турбины, а также ее корпуса. Такое решение, с одной стороны, позволило создать работоспособную конструкцию, но, с другой стороны, было неприемлемым для авиационного двигателя: ведь пришлось бы помимо топлива брать на борт самолета еще и солидный запас воды. В дальнейшем группа разработчиков под руководством В.В. Уварова спроектировала более совершенную установку ГТУ-3 (с трехступенчатым осевым компрессором), предназначавшуюся для тяжелого самолета. Однако изготовление авиационной газовой турбины поручили... коломенскому паровозостроительному заводу. Для постройки трех экземпляров потребовалось три года, а что это были за годы - 1937 - 1939-й... В 1940 г. коллектив разработчиков был переведен в ЦИАМ, где организовали доводку и испытания одного из экземпляров ГТУ-3. К началу Великой Отечественной войны конструкция установки основательно устарела, стала очевидной необходимость проектирования нового, еще более совершенного двигателя. Об испытаниях ГТУ-3 на самолете вопрос не поднимался.

Хронологически следующая попытка создания в нашей стране авиационного ГТД была предпринята группой А.М. Люлька. В 1937 г. молодые инженеры из Харьковского авиационного института разработали эскизный проект "ракетного турбореактивного двигателя РТД-1". Схема РТД-1 предусматривала использование двухступенчатого центробежного компрессора, кольцевой камеры сгорания и одноступенчатой турбины. В дипломном проекте одного из студентов ХАИ был исследован вопрос о рациональном размещении турбореактивного двигателя на самолете. В дальнейшем материалы разработок были оформлены в виде изобретений и направлены для рассмотрения в соответствующий орган - Отдел изобретений наркомата оборонной промышленности. Не располагая специалистами в этой области, Отдел обратился за рецензией к В.В. Уварову и тот дал положительный отзыв. Но свидетельство об изобретении было недостаточно. Для реализации идеи следовало подключить "силы мира сего", и в 1938 г. А.М. Люлька отправился на прием к на-

чальнику Главного управления авиапромышленности (ГУАП - ведь наркомата авиапрома еще не существовало) М.М. Кагановичу, брату известного Лазаря Михайловича (члена Политбюро и ЦК ВКП(б), наркома путей сообщения).

Тот принял просителя поздно вечером, что не помешало тут же организовать совещание руководства ГУАП. Обсуждалась возможность создания для группы А.М. Люлька условий для скорейшего полномасштабного проектирования и постройки отечественного авиационного газотурбинного двигателя. Начальник главка принял решение перевести группу из ХАИ в Ленинград на Кировский завод, где до этого предпринималась попытка создания авиационной паровой турбины ПТ-2.

По воспоминаниям Е.В. Комарова, одного из участников разработки паровой турбины, "к осени 1938 г. углубленная разработка техпроекта ПТ-2 показала ее бесперспективность для авиации". Вместо этой темы СКБ-1 Кировского завода поручили спроектировать и построить авиационный ПТД (СКБ-2 под руководством Ж.Я. Котина занималось созданием тяжелых танков, а СКБ главного конструктора В.М. Яковлева - доводкой и внедрением в производство авиационного дизеля М-40). В конце года из Харькова в Ленинград перебрался А.М. Люлька, а с ним и ближайшие сотрудники: Козлов, Тарасов, Бутырский, Гиндес и Лозино-Лозинский.

А.М. Люлька, видимо, рассчитывал, что на Кировском заводе ему будут немедленно созданы соответствующие условия для работы, но он ошибся. Средства не выделялись, работников не хватало, в конце марта 1939 г. ему вновь пришлось обратиться к высшему руководству страны, на этот раз к В.М. Молотову - в то время председателю Комитета Оборона при СНК СССР. Лишь к концу 1939 г. удалось преодолеть "финансовый" барьер, а летом 1940 г. состоялась защита проекта турбореактивного двигателя РД-1 на коллегии наркомата авиапромышленности. Создание экспериментального РД-1 с шестиступенчатым компрессором, кольцевой камерой сгорания и одноступенчатой турбиной было начато осенью 1940 г.

Следует, однако, отметить, что разработка авиационных моторов была далеко не самой главной задачей Кировского завода. Да и в рамках указанной специализации приоритет на предприятии отдавался не турбореактивному двигателю, а дизелю М-40, который предназначался для тяжелого бомбардировщика ТБ-7 и рекордного самолета БОК-15. На последнем намечали осуществить беспосадочный перелет "вокруг шарика", хотя актуальность этой задачи заметно уменьшилась в связи с началом Второй мировой войны. И все же М-40 был запущен в серию, его освоением активно интересовались высшие руководители наркомата авиапромышленности, военные и даже сам И.В. Сталин. Однако понимания важности создания авиационного газотурбинного двигателя в нашей стране не было, он рассматривался как нечто диковинное, принадлежащее далекому будущему. Между тем до появления на вооружении ВВС Германии и Великобритании первых самолетов с ПТД оставалось всего два-три года.

Спустя двадцать дней после начала войны с Германией заместитель наркома авиапрома В.П. Кузнецов распорядился прекратить

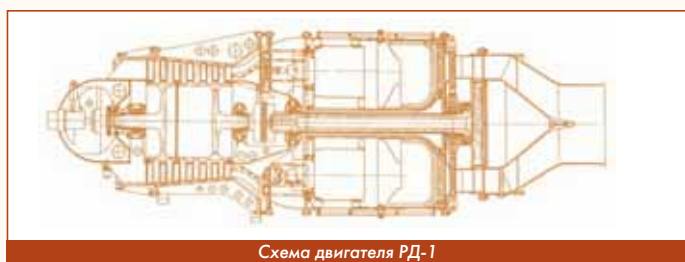


Схема двигателя РД-1



разработку РД-1, а сотрудникам А.М. Люльки были поставлены новые задачи, не связанные с "реактивной" тематикой. В августе 1941 г. началась эвакуация Кировского завода на Урал. Перед тем как покинуть Ленинград, Люлька распорядился закопать на территории предприятия изготовленные компоненты РД-1 вместе с документацией. В эвакуации самому Архипу Михайловичу и его ближайшим помощникам пришлось первое время заниматься проблемами танковых моторов. Но сам Люлька был глубоко убежден в важности скорейшей разработки ГТД, он постоянно искал способы вернуться к своим прежним занятиям. Пришлось выходить на командование ВВС КА, раз уж в собственном наркомате понимания найти не удалось. Весной 1942 г. руководство ВВС КА поставило перед наркоматом авиационной промышленности вопрос о возобновлении работ по ТРД. В своем обращении к А.И. Шахурину генерал-полковник авиации П.Ф. Жигарев писал: "... До 15 июля 1941 года специальным конструкторским бюро (СКВ-1) Кировского завода в Ленинграде проектировался и строился газотурбинный реактивный двигатель инженера Люльки.

*Состояние работ по созданию ВРД инженера Люльки к 15.07.41 г. было следующим.*

1. Стендовый образец газотурбинного реактивного двигателя (РД-1) мощностью 1000 л.с. изготовлен на 70 %.

2. Рабочий проект модернизированного РД-1 (МРД-1) мощностью 1000 л.с., предназначенного для летных испытаний, полностью закончен и был запущен в производство. Выполнено 20 % всего объема работ по этому проекту.

3. Полностью закончен анализ схемы и дан эскизный проект газотурбинного реактивного двигателя РД-2 мощностью 2500 л.с.

После прекращения работ по созданию РД весь инженерно-технический состав СКВ-1 был передан в СКВ-2 Кировского завода, которое в настоящее время находится в Челябинске на ЧТЗ.

Изготовленные детали реактивных двигателей РД-1 и МРД-1, агрегаты установки, лабораторное оборудование и рабочие чертежи остались в Ленинграде на Кировском заводе.

*Учитывая важность работ по окончанию строительства и доводки реактивного двигателя инженера Люльки, а также необходимость быстрой внедрения подобных реактивных двигателей в авиацию, прошу включить эту работу в тематику работ завода 293, а группу инженера Люльки передать заводу и использовать ее для окончания этой работы".*

В начале июля 1942 г. группа А.М. Люльки была переведена на завод № 293 в ОКБ В.Ф. Болховитинова. Но производственная база завода, ориентированная на создание опытных самолетов, не могла обеспечить изготовление ряда специфических узлов и агрегатов ГТД, в результате чего создание двигателя А.М. Люльки снова практически остановилось. Последовавший в 1943 г. перевод группы в ЦИАМ также не ускорил темпов работ. Лишь информация о том, что в Германии производятся испытания нескольких типов реактивных самолетов, а в Англии в серию передан двухдвигательный "Метеор" фирмы "Глостер" заставило высшее руководство отрасли изменить отношение к проблеме создания отечественного ГТД. Впрочем, и это внимание оказалось по большому счету формально-бюрократическим, не соответствующим реальной важности поставленной задачи.

По решению ГКО СССР от 18 февраля 1944 г. в составе НКАП СССР был создан специализированный НИИ-1, объединивший все конструкторские коллективы, работавшие над реактивными двигателями. 22 мая 1944 г. вышло постановление правительства "О создании авиационных реактивных двигателей", один из пунктов которого предписывал начальнику НИИ-1 П.И. Федорову и конструктору А.М. Люлье построить экспериментальный газотурбинный ВРД со статической тягой 1250 кгс и предъявить его на заводские испытания к 1 марта 1945 г.

Следует подчеркнуть: даже в этот период времени относительно небольшие силы и средства, выделенные на реактивную тематику, были использованы нерационально. Много внимания уделялось бесперспективным для авиации мотокомпрессорным установкам, попыткам создания разного рода авиационных ЖРД,



А.М. Люлька с группой сотрудников (конец 40-х годов)

"прямоточек" и т.п. - и все это в ущерб наиболее важной, как выяснилось вскоре, задаче разработки газотурбинного двигателя. Представляется, что именно недалекость высшего руководства страны (авиацию попеременно курировали Молотов и Маленков), должностных лиц наркомавиапрома и командования ВВС КА привела к серьезному отставанию нашей авиации от уровня передовых стран в середине сороковых годов. Таким образом, И.В. Сталин в 1946 г. имел все основания для недовольства наркомом А.И. Шахуриним, командующим ВВС А.А. Новиковым и главным инженером ВВС А.П. Репиным. Однако гнев Иосифа Виссарионовича, как это часто случалось, принял гипертрофированные размеры, и все трое оказались за решеткой. Впрочем, впоследствии Новиков гваривал: "Спасибо, что не расстреляли..."

Но вернемся в 1944 г. Так как в НИИ-1 производственной базы для создания ТРД не было, решением правительства на небольшом московском механическом заводе штампов и приспособлений № 165 развернули опытно-конструкторскую базу по изготовлению реактивных двигателей. В начале 1945 г. на этом предприятии был изготовлен первый экземпляр экспериментального ТРД С-18, спроектированного группой А.М. Люльки.

В мае 1944 г. постановлением ГКО № 5946 конструкторскому коллективу, возглавляемому С.А. Лавочкиным, была официально задана разработка первого в нашей стране самолета с турбореактивным двигателем. Ведущим конструктором по теме был С.М. Алексеев, спроектировавший двухбалочную машину с двигателем тягой 1250 кгс в хвостовой части фюзеляжа, трехопорным шасси с носовой стойкой и даже с герметичной кабиной. По расчетам максимальная скорость полета должна была достигать 890 км/ч у земли, а практический потолок - составить 15 000 м. Это была мечта, так и оставшаяся нереализованной из-за отсутствия пригодного для полетов двигателя.

Весной 1945 г. в руки отечественных авиационных специалистов попали сначала отдельные узлы и агрегаты поврежденных германских "газотурбинников", а затем и исправные двигатели в сборе. По ревнивым оценкам люльковцев, эти ТРД были "недоведенными", обладавшими множеством дефектов и пр. Но они выпускались серийно, и с их помощью в небо поднимались боевые самолеты. А.М. Люлька вместе со своим коллективом (и, безусловно, не по своей вине) потерял много времени. Война своими железными законами, требовавшими увеличения выпуска серийной продукции именно сегодня, а не в отдаленной перспективе, отбросила его назад и поставила в положение догоняющего. Пригодный для полетов С-18 летом 1945 г. был таким же "журавлем в небе", как РД-1 весной 1941 г.

### Реактивные самолеты ОКБ А.С. Яковлева

В годы Великой Отечественной войны яковлевское ОКБ приняло несколько попыток оснастить свои истребители реактивными двигателями различного типа. Летом 1942 г. был разработан проект истребителя Як-7Р с двумя прямоточными воздушно-реактивными двигателями (ПВРД) ДМ-4С конструкции И.А. Меркулова и одним ЖРД Д-1А конструкции Л.С. Душкина. Несмотря на название,

заимствованное у серийной машины (за исключением буквы модификации) внешне самолет значительно отличался от обычного Як-7: кабина переместилась в носовую часть самолета, ЖРД смонтировали в хвосте, а ПВРД - под крылом. Только крыло вместе с основными стойками шасси и четырьмя бензобаками, да еще горизонтальное оперение были полностью заимствованы у обычной "семерки".

ПВРД внешне выглядели как пустотелые цилиндры с расположенной внутри системой форсунок (масса каждого двигателя не превышала 24 кг). Конструкция "прямоточника" была простой и могла быть легко освоена в производстве. Двигатели прошли предварительные испытания на самолетах И-15 и И-153, выполнивших 60 полетов. С работающими ПВРД удавалось получить прирост скорости от 20 до 42 км/ч, но зато выключенные двигатели серьезно увеличивали лобовое сопротивление и уменьшали скорость полета. Кроме того, для работающего ПВРД был характерен существенный расход топлива - до 20 кг/мин. Известно также, что "прямоточники" крайне не любили скосов потока, т.е. откладывались нормально работать при выполнении виражей, резком изменении угла наклона траектории и т. п. А что это за истребитель, который не может маневрировать?

В весьма "сыром" состоянии находился и душкинский Д-1А (тяга 1100 кгс). Как известно, топливом для этого ЖРД служили керосин и крайне агрессивная азотная кислота. 15 мая 1942 г. в воздух впервые поднялся самолет БИ конструкторов А.И. Исаева и А.Я. Березняка с таким двигателем. Незадолго до этого летчик Г.Я. Бахчиванджи едва не погиб в результате взрыва Д-1А, а ведущий конструктор А.Я. Палло получил обширный ожог лица кислотой. Работающий ЖРД создавал сильную вибрацию, из-за которой постоянно возникали подтекания кислоты, а в условиях полета добавлялись микродеформации баков и трубопроводов из-за аэродинамических нагрузок. Конструкторы бились над устранением дефектов, но радикально повысить надежность работы двигателя и исключить чрезвычайные ситуации они в то время не смогли. Между тем ситуация на фронте складывалась грозная и не способствовавшая проведению экспериментов. В общем, проект Як-7Р так и остался на бумаге.

Идею реанимировали только в 1944 г. в связи с появлением на фронте немецких реактивных истребителей с очень высокой скоростью полета (свыше 800 км/ч). Чтобы догнать вражескую машину требовалось хотя бы на короткое время, измеряемое минутами, быстро разогнать перехватчик. В начале 1944 г. прямоточные двигатели Д-4МС стали значительно надежнее, они не требовали размещения на самолете агрессивной азотной кислоты, поэтому первоначально ставка была сделана на них. Для установки двух двигателей под крылом выделили серийный самолет Як-7Б. Первый полет на этой машине с включением "прямоточников" выполнил 15 мая 1944 г. ведущий летчик С.Н. Анохин.

Испытания показали, что максимальная скорость полета Як-7Б с неработающими двигателями Д-4МС у земли составила 460 км/ч, в то время как без подвешенных под крылом ПВРД она достигала 494 км/ч. С работающими Д-4МС скорость машины у земли возрастала до 513 км/ч, то есть всего на 19 км/ч больше по сравнению с "нормальным" Як-7Б. С увеличением высоты выигрыш в скорости должен был заметно возрасти. Кроме того, конструктор двигателей Меркулов предлагал повысить расход топлива до 30 кг/мин, тогда на расчетной высоте 6000...7000 м самолет имел бы максимальную скорость порядка 635...640 км/ч. Напомним однако, что в указанный период времени у серийного Як-3 с поршневым двигателем ВК-105ПФ2 максимальная скорость на высоте 4100 м составляла 646 км/ч... Таким образом, меркуловские ПВРД не давали

особых преимуществ истребителю с подобной комбинированной силовой установкой.

Понимание этого факта пришло в конце лета - начале осени 1944 г., и яковлевское ОКБ занялось созданием истребителя иной схемы - с основным поршневым мотором и дополнительным разгонным ЖРД. На этот раз был взят жидкостный реактивный двигатель РД-1 конструкции В.П. Глушко (его тяга составляла 300 кгс), а в качестве основы - легкий истребитель Як-3. Машина, законченная в производстве в декабре 1944 г., получила обозначение Як-ЗРД. Переработке подверглась не только хвостовая часть самолета, в которой смонтировали РД-1. Пришлось уменьшить емкость бензобаков (до 200 кг вместо имевшихся 300), перенести маслорадиатор под фюзеляж в общий туннель с водорадиатором. Вооружение состояло из одной пушки НС-23, стрелявшей сквозь полый вал редуктора двигателя. Запас керосина (50 кг) и азотной кислоты (200 кг) в крыльевых баках был достаточен для трехминутного полета на режиме максимальной тяги. Взлетная масса машины возросла более чем на 300 кг по сравнению с серийным Як-3.

Евгений Георгиевич Адлер, ведущий конструктор яковлевского ОКБ по Як-ЗРД, по его воспоминаниям весьма скептически относился к перспективам использования ЖРД на пилотируемом самолете. Он прекрасно знал о том, что в марте 1943 г. на самолете БИ с ЖРД погиб летчик-испытатель Г.Я. Бахчиванджи, а также об авариях двигателей этого типа, случившихся на самолетах ОКБ Лавочкина, Мишичева и Сухого. Адлер знал, что механики яковлевского ОКБ не раз страдали из-за ожогов, вызванных попаданием окислителя на кожу. Двигателисты не располагали достаточно надежными критериями для оценки качества функционирования двигателя: даже сам Глушко оперировал терминами "тощий" и "нормальный" факел. Что это значило - "самолетчики" не понимали. После нескольких весьма опасных полетов, которые выполнил летчик-испытатель В.Л. Расторгуев и в которых была достигнута максимальная скорость 782 км/ч на высоте 7800 м, Адлер заявил А.С. Яковлеву: *"Александр Сергеевич, это безумие - летать на двигателях, подобных этому, да и зачем? Только затем, чтобы нащупать более выгодную высоту и прибавить еще несколько километров скорости к уже достигнутым?"* Помимо опасностей, поджидавших испытателей, становилось все более очевидной другая особенность: чрезвычайно прожорливый ЖРД резко ограничивал продолжительность полета на режиме максимальной скорости, поэтому он мог применяться лишь на перехватчиках с очень малой дальностью (т.е. на ракетах-перехватчиках, которые летят только "туда").

Указанный разговор состоялся в мае 1945 г., после окончания войны с Германией, когда желание получить "эрзац - реактивный истребитель" отступило - становилось все более очевидным, что настоящий успех могло принести только создание самолета с турбореактивным двигателем. Через несколько дней ЧП едва не произошло и с Як-ЗРД - при повторной попытке запуска ЖРД в воздухе 14 мая он взорвался, разрушил часть хвостового оперения и едва не погубил Расторгуева. Яковлев нехотя согласился с мнением Адлера о нецелесообразности продолжения его испытаний и поставил новую задачу: ознакомиться с трофейными ТРД в Центральном институте авиационного моторостроения.

Интерес к Як-ЗРД снова возник в августе 1945 г. накануне проведения традиционного воздушного парада в Тушино. Наркомату нужно было продемонстрировать очередные достижения авиапрома, особенно в части внедрения реактивной техники. На самолете заменили двигатель (вместо РД-1 с электрическим зажиганием смонтировали его вариант РД-1ХЗ с зажиганием химическим) и устранили отмеченные ранее дефекты. Первый полет 14 августа прошел нормально, в ходе второго, выполненного 15 августа, воз-



Е.Г. Адлер



Л.М. Шехтер

никли неполадки в системе топливоподачи. Кабина самолета наполнилась парами бензина, и Расторгуев чудом сумел посадить самолет. 16 августа в ходе генеральной репетиции Як-ЗРД взлетел с работающим ЖРД, свечкой набрал высоту 2500 м и перешел в горизонтальный полет. Его скорость не была чрезмерной, керосин закончился и полет продолжался с работающим поршневым мотором. Далее произошло нечто непонятное. Машина стала плавно увеличивать угол пикирования и столкнулась с землей под углом 45...50°. Причину катастрофы установить не удалось, однако известно, что ни взрыва, ни пожара на борту самолета не было. Летчик Расторгуев, шутивший - "на этой машине летать - что тигрицу целовать: и страшно, и никакого удовольствия", в последние секунды своей жизни не проронил ни слова.

В своих мемуарах Е.Г. Адлер утверждает, что еще в начале лета 1945 г. он обсуждал с Расторгуевым возможность переделки Як-З в реактивный истребитель путем замены штатного двигателя ВК-105ПФ2 трофейным турбореактивным двигателем Jumo004. На летчика эта идея особого впечатления не произвела, а вот ведущий компоновщик яковлевского КБ Л.М. Шехтер воспринял ее на "ура". В самом деле: масса Jumo004 ненамного превосходила массу штатного поршневого двигателя, зато с машины снималась система водяного охлаждения. На первом этапе, стараясь менять конструкцию самолета по минимуму, Адлер и Шехтер разместили немецкий ТРД на удлиненной раме. В результате получился непропорционально длинный нос, ухудшавший обзор и смещавший центровку вперед. А.С. Яковлев, посмотрев на эскиз, спросил: "А нельзя ли двигатель задвинуть подальше назад?" Шехтер пояснил, что тогда придется изгибать передний лонжерон вокруг корпуса двигателя. Александр Сергеевич, над которым больше не висела "серия" - проклятье периода войны, легко принял решение: "Ну и изогните его. А задний оставьте без изменений. Тогда нос можно будет укоротить миллиметров на семьсот". Так родился облик первого в нашей стране реактивного истребителя с "реданной" схемой размещения ТРД в носовой части самолета...

Так - да не так! Еще в 1943 г. один из соавторов ЛаГГ-З - конструктор М.И. Гудков предложил проект истребителя Гу-ВРД с двигателем конструкции А.М. Люлька, и в этом проекте схема также была "реданной". Правда, этот проект не был реализован; правда и то, что конструктор явно находился под влиянием стереотипов и постарался сделать истребитель остроносый, как это было тогда принято, а подачу воздуха к ТРД он собирался осуществлять через окна, но, в общем, расположение силовой установки у Гу-ВРД было точно таким же, как у Як-ЮМО. Такое обозначение получила предложенная Адлером и Шехтером машина после внесения изменений в соответствии с мнением Яковлева, а также после одобрения эскизного проекта в наркомате авиапромышленности.

Как уже отмечалось, крыло Як-ЮМО практически без изменений заимствовало у серийного Як-З производства тбилисского завода, а профиль этого крыла, как и у всех "яков"-истребителей с поршневыми моторами, был нескоростным, оптимизированным для полетов со скоростью 500...600 км/ч. В связи с этим, а также из-за заметно увеличенного "лба" фюзеляжа максимальная скорость машины по расчетам лишь немного превышала 800 км/ч. Впрочем, и этого было больше, чем достаточно. Дело было за немногим - где взять двигатели?

В тот период времени многочисленные комиссии зачастили в поверженную Германию. Никто не подвергал сомнениям справедливость разного рода реквизиций - на войне это право победителя, к тому же речь шла о ненавистной фашистской Германии, стране, принесшей так много горя советским людям. Реквизировались целые заводы, вывозилось станочное оборудование, образцы техники, приборы, испытательные стенды, а в отдельных случаях переброске в Союз подвергались некоторые немецкие специалисты, которым, впрочем, в качестве компенсации предлагали солидные оклады и весьма приличные условия жизни в СССР. А.С. Яковлев отправил в Германию ведущего конструктора Е.Г. Адлера с задачей: раздобыть несколько пригодных для полетов экземпляров двигателя Jumo 004В. Тот, вооружившись грозными полномочиями наркомата авиапромы-



Истребитель Як-ЮМО (в серии Як-15)

шленности, слетал в городок с характерным наименованием Адлерсхоф (бывший авиационный завод DVL, аналог наших ЦАГИ и ЛИИ в одном лице), но прибыл к шапочному разбору - все пригодные образцы германских ГТД были уже отправлены в Советский Союз. Интересно, зачем было предпринято это турне, ведь Яковлев был не только конструктором, но одновременно и заместителем наркома авиапрома по опытному строительству и наверняка должен был иметь полную информацию обо всех трофеях, доставленных в Москву.

Как бы то ни было, к концу лета несколько так необходимых турбореактивных двигателей было предоставлено в распоряжение ОКБ-115. Осенью 1945 г. постройка Як-ЮМО завершилась, самолет выкатили на заводской двор, чтобы опробовать двигатель. Результат превзошел все ожидания. В мгновение ока прогорела нижняя обшивка фюзеляжа, загорелась резина хвостового колеса. Данные о поле температур в реактивной струе, предоставленные ЦИАМ, оказались сильно заниженными. Пришлось срочно дорабатывать машину: защитить нижнюю обшивку стальным экраном, обеспечить продувку воздуха в пространстве между ним и нижней обшивкой, а также заменить хвостовое колесо стальным роликом, страшно гремевшим и высекавшим искры из бетонки при разбеге и пробеге.

Як-ЮМО был первым отечественным самолетом с ТРД, пригодным для выполнения полетов еще в конце 1945 г., но осторожный А.С. Яковлев решил не спешить и сначала проверить машину в аэродинамической трубе. Следует признать его опасения вполне обоснованными: при маневрировании с большими перегрузками по расчетам угол между продольной осью двигателя и вектором воздушной скорости мог достигать 15°, что было чревато помпажем. Зимой 1945-1946 г. Як-ЮМО установили в рабочей части трубы Т-104 и выполнили продувки "объекта" с работающим двигателем на различных режимах полета. Между тем конкуренты не дремали и использовали осторожность Яковлева в своих интересах. Когда Александр Сергеевич наконец подписал разрешение на выполнение первого полета, оказалось, что микояновцы сумели опередить "друзей-соперников" на три часа. Так, в один день 24 апреля 1946 г. с одного и того же аэродрома ЛИИ в небо поднялись сразу два отечественных самолета с ТРД. Як-ЮМО пилотировал летчик-испытатель М.И. Иванов, а микояновский И-300 - летчик-испытатель А.Н. Гринчик.

В дальнейшем испытания "яка" происходили без особых проблем (в отличие от И-300, но об этом позднее). По свидетельству Е.Г. Адлера к Дню авиации (18 августа) цикл заводских испытаний был в основном завершен, но передаче машины в НИИ ВВС для проведения госиспытаний противился... сам главный конструктор. К указанному времени А.С. Яковлев отлично осознал, что по совокупности летных данных в перспективе его машина именно из-за принятой концепции (быстрой переделки из серийного истребителя с поршневым мотором) серьезно уступал конкуренту, созданному под руководством А.И. Микояна. Так, по максимальной скорости Як-ЮМО отставал от микояновского И-300 приблизительно на 100 км/ч, его дальность полета не превышала 510 км, а продолжительность - 42 минуты!

(Продолжение в следующем номере).

# КАК ТЕОРИЮ ЗАСТАВИЛИ РАБОТАТЬ В ГТД

**Виктор Сергеевич Бекнев,**  
профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана

На первых шагах своего развития газотурбинный двигатель (ГТД) назывался "турбиной внутреннего сгорания", что подчеркивало его основное отличие от паровой турбины, которая работала при внешнем сгорании топлива в специальном агрегате - паровом котле (между прочим, в ОКБ А.А. Микулина, конструктора первых советских крупносерийных ГТД, камеру сгорания ГТД во всех документах долгое время именовали "котлом"). ГТД с его большой удельной мощностью и малой массой очень быстро завоевал внимание конструкторов транспортных машин: в первую очередь - в авиации, морском флоте, на железнодорожном транспорте, а также у создателей бронетанковой техники. Положительные качества ГТД позволяли зачастую пренебречь повышенным расходом топлива в нем. Этот двигатель привлек внимание создателей магистральных газопроводов. Его использовали для привода газовых станций подкачки, расположенных по трассе газопровода; такие устройства получили название газоперекачивающих агрегатов (ГПА). Несколько позже ГТД стал применяться в энергетике в составе газотурбинной установки (ГТУ). В этом качестве он стал самым дешевым источником энергии для развивающихся районов многих стран. Широкое применение нашли как ГТУ простого цикла, так и ее комбинации с паровой турбиной (ПГУ и ГПУ).

Газотурбинный двигатель - самый молодой тепловой двигатель, получающий все более растущее распространение в современной энергетике и на транспорте. Из литературных источников известно о попытках творческих личностей древности, например, Герона Александрийского (Египет), разработать прообраз паровой турбины, а в альбоме рисунков Леонардо да Винчи (XVI столетие) изображена принципиальная схема газовой турбины (рис. 1). К началу XX века все составляющие для создания ГТД уже имелись: в металлургической промышленности на подаче воздуха ("дутие" в сталеплавильную печь) работали лопаточные компрессоры Бессемера; Парсонс и Лаваль предложили первые (пока паровые) турбины активного и реактивного типов; Шухов запатентовал горелку для жидких топлив (ее сразу стали применять в стекольной промышленности и на тепловых станциях). Обо всех этих и других этапных изобретениях "Двигатель" уже писал в последние годы. Дело было за малым: соединить разрозненные элементы в общую конструкцию. Но, увы, само собой такое соединение не работало: все отдельные части были спроектированы - каждая для своих параметров работы. Очень низким получался к.п.д. такой "химерической" машины. Требовалось сопрячь их рабочие режимы так, чтобы, например, поднять обороты компрессоров до тех, на каких эффективны газовые турбины, а турбины заставить длительное время работать при температуре горячих газов за камерой сгорания. Это было возможно только после проведения длительных экспериментов и теоретического обоснования рабочих циклов машины.

При умозрительном анализе работы поршневого

двигателя конструктор пытался представить себе характер процессов, происходящих в цилиндре. Было предположено считать, что процессы сжатия и расширения воздуха (газов) протекают адиабатически (без теплообмена с окружающей средой), процесс сгорания топлива в цилиндре двигателя идет мгновенно (почти по изохоре, то есть без изменения объема цилиндра), процесс выталкивания газов идет с постоянным давлением - по изобаре (или "по сплюсненной восьмерке"). Время сгорания не отражалось на  $p$ - $V$  диаграмме цикла (в цикле Отто). Затем были предложены циклы Дизеля, Сабата и др. Все они работали при наличии клапанов в цилиндре двигателя. Моделирование цикла двигателя с медленным сгоранием топлива приписывается Дж. Брайтону (1872 г.), процесс такого сжигания топлива считался процессом  $p = \text{const}$  и перешел в теорию газотурбинных двигателей современного типа. Так что ГТД работают по циклу Брайтона: это мы ниже еще рассмотрим.

По мере развития ГТД в XIX столетии конструкции их камер сгорания пытались выполнить как с впускными и выпускными клапанами (аналогично тем, что применялись в поршневых двигателях), так и без клапанов, т.е. при непрерывном течении в проточной части ГТД.

Первым "комплектным" ГТД можно назвать газотурбинный двигатель Штольца (Швейцария, патент 1872 г., рис. 2). Комплектным двигатель Штольца можно назвать в связи с наличием в его составе нового устройства, без которого не обходится ни один современный ГТД - турбокомпрессора. В поршневом двигателе роль компрессора выполняет поршень в начале процесса сжатия и на нем же срабатывает энергия горячих газов в конце цикла, да чаще всего и подвод энергии (сгорание) идет тут же. Такое классическое "единство места и времени действия" упрощает конструкцию, но сужает возможности совершенствования каждой из частей цикла. В ГТД Штольца компрессор был выполнен как обращенный ротор осевой многоступенчатой паровой турбины Парсонса с плоскими лопатками. Он имел невысокие характеристики по напору и по к.п.д.

Всеми современными инженерами ГТД подобного типа признавались за весьма перспективные: они не требовали громоздких паровых котлов и энергия сгоравшего топлива использовалась гораздо эффективнее

Рис. 1. Дымовой вертел Леонардо да Винчи

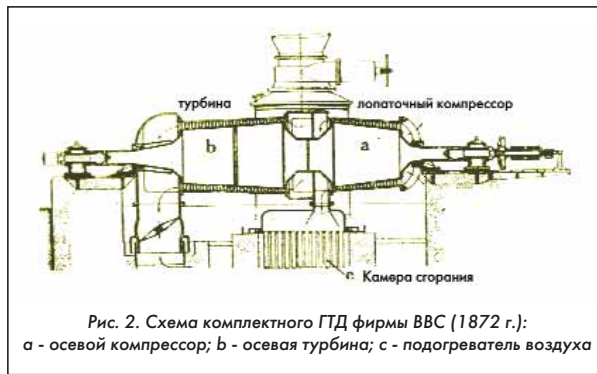


Рис. 2. Схема комплектного ГТД фирмы ВВС (1872 г.):  
а - осевой компрессор; б - осевая турбина; в - подогреватель воздуха

нее без промежуточного теплоносителя - пара. С другой стороны, газовые турбины, нуждались в повышении температуры газа для более эффективного срабатывания его на лопатках. Для этого необходимо было применять жаропрочные сплавы и систему охлаждения лопаток и роторов газовых турбин. Использование высокотемпературных и высокоскоростных потоков горячего газа на лопатках турбин требовало развития прикладной газовой динамики. Подобные ГТД могли применяться в самых различных областях техники.

Если вопросы конструкционной прочности высокооборотных роторов машин и обеспечения их эффективного охлаждения - хорошие задачи для грамотных инженеров и экспериментаторов, то теоретический анализ характеристик ГТД следовало основывать на технической термодинамике, на теории тепловых циклов, которые почти до самого начала XX века особого прикладного смысла не имели, и лишь необходимость прямого применения достижений науки при создании лопаточных машин и ГТД заставила перевести исследование в практическую плоскость.

Уже к середине XIX столетия в работах С. Карно, Р. Клаузиуса и других ученых были созданы основы теории обратимых циклов и процессов как в идеальных, так и в приближающихся к реальным рабочих средах. Были подробно рассмотрены математические выражения для описания первого и второго законов термодинамики, где первый закон основан на более общем законе сохранения энергии, а второй обосновывает направление протекания естественных процессов.

Для изолированной системы первый закон выглядит так:

$$du = dq - pdv = C_p dT,$$

где  $u$  - внутренняя энергия газа;

$q$  - тепло;

$p$  - давление газа;

$C_p$  - теплоемкость системы, полученная при постоянном давлении;

$v$  - удельный объем.

Это можно описать как "изменение внутренней энергии газа равно разнице между подведенным теплом и совершенной работой".

Математическое выражение второго закона записывается (в представлении Клаузиуса) в виде:

$$dS = dq/T,$$

где  $S$  - энтропия (по-гречески означает величину, характеризующую тепловое состояние тела или системы тел, иначе говоря - уровень рассеяния тепла по этой системе, или меру внутренней неупорядоченности системы). Для идеальных газов, объединяя эти выражения, можем получить при

$$i = u + pV - C_p T,$$

$$pV = RT,$$

и, интегрируя, получаем

$$S = C_p \ln T - R \ln P + \text{const},$$

или

$$S = C_v \ln T + R \ln V + \text{const}.$$

Здесь  $i$  - энтальпия системы, мера ее теплосодержания, а  $C_p$  и  $C_v$  - теплоемкости системы, соответственно, полученные при постоянном давлении и при постоянном объеме,  $R = C_p - C_v$ .

При  $C_v = \text{const}$ ,  $C_p = \text{const}$  величина

$$k = C_p/C_v = \text{const}.$$

Здесь  $k$  - показатель адиабаты, он весьма четко характеризует существо идущего процесса; для воздуха при нормальном давлении и температуре до 5000 К показатель адиабаты обычно близок к 1,4, при увеличении температуры значение  $k$  падает и для продуктов

сгорания равно 1,33.

Если рассмотреть в плоскости  $T - S$  две произвольные точки 1 и 2 с параметрами  $(T_1, p_1 \text{ и } S_1)$  и  $(T_2, p_2 \text{ и } S_2)$ , то можно записать  $T_2/T_1 = e^{(S_2 - S_1)/C_p} (p_2/p_1)^{(k-1)/k}$

Следовательно, при  $S = \text{const}$  или, что то же самое, при адиабатическом процессе

$$T_2/T_1 = (p_2/p_1)^{(k-1)/k}$$

изобара (линия  $p = \text{const}$ ) будет выражена уравнением типа  $y = e^x$ , то есть экспонентой.

Иными словами,

$$T_2/T_1 = e^{(S_2 - S_1)/C_p}.$$

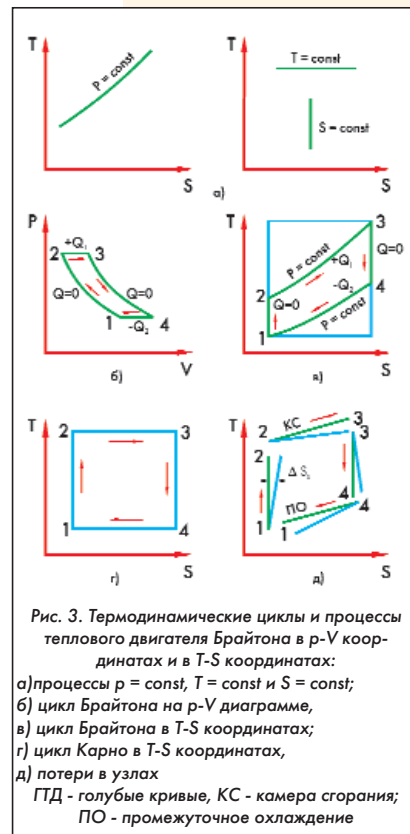
Если взять линии  $T = \text{const}$ , то есть изотермы, то при  $(S_2 - S_1) = \text{const}$  получаем кривые  $(p_2/p_1) = \text{const}$ . Иначе говоря, изобары являются эквидистантными кривыми, смещенными вдоль оси  $S$  (см. рис. 6). Потери полного давления сопровождаются ростом энтропии. Линии изохор строятся аналогично и проходят круче, чем изобары. Следовательно, для идеального газа линия  $p = \text{const}$  в координатах  $T - S$  имеет вид, приведенный на рис. 3, а. Цикл Брайтона в  $p - V$  и в  $T - S$  координатах при отсутствии потерь давления принимает вид, показанный на рис. 3, б, в. Цикл Карно в этом случае в координатах  $T - S$  имеет вид прямоугольника (рис. 3, г), показывая, что цикл Брайтона лежит всегда внутри цикла Карно, экономичность и работа в заданном интервале температур которого всегда наибольшие, а значит, удельная работа цикла и к.п.д. в данном диапазоне температур в цикле Карно всегда максимальны.

Термодинамический цикл теплового двигателя принято изображать идущим по часовой стрелке, и в технической литературе он обычно отображается в термодинамических или в статических ( $p, T$ ) параметрах, либо в полных ("заторможенных" -  $p^*, T^*$ ) параметрах. Статические параметры относятся к параметрам движущегося газа, а полные - к параметрам адиабатически заторможенного газа, имеющего скорость  $C_A$ . В соответствии с уравнением энергии полная температура в точке А потока  $T_A^*$  и его статическая температура  $T_A$  связаны уравнением:

$$T_A^* = T_A + C_A^2/2C_p.$$

Аналогично, давление выражается формулой  $p_A^* = p_A (T_A^*/T_A)^{k/k-1}$ , где для воздуха  $C_p \cong 1000$  Дж/кг·К. Использование статических параметров соответствует физической картине течения, а использование параметров заторможенного потока достаточно условно, но позволяет представить на  $T - S$  диаграмме потери полного давления в узлах ГТД, что связано с ростом энтропии в этих узлах (см. рис. 3, д). Цикл ГТД традиционной схемы (с забором воздуха из атмосферы и выхлопом туда же) может быть назван замкнутым условно, учитывая, что параметры самой атмосферы вне двигателя достаточно постоянны.

Цикл Брайтона в  $T - S$  - координатах позволяет продемонстрировать влияние потерь давления в турбомашине и в камере сгорания ГТД (см. рис. 3, д). Термодинамический анализ цикла Брайтона позволяет получить формулы для к.п.д. и удельной мощности ГТД и найти значения оптимальных параметров ГТД при заданных температурах газов перед газовой турбиной и воздуха перед компрессором, а также рассчитать ожидаемую мощность ГТД. По циклу Брайтона работают практически все современные ГТД во всех областях энергетики и транспорта, причем заметны тенденции к использованию конверти-



рованных авиационных ГТД в энергетике. Для охлаждения циклового воздуха можно использовать сухую градирню (теплообменник) либо канал второго контура.

Некоторый интерес представляют отдельные этапы в развитии ГТД. Так, в XIX веке были сделаны попытки создания ГТД со сгоранием топлива в процессе  $V = \text{const}$  (Хольцварт и др.), но они не получили развития. Многие известные ученые-теплотехники не видели перспектив развития ГТД по сравнению с поршневыми двигателями (в авиации). Исключение составила статья Б.С. Стечкина по теории воздушно-реактивного турбокомпрессорного ГТД, опубликованная в журнале "Техника воздушного флота" № 2, 1929 г. В ней давалась расчетная оценка авиационного реактивного двигателя нового типа, состоящего

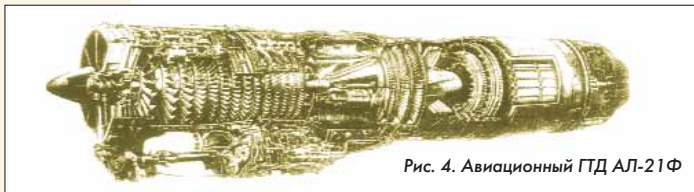


Рис. 4. Авиационный ГТД АЛ-21Ф

из компрессора, камеры сгорания и газовой турбины. Известен также случай с инженером А.М. Люлькой. Когда в 30-е годы XX века он предложил схему авиационного ГТД и дал ее на отзыв известным ученым, то лишь один из них - В.В. Уваров дал на эту работу положительный отзыв (что дало основание развернуть работы А.М. Люльки и создать первый отечественный ТРД). И это несмотря на то, что первые в мире авиационные ТРД уже были к тому времени созданы по патенту Ф. Уиттла в Англии - двигатели "Нин" и "Дервент", а также в Германии - ЮМО 004 и BMW 003 по патенту Г. Охайна и Г. Ойстриха.

Только после Великой Отечественной войны у нас были организованы КБ по газотурбинному двигателестроению, на исследования этого типа двигателей был переориентирован головной институт отрасли - ЦИАМ им. П.И. Баранова, и Россия вышла на передовые рубежи этого направления, создавая турбореактивные двигатели самых различных типов и назначений по требованиям промышленности.

Следует вспомнить работы под руководством В.В. Уварова ("Двигатель", № 5, 1999 г.) по высокотемпературным турбовальным ГТД в 1934 г., которые не получили развития из-за переориентирования промышленности на турбореактивные ТРД и двигатели более проработанных схем: собственных, трофейных и лицензионных. На самом деле, группа Уварова разрабатывала этот двигатель как авиационный турбовинтовой двигатель (как его и привыкли именовать ученые МВТУ и соратники по работе), но при удачном завершении работ сфера его применения была бы существенно шире авиации. Впрочем, тема была закрыта почти сразу же после того, как двигатель Уварова прошел сдаточные испытания.

В те же годы в Ленинграде на ЛМЗ и на "Невском заводе" начато создание стационарных энергетических и приводных ГТД по циклу Брайтона и с регенерацией.

В современных энергетических ГТД величины  $D_K$  лежат в пределах 1,0...2,5 м при  $T_3$  или  $T_r^*$  от 1000 до 1600 К. Экономичность таких ГТД в этих условиях достигает 40...45 % при расходе воздуха до  $G \sim 700$  кг/с, что соответствует мощности  $N_e = 800$  МВт при частоте вращения вала турбины  $n = 3000$  мин<sup>-1</sup> (для привода генераторов с частотой тока 50 Гц) и 3600 мин<sup>-1</sup> (для привода генераторов с частотой тока 60 Гц). У авиационных ГТД значения параметров цикла часто превышают указанные уровни, что достигается обычно за счет уменьшения ресурса.

Упомянутые уровни были достигнуты в результате длительной и весьма дорогостоящей работы больших коллективов ученых и конструкторов во многих странах. Следует, во-первых, упомянуть работы по созданию газовых турбин из жаропрочных сплавов с охлаждаемыми рабочими и сопловыми лопатками, что обеспечило надежную работу ГТД. Отметим также и работы по повышению эффективности проточной части турбокомпрессоров (осевых и радиальных), включая разработку методов профилирования лопаточных аппаратов при высоких (и сверхзвуковых) скоростях. Большое значение имело обеспечение надежности работы камер сгорания, систем регулирования и т.п. В качестве примера конструктивного выполнения авиационного ГТД на рис. 4 приведен продольный разрез двигателя АЛ-21.

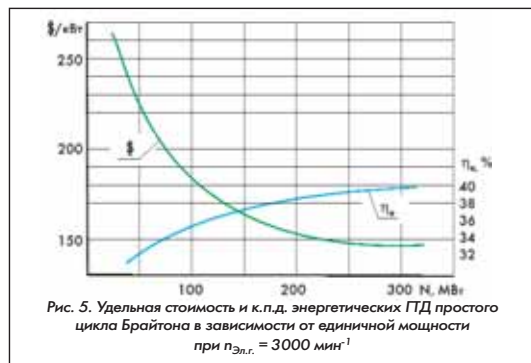


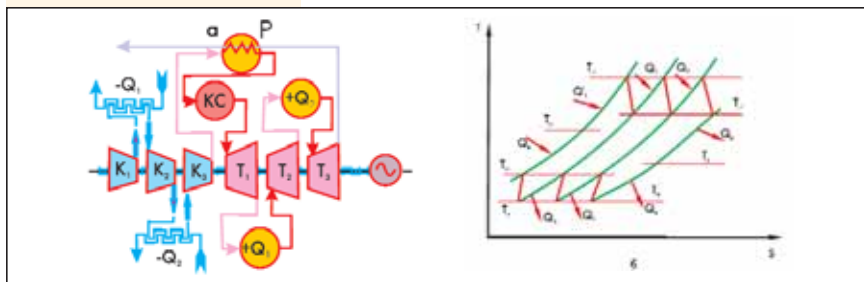
Рис. 5. Удельная стоимость и к.п.д. энергетических ГТД простого цикла Брайтона в зависимости от единичной мощности при  $n_{эл.г.} = 3000$  мин<sup>-1</sup>

Технико-экономические показатели современных ГТД иллюстрируются рис. 5, на котором показаны результаты оценки удельной стоимости ГТД и к.п.д. простого цикла в зависимости от мощности  $N_e$ . Удешевление ГТД с ростом мощности связано со снижением удельной массы и его удельного объема благодаря снижению доли вспомогательного оборудования. Повышение к.п.д. с ростом мощности связано с влиянием чисел Re, т.е. с масштабным фактором и ролью концевых потерь в проточной части.

Рассмотренные ГТД на базе простого цикла (как без, так и с введением регенерации для подогрева воздуха (газа) перед камерой сгорания с помощью использования тепла выходящих из турбины газов) производились во всем мире, но практически были вытеснены конвертируемыми ГТД авиационного типа, работающими по простому циклу.

Нельзя не упомянуть о единичных образцах ГТД на базе простого цикла, созданных по замкнутому варианту с использованием ядерного реактора для энергетики, морского флота и космических бортовых источников питания. Различными конструкторами неоднократно предлагались транспортные ГТД для автомобилей и газотурбовозов, но пока они еще не имеют серьезного практического применения.

Рис. 6а. Схема установки (а) и цикл Зотикова (б).  
 К - ступень компрессора,  
 Т - ступень турбины,  
 КС - камера сгорания  
 Р - теплообменник,  
 -Q - промежуточное охлаждение,  
 +Q - промежуточный подогрев.



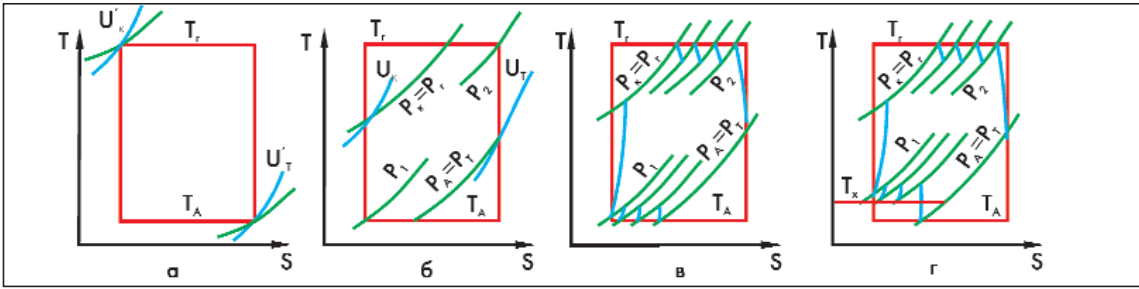


Рис. 7. Цикл Карно (а), идеальный цикл Уварова (б), цикл Уварова с  $T_1 = \text{const}$  (в), цикл Уварова с  $T_{\text{КНД}} < T_{\text{КСД}}$  (г): КНД - компрессор низкого давления, КСД - компрессор среднего давления.

Возвращаясь к начальным вариантам ГТД простого цикла, которые сразу требовали высокой температуры газов перед турбиной (работы Ч. Парсонса в конце XIX века), нельзя не вспомнить о работах Г.И. Зотикова, предложившего создавать ГТД по усложненному циклу при  $p = \text{const}$ , а "низкие" температуры  $T_3$  компенсировать введением промежуточного охлаждения (ПО) воздуха при сжатии (в результате уменьшается работа сжатия и промежуточного подогрева (ПП) при расширении). Процессы ПО и ПП лежат на изобарах  $p = \text{const}$ . Цикл Г.И. Зотикова (рис. 6) приближался к циклу Карно, способствуя повышению к.п.д. ГТД при более низких температурах газа, чем в цикле Брайтона. В цикле Зотикова требовался регенератор, и он был осуществим без особого труда, но удорожал ГТД. Метод повышения к.п.д. ГТД при невысоких  $T_3$  и без регенератора предложил В.В. Уваров, введя в рассмотрение изотермоадиабатический цикл при сгорании при  $p = \text{const}$  (рис. 7).

Оба цикла относятся к типу "карнотизированных" циклов, как и цикл ГТД, рассмотренный фирмой ВВС в конце 30-х годов XX века (рис. 8). Рассмотрение усложненных циклов ГТД было предложено для реализации невысоких  $T_3$ , но они могут быть использованы и при современных  $T_3$  для получения высоких уровней удельных мощностей и к.п.д. Здесь необходимо отметить ряд попыток создания энергетических ГТД усложненного цикла. Так, в 1970-1980 гг. в СССР была создана перспективная энергетическая ГТ100-750 с промежуточным охлаждением при сжатии и с промежуточным подогревом при расширении. Позже подобная ГТУ была создана в Японии (проект "Лунный свет"). В 1994 г. фирма Alstom создала ГТУ GT-26 с промежуточным подогревом. В 2004 г. фирма General Electric построила ГТУ LMS100 с промежуточным охлаждением, что показывает возможности создания высокоэффективных комбинированных ПГУ энергетики будущего.

В заключение следует рассмотреть варианты так называемых комбинированных установок на базе стандартных паротурбинных установок (ПТУ) и ГТД, что образует парогазовые установки (ПГУ) бинарного типа. В бинарных установках топливо подводится только к одной составляющей такой установки - к ГТД, а вторая часть ПГУ получает тепло от газов после турбины ГТД. При этом следует отметить, что в роли ГТД обычно выступает двигатель простого цикла (т.е. работающий по циклу Брайтона), хотя ГТД по циклу Уварова дает

по расчетам более эффективную ПГУ как по удельной мощности, так и по к.п.д.

При современном уровне технологии ПГУ с ГТД по циклу Брайтона дает к.п.д. около 60 %, а ПГУ с ГТД по циклу Уварова может дать к.п.д. около 70 % при большей удельной мощности (на 20...30 %), т.е. при меньших расходах воздуха в ГТД.

Резкое уменьшение давления в КВД цикла Уварова можно получить, разделив цикл на две части средней изобарой и назначив у левого цикла нижнее давление равным атмосферному с введением между полученными циклами теплообменного аппарата - межциклового рекуператора. Два полученных цикла сохраняют конфигурацию исходного цикла Уварова с облегчением его реализации и приближительным сохранением к.п.д. Получаемый цикл можно назвать "квазибинарным", так как в нем требуется введение дополнительной камеры сгорания и промежуточного охладителя. Дополнительное введение паровой турбины (ПТУ) вводит понятие "квазитринарного" цикла с высокой экономичностью (такой цикл описан в журнале "Теплоэнергетика", № 6, 2005 г.).

Следует отметить, что ПТУ представляет собой самостоятельную термодинамическую систему, которая должна быть оптимизирована сама по себе, а сочетание ГТД со стандартной ПГУ дает лишь частное решение, но не оптимальное. Есть еще предложения по комбинированным установкам типа STIG, где осуществляется процесс смешения газа и пара в самой проточной части установки.

Приведем известные в технике технико-экономические показатели современных простейших ПГУ (рис. 9). Характер их протекания подобен показателям простых ГТД, но на графике они располагаются заметно выше (как удельная стоимость, так и к.п.д.). Конструктивное оформление ГТД ближайшего будущего, по-видимому, будет сочетать опыт создания авиационных ГТД с опытом создания стационарных ГТД с введенными в них системами промежуточного охлаждения и промежуточного подогрева, позволяющими улучшать характеристики циклов, приближая их к идеальным.

В заключение можно отметить, что ГТД во всех своих вариантах являются весьма важными компонентами промышленного развития земной цивилизации, пока не исчерпаны запасы органического и ядерного топлива, а в дальнейшем ГТД могут работать в составе солнечных и космических установок замкнутого цикла (рис. 10).

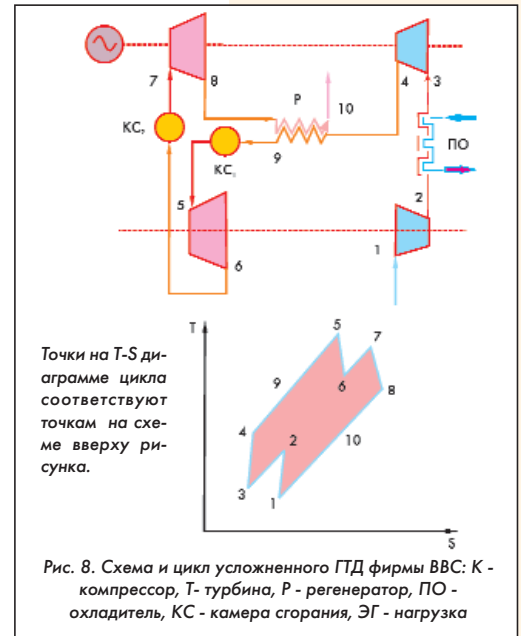


Рис. 8. Схема и цикл усложненного ГТД фирмы ВВС: К - компрессор, Т - турбина, Р - регенератор, ПО - охладитель, КС - камера сгорания, ЭГ - нагрузка

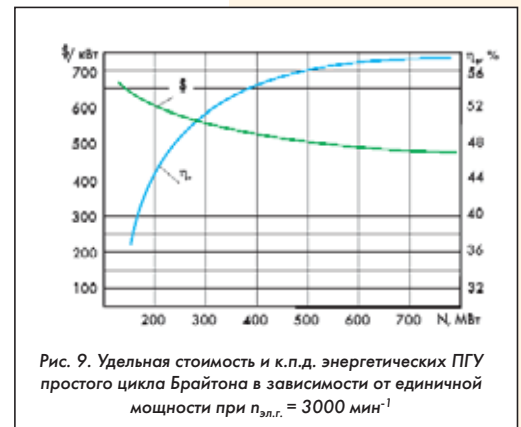


Рис. 9. Удельная стоимость и к.п.д. энергетических ПГУ простого цикла Брайтона в зависимости от единичной мощности при  $n_{\text{опт}} = 3000 \text{ мин}^{-1}$

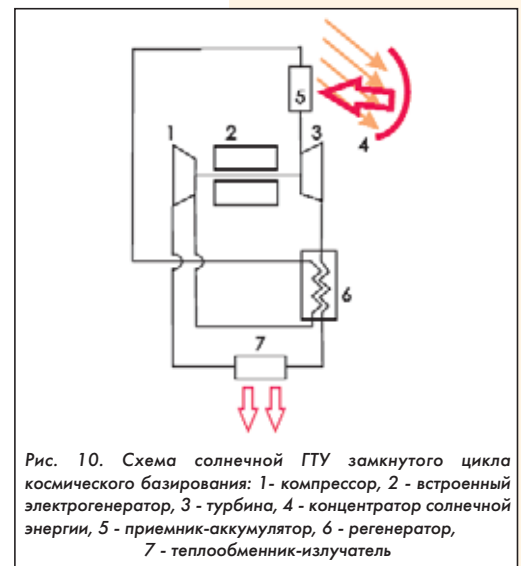


Рис. 10. Схема солнечной ГТУ замкнутого цикла космического базирования: 1 - компрессор, 2 - встроенный электрогенератор, 3 - турбина, 4 - концентратор солнечной энергии, 5 - приемник-аккумулятор, 6 - регенератор, 7 - теплообменник-излучатель

# ГОРЮЧЕЕ - КАКИМ ЕМУ БЫТЬ?

Александр Идин

(Продолжение. Начало в № 2-4 - 2006)

Закончатся нефть и газ в ближайшем будущем или не закончатся - вопрос открытый. Прогнозы об истощении мировых запасов и коллапсе всей энергетики делаются регулярно, но столь же регулярно обнаруживаются новые месторождения. К тому же постоянно совершенствуются технологии энергосбережения, повышается к.п.д. энергоустановок, а один из главных потребителей горючего - автомобиль - потребляет его все меньше. Но рано или поздно переход на альтернативные источники энергии произойдет, и надо быть к этому готовым.

В предыдущем номере журнала говорилось о получении метанола, диметилового эфира и других видов жидкого и газообразного горючего из угля. А в природе существует еще и биогаз, который образуется как бы сам по себе. Обнаружить его можно на болоте. Стоит поворошить палкой в илистом дне, как тут же на поверхность поднимаются пузырьки газа, который образуется в анаэробных условиях при разложении органических соединений. Конечно, никто не станет ковырять палкой и собирать газ в специальный баллон. Для этого существуют промышленные технологии. Сырье (навоз, трава и т.д.) помещается в бак-ферментатор, в котором в процессе брожения и многоступенчатых химических реакций оно преобразуется в метан. Из одного кубического метра жидкого навоза можно получить до 40 м<sup>3</sup> биогаза (такое же количество газа получается при использовании куриного помета). А вот из одной тонны простой травы можно получить 125 м<sup>3</sup> биогаза. Биогаз уступает природному газу по теплотворной способности (7,5 против 10,1 кВт·ч/м<sup>3</sup>).

Но не все так радужно, как хотелось бы: в биогазе присутствуют примеси, имеются проблемы с удалением из него серы и других вредных примесей. Если не принять никаких мер, то эти примеси приведут к быстрому износу ДВС и коррозии его элементов.

Тем не менее уже выпускаются для предприятий сельской местности установки, обеспечивающие пе-

реработку как отходов лесного и сельскохозяйственного производства, так и специально выращиваемой биомассы. Получаемое с помощью этих установок биотопливо (в виде жидкого и газообразного горючего) можно использовать для производства тепловой или электрической энергии. При переработке одной тонны древесных опилок можно получить 500 кг горючего (до 50 % в жидком виде, до 20 % в газообразном, до 20 % в виде древесного угля).

Конечно, ездить можно на многих видах горючего, но для массового использования той или иной разновидности надо, чтобы она удовлетворяла многим, в том числе и экологическим требованиям. Именно они в настоящее время стали не просто одними из главных, а самыми главными требованиями. В научно-исследовательских институтах, в лабораториях автомобильных корпораций проводятся разносторонние и весьма дорогостоящие исследования. В первую очередь они направлены на поиск горючего, максимально удовлетворяющего требованиям по ограничению выбросов двуокиси углерода (CO<sub>2</sub>). Проверялась работа двигателя на природном газе, смесях бензина с водородом и т.д. Исследования показали, что при работе серийного двигателя на природном газе происходит снижение выбросов CO<sub>2</sub> на 38 %. Если же в этот природный газ добавить в определенной пропорции водородосодержащий синтез-газ, то выбросы снизятся на 52 % (по данному параметру двигатель удовлетворяет требованиям Euro-5).

На рис. 1 для сравнения приведены результаты оценки влияния различных видов топлива и традиционного бензина на экологические показатели автомобильного двигателя.

Достаточно одного взгляда на гистограммы чтобы заметить, что при использовании водорода в качестве добавки к основному топливу, а тем более при применении синтез-газа или чистого водорода, резко снижаются выбросы CH и NO<sub>x</sub>.

Результаты испытаний подтвердили экологические преимущества водорода. Даже при смешанном питании двигателя водородом и бензином выбросы оксида углерода снижаются в 10 раз, выбросы несгоревших углеводородов - в 2...3 раза, окислов азота - в 2 раза. Топливная экономичность при работе автомобиля на бензоводородном топливе по сравнению с работой на бензине повышается в среднем на 17 %.

Очевидным преимуществом водорода является его неисчерпаемые ресурсы в природе и возможность получения из возобновляемых сырьевых источников. Водород обладает чрезвычайно высокой энергоемкостью (почти в три раза больше, чем у традиционных нефтяных топлив). Он является идеальным экологически чистым топливом, так как в продуктах его сгорания отсутствуют углекислый газ, окись углерода, несгоревшие углеводороды.

В двигателе внутреннего сгорания с искровой системой зажигания характер горения в цилиндре в значительной степени зависит от равномерности смешивания горючего с воздухом. И здесь основную роль играют не только специальные устройства (например,

По мнению ряда специалистов, основным сырьем для химической промышленности скоро станут уголь и биомасса, в том числе и бытовые отходы. В биосфере находится около 800 млрд тонн биомассы, причем 200 млрд тонн ежегодно возобновляется. Реально, уже сейчас из биомассы вырабатывается горючее для двигателей: биогаз, бензин из рапса, керосин из сои и др. Пока вырабатывается всего сотни тысяч тонн в год, но по оценкам тех же специалистов, к 2010 году в странах Европейского сообщества 7 % горючего будет получено из биомассы.

Фирмы BP и "Дюпон" приступили к совместной разработке и производству нового биотоплива для автомобилей - биобутанола. Его свойства сходны с этанолом, но его можно смешивать с бензином в гораздо большей пропорции, чем этанол. Биобутанол можно получать из сахарной свеклы, сахарного тростника и других сельскохозяйственных культур.

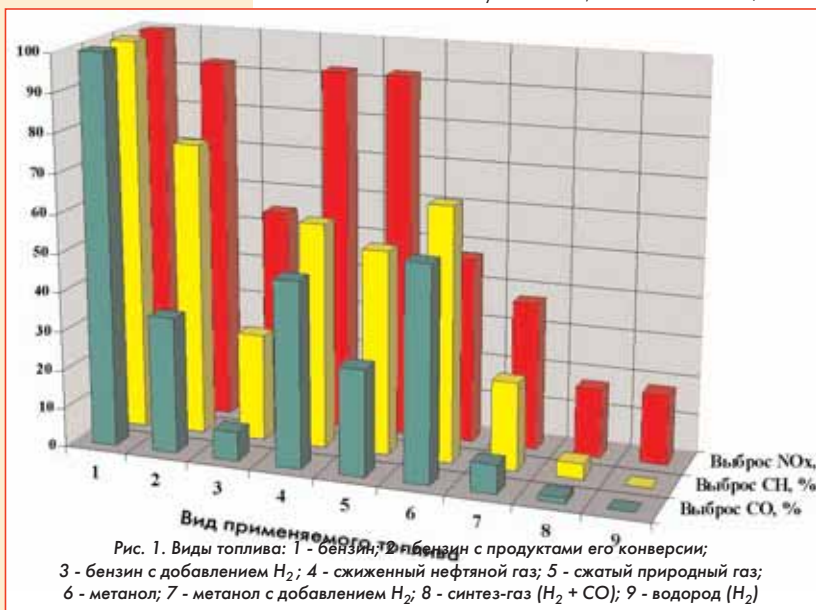


Рис. 1. Виды топлива: 1 - бензин; 2 - бензин с продуктами его конверсии; 3 - бензин с добавлением H<sub>2</sub>; 4 - сжиженный нефтяной газ; 5 - сжатый природный газ; 6 - метанол; 7 - метанол с добавлением H<sub>2</sub>; 8 - синтез-газ (H<sub>2</sub> + CO); 9 - водород (H<sub>2</sub>)



карбюратор), обеспечивающие однородность топливной смеси, но и такие свойства горючего, как температура кипения и диффузионная способность. Понятно, что чем ниже температура кипения горючего, тем быстрее оно испаряется. Более высокая диффузионная способность (она пропорциональна коэффициенту молекулярной диффузии) также улучшает однородность (однородность) горючей смеси. Водород и оксид углерода (основные составляющие синтез-газа) по указанным параметрам значительно превосходят бензин (см. табл. 1).

добавкой к основному топливу) работающий на водороде, синтезируемом на борту транспортного средства из альтернативных энергоносителей (метанол или метан). Достоинством данного решения является возможность его быстрой реализации в серийном производстве, использование существующей транспортной инфраструктуры (в случае синтеза водорода на борту АТС), значительное (до 45 %) снижение выбросов вредных веществ и улучшение экономичности автомобиля (до 15...20 %). Этот вариант предпочтительнее заправки водородом на спе-

Таблица 1

Параметр	Горючее		
	Водород	Оксид углерода	Бензин
Температура кипения, °С	-252,61	-191	32...215
Коэффициент молекулярной диффузии с воздухом, см <sup>2</sup> /с (при p <sub>0</sub> = 0,1 МПа, T <sub>0</sub> = 293 К)	0,63	0,21	0,085

Помимо того, что у водорода хорошие свойства, способствующие обеспечению однородности топливной смеси, он эффективно воздействует на рабочие процессы, протекающие в цилиндре двигателя. Связано это главным образом с очень высокой скоростью распространения фронта горения этого газа. Так, если для бензовоздушной смеси стехиометрического состава эта величина в среднем составляет 12 см/с, то для водорода этот показатель равен 250 см/с. Для оксида углерода, второго основного компонента конвертированного топлива, нормальная скорость сгорания также достаточно высока и равна 41 см/с.

Известно, что двигатель с искровым зажиганием работает только в том случае, если смесь бензина и воздуха находится в определенном соотношении. Отклонение в сторону увеличения или уменьшения количества бензина (богатая или бедная смесь) приводит к резкому падению мощности двигателя вплоть до его остановки. В случае использования водорода возможна работа двигателя при очень бедных смесях (вплоть до 10-кратного избытка воздуха). Это свойство водорода позволяет, с одной стороны, значительно улучшить экономичность двигателя, а с другой, - позволяет резко снизить выбросы окислов азота.

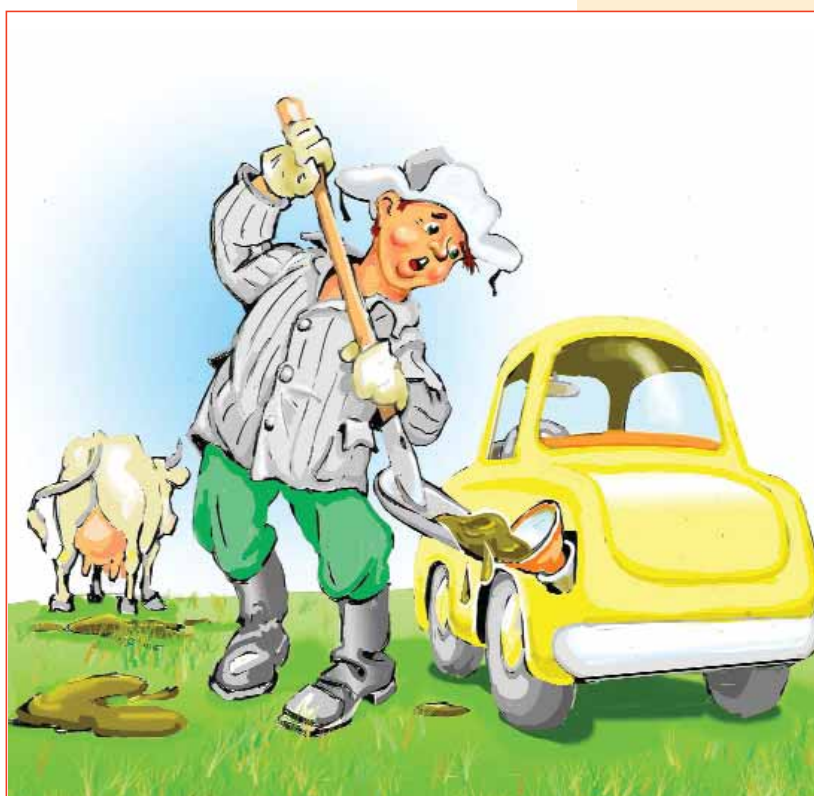
Но есть у водорода ряд физико-химических свойств, которые до сих пор продолжают тормозить его широкое применение на автомобильном транспорте (в ракетной технике водород используется в качестве горючего уже давно). Во-первых, это уменьшение эффективной мощности двигателя при подаче газообразного водорода вследствие крайне низкой плотности, в результате чего его объемные энергетические характеристики значительно хуже, чем у традиционных топлив. К этому следует добавить взрывоопасность водорода даже при небольших утечках, не говоря уже о разрушении системы хранения и подачи при аварии. Кроме того, водород способен проникать сквозь большинство материалов, из которых делаются двигатели, а в случае его диффузии в металлы последние становятся хрупкими, теряют прочность и перестают выдерживать нагрузки.

Решения этих и многих других проблем существуют, но для их реализации потребуются и время и деньги. Анализ ситуации с ходом работ в области водородной транспортной энергетики показывает, что некоторые из проблем удастся решить уже в ближайшем будущем, а решения других проблем придется подождать годы и десятилетия.

Быстрее всего, возможно, будет разработан автомобильный двигатель, полностью или частично (с

специальных станциях, поскольку соответствующая инфраструктура заправки автомобилей жидким или газообразным водородом отсутствует, а на ее создание потребуются годы. Кроме того, не решены проблемы с безопасностью эксплуатации водородозаправок, т.к. смесь водорода с воздухом в малых концентрациях более взрывоопасна, чем в больших.

Разработка автомобилей с комбинированными энергоустановками на базе двигателя внутреннего сгорания, который работает на водородном топливе, синтезируемом на борту АТС, потребует немного большего времени. Придется создавать электромеханическую трансмиссию и источники накопления энергии на борту автомобиля (буферные накопители - тяговые аккумуляторы). В этом случае двигатель будет работать на оптимальных режимах, что обеспечит уменьшение выбросов токсичных компонентов (до 60 % по отношению к традиционному бензиновому двигателю) и облегчит условия работы системы синтеза водорода. В итоге достигается снижение расхода топлива до 40...45 % по сравнению с традиционным бензиновым двигателем.





Американский мультимиллионер Билл Гейтс инвестировал \$84 млн в компанию Pacific Ethanol Inc., производящую этанол из зерен кукурузы. На эти деньги компания построит пять заводов. Ежегодно в США продается 56,78 млрд литров этанола, который смешивают с бензином в соотношении 90 % к 10 % или 85 % к 15 %. К 2012 г. производство этанола в США будет увеличено вдвое, а его производителям и покупателям будут предоставлены налоговые льготы.

И совсем не скоро ожидается появление автомобиля с энергоустановками на базе топливных элементов. К сожалению, это обусловлено в первую очередь отсутствием компактных топливных элементов с характеристиками, приемлемыми для автомобильного транспорта. Стоимость существующих топливных элементов пока еще очень велика. Впрочем, прототипы автомобилей создаются во многих странах, в том числе и в России. Уже несколько лет демонстрируется "Антел-2", разработанный на АвтоВАЗе.

Итак, актуальными и наименее затратными работами в области транспортной водородной энергетики являются исследования, направленные на изучение возможности работы двигателей на смешанном топливе - бензине и водороде. Однако отсутствие экономически оправданных безопасных средств хранения водорода на борту автомобиля при обеспечении его приемлемой энерговооруженности сдерживает активное внедрение водорода в автомобильной промышленности.

На сегодняшний день разработаны и испытаны три способа хранения водорода: в виде сжатого газа в баллонах высокого давления, в сжиженном состоянии в криогенных резервуарах и в связанном состоянии в металлгидридных аккумуляторах. К сожалению, даже наилучший из них по энергоплотности - криогенный способ - уступает по этому показателю нефтяным топливам в несколько раз, не говоря уже о том, что в техническом отношении он неизмеримо сложнее систем хранения и транспортирования жидких нефтяных топлив. Поэтому применение водорода в автомобиле сразу упирается в проблему энерговооруженности (или, проще говоря, запаса хода) автомобиля. Существующие системы хранения водорода неприемлемы для автотранспорта вследствие либо малой емкости, либо технической слож-

ности и недостаточной безопасности в эксплуатации и в аварийных ситуациях.

Особый интерес представляет возможность получения водорода на борту автомобиля из жидких углеводородных топлив. Сущность данного способа заключается в том, что процесс химического преобразования исходного топлива сопровождается поглощением теплоты, отбираемой от выпускных газов двигателя, в термохимическом реакторе. В данном случае реактор играет роль утилизационного устройства, повышающего химическую энергию конвертированного топлива по отношению к энергии исходного топлива на величину, равную количеству утилизированной теплоты отработавших газов (ОГ), которая с полученным топливом вводится в двигатель для повторного участия в организации рабочего цикла. Такой, еще малоисследованный на сегодняшний день, способ утилизации отводимой из цикла двигателя тепловой энергии назван термохимической регенерацией теплоты отработавших газов.

При организации эндотермического процесса конверсии в условиях работы двигателя внутреннего сгорания важным вопросом является выбор исходного углеводородного соединения, способного при заданном среднем температурно-энергетическом уровне теплоносителя разлагаться на газообразные продукты.

В принципе, идея регенерации отнюдь не нова. Примером ее практической реализации могут служить газогенераторные автомобили, сравнительно широко применявшиеся в 30-40-е годы прошлого столетия. Роль сырья для получения водородсодержащего топлива может играть и любое традиционное нефтяное топливо, например, бензин, поскольку массовое содержание водорода в нем составляет 10...15 %. Однако известные методы конверсии нефтяных углеводородных топлив в водородсодержащее топливо имеют ряд недостатков, ограничивающих возможность их применения на автомобиле. К ним следует отнести: высокую температуру процесса, значительные энергетические потери, сравнительно небольшой выход целевого продукта и др. Но самое главное - не решается проблема экономии нефтяных ресурсов. Поэтому более целесообразным является получение синтез-газа из углеводородных топлив не нефтяного происхождения. Характеристики возможных энергоносителей для бортового получения водорода приведены в табл. 2.

Из анализа таблицы следует, что наиболее оправданным с технико-экономической точки зрения (исходя из стоимостных показателей и температуры конверсии) базовым сырьем для получения водорода на борту автомобиля является метанол.

Как известно, метанол сам по себе служит альтернативным топливом, применение которого вместо бензина или в качестве добавки к бензину позволяет улучшить экономичность и снизить токсичность ДВС. Кроме того, синтез самого метанола является рациональным

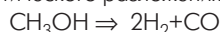


BMW H2R с двигателем, работающем на жидком водороде

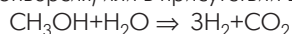
Сырье	Стоимость, руб./кг	Энтальпия сгорания, кДж/г	Температура конверсии, К	Содержание в смеси, % мол.	
				H <sub>2</sub>	CO
Бутан	-	-45,7	700	74	9,3
Диметилэфир	-	-28,8	570	74,4	4,2
Метан	1,35...2,7	-50,1	1000	76	17,3
Метанол	4,05...6,75	-19,7	570	74,4	4,3
Пропан	10,8...21,6	-46,5	700	74	7,2
Октан	16,2...21,6	-44,7	>1000	70,8	20,4
Этанол	5,4...6,75	-26,8	600	73,2	4,3

Таблица 2

благодаря утилизации отходов промышленности и жизнедеятельности. Вместе с тем, применение метанола как энергоносителя для получения водородсодержащего топлива для автомобильных двигателей позволяет реализовать преимущества водородного двигателя, при этом решается проблема обеспечения требуемой энерговооруженности автомобиля. Метанол лишь в два раза уступает бензину по энергоплотности, проблемы его хранения и транспортировки практически не отличаются от таковых для бензинов. Водородсодержащее топливо - синтез-газ, содержащий от 2/3 до 3/4 водорода по объему, может быть получено из метанола путем каталитического разложения:



(сухая конверсия) или в присутствии воды:



(паровая конверсия) при сравнительно низких температурах - до плюс 500 °С при использовании традиционных катализаторов на основе благородных металлов. При подборе соответствующих катализаторов возможно снижение температуры конверсии до 250...350 °С. Выход целевого продукта при этом составляет от 80 до 98 %. В продуктах реакции разложения метанола практически полностью отсутствуют тяжелые углеводородные соединения, способные вызвать закоксовывание реактора. Второй компонент синтез-газа, получаемого при сухой конверсии метанола, - окись углерода - также является горючим. В то же время двуокись углерода, образующаяся при паровой конверсии метанола, может быть также полезна как средство разбавления рабочего заряда для обеспечения более благоприятных условий сгорания водорода в двигателе.

Процесс конверсии метанола в синтез-газ сопровождается поглощением энергии. Эта энергия в виде тепла расходуется на предварительный нагрев и испарение метанола, перегрев паров метанола до требуемой температуры реакции и на проведение самой реакции разложения метанола. В результате этого энергосодержание синтез-газа увеличивается по сравнению с метанолом более чем на 20 %. Требуемое тепло при преобразовании синтез-газа из метанола на борту автомобиля можно получить от отработавших газов и теплоты, отводимой в систему ох-

лаждения двигателя, поскольку уровень температур отработавших газов двигателя с искровым зажиганием составляет от 300 до 800 °С. Этого вполне достаточно для эффективного разложения метанола. А тепло охлаждающей жидкости в системе охлаждения двигателя (около 90 °С) можно использовать для предварительного подогрева и испарения метанола. Схема такой системы конверсии метилового спирта представлена на рис. 2.

Для разложения метанола потребуется около 30 % тепла, отводимого в рабочем цикле двигателя с его ОГ и охлаждающей жидкостью. Таким образом, около трети тепла, безвозвратно теряемого в рабочем процессе ДВС, может быть повторно использовано для совершения полезной работы. Очевидно, что подобный способ утилизации тепла ОГ и теплопотерь в системе охлаждения для увеличения энергоемкости топлива, подаваемого в двигатель, является мощным средством повышения эффективности ДВС. Только благодаря этому при получении водородсодержащего синтез-газа из метанола с последующим использованием его в качестве топлива эффективный к.п.д. двигателя автомобиля может быть увеличен на 7...10 % по сравнению с к.п.д. двигателя, работающего на метаноле. Если к этому добавить прирост экономичности, который позволяет обеспечить работу двигателя на бедных водородовоздушных смесях, то становится реальностью достижение эффективного к.п.д. 50...55 % при уровне к.п.д. существующих поршневых двигателей 32...38 %. Это значительный скачок по сравнению со средним ростом менее 0,5 % в год за последние десятилетия.

Научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, направленные на создание подобных систем, проводятся в Государственном научном центре РФ по автомобильной технике (НАМИ). Исследователям удалось найти решения для ряда задач, связанных, в частности, с подбором соответствующих композиций катализаторов для разложения, выбором основных характеристик термохимического реактора конверсии метилового спирта и другими техническими проблемами, итогом чего явилось изготовление опытного образца двигателя, оборудованного такой системой.

(Окончание в следующем номере)

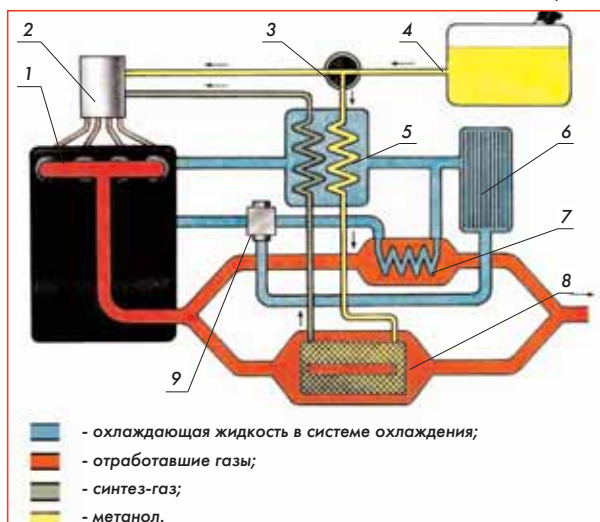


Рис. 2. Схема системы конверсии метанола в водородсодержащее топливо для питания двигателя внутреннего сгорания: 1 - двигатель; 2 - карбюратор-смеситель; 3 - переключатель рода топлива; 4 - топливный бак; 5 - теплообменник для испарения метанола и охлаждения синтез-газа; 6 - радиатор двигателя; 7 - пусковой подогреватель охлаждающей воды; 8 - реактор конверсии метанола в синтез-газ; 9 - термостат двигателя.



Экспериментальный автомобиль Antel-2, оснащенный топливными элементами

# ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ СОХРАНЕНИЯ И НАКОПЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ

Андрей Иванович Касьян

"Наступит время, когда тщательные и продолжительные исследования прольют свет на вещи, пока скрытые от нас".

Сенека

(Продолжение. Начало в № 2 - 4 - 2006)

Граждане городов-полисов эпохи расцвета античной Греции получили возможность приобретения качественного вооружения. Тем самым была решена проблема обороны: безопасность - основа прогресса. В это время изобретаются, по-видимому независимо, различные механизмы, метательные орудия, материалы, в том числе "армированный мрамор" - в мраморной заготовке выбирали (долбили, сверлили и пр.) отверстие, в которое затем помещали металлический стержень - арматуру и т.п. В 399 г. до н.э. Дионисий Старший, правитель греческой колонии Сиракузы, начал подготовку к войне с Карфагеном и приложил большие усилия к вооружению армии. Легенды говорят, что в это время была изобретена катапульта, которая стала не только сухопутным орудием. Огромные катапульты устанавливались на корабли. Одним из древнейших "линкоров" являлся корабль "Сиракузы", обладавший возможностью метать камни массой до 80 кг на расстояние 200 м. В это время происходит совершенствование лука. Способность посылать смертоносный заряд на достаточно большое расстояние сделала его грозным оружием.

Конструкторы использовали упругие силы в общей для катапульт и баллист части - накопителе энергии. Коромысла камнеметов двигали скрученные веревки, пучки сухожилий животных и даже женские волосы, предпочтительнее волосы блондинок, поскольку красящий пигмент волос ослабляет их сопротивление на скручиваемость. В Греции, еще не пережившей многовекового турецкого господства, гречанки в основном были светловолосые. Заметим, что согласно Плинию при осаде Карфагена горожанки отдали свои косы для баллист. Как показывают раскопки, при осаде этого города было выпущено около шести тысяч каменных ядер массой около полусотни килограммов. Раз мы упомянули сухожилия, то следует сказать, что они являются наиболее совершенными пружинами. У человека сухожилия способны запасать энергию в двадцать раз большую, чем стальные пружины той же массы. У кенгуру и некоторых животных это соотношение еще выше. Так что предел совершенства пружин еще не достигнут.

Что же касается греческих городов-полисов, то они все же не сумели оснастить свои отряды достаточно эффективным оружием. Заметим, что в Древ-

ней Греции ремеслом занимались исключительно иностранцы. К концу III в. до н.э. политическая обстановка изменилась. Македонская монархия, сконцентрировав в своих руках огромные средства и перевооружив армию, снабдила ее мощными орудиями и начала серию победоносных походов.

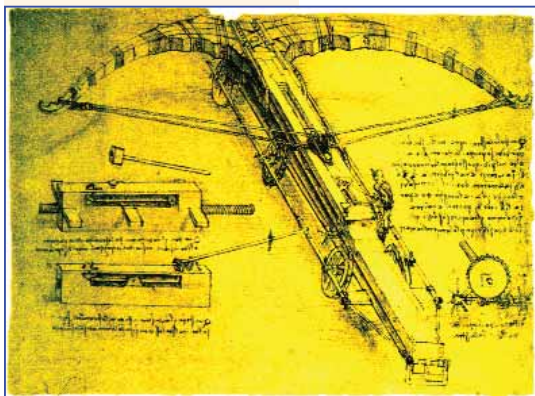
Одним из основных видов войск того времени были лучники. Использовались луки трех типов: малые (60 см), усиленного типа (1...1,5 м), состоящие из деревянного стержня, вдоль которого закреплялись длинные костяные накладки, а также луки сложной формы. Вы никогда не задумывались над тем, почему женихи, домогавшиеся руки Пенелопы, не были в состоянии натянуть лук Одиссея? Разве для мужчины это могло составлять проблему? Знакомые нам современные спортивные луки заряжаются довольно легко. Но лук Одиссея назывался palintonos (по-гречески - *παλιντονος*), в переводе - "изогнутый назад", т.е. от стрелка. Уже при закреплении тетивы он оказывался на восемьдесят процентов энергетически заряжен: для стрельбы оставалось натянуть только еще на двадцать процентов. Древние луки сильно не растягивались, поэтому скорострельность была выше!

На территории нашей Родины (в Сибири) в послеледниковый период получило широкое развитие косторезное производство, связанное с изготовлением луков усиленного типа. Для этого типа лука применялись стрелы с очень крупными каменными (бронзы в то время еще не было) наконечниками. Найдены усиливающие накладки из выпрямленных рогов оленя длиной 1,5 метра. Ученые до сих пор не сходятся во мнении, каким методом удавалось древним распрямлять ветвистые оленьи рога (а ведь из них еще и копыя делали, они куда как длиннее были).

Используя лук, человек постоянно стремился к его совершенствованию. На Руси с X в. известны луки с автоматическим спуском тетивы. В XII в. появились луки-самострелы для метания стрел массой до 2 кг и длиной более 1,5 м. Такие стрелы обнаружены в захоронении владимирского князя Изяслава Андреевича. По свидетельству Ипатьевской летописи, южный сосед - половецкий хан Кобяк имел чудо-оружие: лук, тетиву которого натягивали пятьдесят человек. Не помогло. Русские не испугались этой древней "Большой Берты", и полки под предводительством Святослава Киевского уничтожили рать Кобяка под Хоролом. Бой отвагу любит.

Развитие техники на территории Европы связано не только с естественнонаучными предпосылками, но и с особой социальной обстановкой. Это объясняется стремлением всей системы к выживанию (а любое

Катапульта Леонардо да Винчи



общество прежде всего стремится к выживанию, а уж после - ко всему остальному). Первые Крестовые походы, открытие дальних земель указали новое направление экспансии - экспансии познавательной. Деятельность организованных европейских академий обязательно включала в себя и исследования, и изобретения, и их внедрение. Это - в Европе. На Востоке такого не происходило.

И в Европе, и в Азии ресурсы любого рода - природные, материальные, производственные и людские - были весьма ограниченными. Это способствовало их насильственному захвату и переходу из рук в руки. Шли непрерывные войны. На Руси также не прекращались войны, в которых участвовали лучники. Радзивиллова летопись описывает русский "самострел", распространившийся затем в Европе под именем "арбалет". Впрочем, боевые самострелы на Руси получили небольшое распространение в силу ряда обстоятельств, в число которых входила и ...беспоощадность воздействия. Войну хорошо слышать, да плохо видеть, а постоянные междоусобицы на наших землях, в конце концов, - развитый вариант деревенской драки, не предполагающей в конечном итоге искоренения противника.

Стрельба из лука требовала большой физической силы, постоянных тренировок, определенной ловкости. В бою приходилось какое-то время выжидать, прежде чем произвести выстрел. В такой ситуации держать лук в натянутом положении было чрезвычайно трудно, как и вести продолжительную стрельбу. Таким образом, владение этим видом оружия было своего рода искусством. Постоянные войны и вовлечение в них все больших масс народа требовали простого и эффективного оружия, лишенного перечисленных недостатков. В некоторой степени удовлетворял этим требованиям арбалет. Правда, лука он заменить полностью не мог, так как ко всем своим преимуществам прибавил и недостатки, и все же многие его конструктивные достижения по эстафете перешли к огнестрельному оружию.

Сам по себе самострел имеет древнюю историю. Сейчас трудно точно установить место возникновения этого оружия. Целый ряд фактов указывают на Китай. В деле развития техники в Китае и Греции заметны определенные параллели. По-видимому, китайцы первыми применили осадные орудия, тараны, катапульты. Мощь монгольской Орды, прокатившейся по всей обитаемой Евразии, в немалой степени была обеспечена китайской изобретательностью. Технические достижения древней и утонченной цивилизации органически вписывались в культивируемый всеобщий порядок мироздания. Техника как орудие преобразования природы рассматривалась в Китае в качестве проявления небесной, нерукотворной природы вещей. Как и в греческих полисах, здесь широко распространялась мысль о том, что человек в своих трудах способен не только воспроизводить, но даже восполнять и совершенствовать "работу небес". Заметим, что война в Китае не считалась поводом для стяжания славы. Древняя мудрость гласила: "Одержав победу, держись так, словно ее не было".

В V веке до н. э. об арбалете упоминает древнекитайский автор Сунь Цзы. Фрагменты этого китайского оружия обнаружены археологами. В частности был найден очень изящный, довольно сложный и качественно сработанный бронзовый запорно-спусковой механизм. Первые арбалетные устройства в Китае, по-видимому, были станковыми. Об этом говорит их

древнее название: "шень би гунн" (сверхъестественный лук на ложе). Китадцам приписывают создание станковых многолучных и многозарядных арбалетов. По крайней мере, к началу правления императора Цинь (221-210 г. до н.э.) самострел (арбалет) стал главным оружием императорской армии. К 269 г. до н.э. армия насчитывала до 50 000 арбалетчиков.

Столь многочисленная армия, оснащенная единой системой вооружения (наверное, первой унифицированной системой в мире), неминуемо вызвала к жизни и точное производство оружия, и жесткие требования к себестоимости изделий, и единую систему "послепродажного" обслуживания - хотите или нет, но дешево-то хорошо не бывает. И вот последний факт, кстати, полностью исключил возможность использования противником китайского оружия: враг ремонтной базой не обладал. А мы все говорим "Форд, Крупп, Лепаж, стандарты, конвейер..." Китай!

В X в. в Китае были изобретены пороховые бомбы (разрывные снаряды в железной оболочке), которые металась также с помощью катапульт. В следующем веке прогресс в области создания вооружений привел к применению пороховых ракет. Перечень можно продолжить, а параллели вести и до настоящего времени.

Примерно одновременно с китайцами лук, установленный на деревянной основе, стали применять древние греки. Воины Эллады использовали как большие метательные машины, так и меньшие, например, "гастрареты", изобретенные Эпиромом из Тарента. Гастрареты состояли из деревянного ложа с направляющим лотком для стрелы и упором на обратном конце, к которому был прикреплен лук. Этот вид оружия был довольно громоздким, но все же переносным, можно сказать - ручным. В дальнейшем он применялся римлянами. У них было несколько видов ручного метательного оружия, которые носили названия "аркубаллист" и "манубаллист" ("стрелометы" и "каменометы"), откуда название "арбалет". Англичане называли его "кроссбоу" - "крестовый лук".

Из сказанного нетрудно понять, что арбалет представлял собой лук, укрепленный на торце деревянной ложи, снабженный спусковым устройством. Луки изготавливались обычно из дерева, но порою из металла, бронзы, стали и рога. Деревянные луки были дешевыми, и в случае поломки их можно было очень быстро заменить новыми, но они обладали недостаточной упругостью, из-за чего их приходилось делать довольно большими. Надо заметить, что упругость дерева уникальна. В ткацких станках, например, применяются упругие элементы - погонялки - для передвижения челнока. Они изготавливаются из бука. Попытки заменить их металлическими пружинами не увенчались успехом.

Металлические луки в силу свойств металла были более упругими, но на сильном морозе, особенно при натянутой тетиве, они покрывались трещинами и выходили из строя. Это явление называется хладноломкостью. В зимнее время предпочитали применять





Современный лук

арбалеты с луками из многослойных роговых пластин, обмотанных лыком и обтянутых пергаментом.

Гастрарфет подготавливали к выстрелу следующим образом: воин брался за концы дуги лука и сгибал его, уперев ложку в живот. При этом ложка должна была быть направлена несколько вверх. Откуда, кстати и название "гастрарфет": "заряжаемый с помощью живота" ("гастрос", в переводе, - брюхо, живот). При сгибании лука натяжение тетивы ослабевало, что давало возможность прикрепленному к ней с помощью захватов тяжелому ползуну скользить назад по специальному каналу в ложе, увлекая тетиву за собой. Когда ползун доходил до нужного места, он фиксировался с помощью стопора. После чего воин отпускал лук, тот распрямлялся, и тетива оказывалась натянутой. Таким образом, принцип действия был такой же как у лука, но способ реализации - другой: за тетиву не тянули. Вложив в направляющий лоток стрелу ("болт", от английского the bolt - удар молнии), а затем отпустив захваты на ползуне, можно было произвести выстрел. По другой версии, воин взводил тетиву, налегая животом на заднюю часть ложа и уперев переднюю в землю.

Инженеры времен античности работали над совершенствованием оружия и в какой-то мере решили проблему перезарядки, изобретая автоматическую баллисту. Магазин с "болтами" устанавливался над пазом спускового устройства, куда сразу же опускалась следующая стрела после того как предыдущая была выпущена в цель. Изобретение координатных прицелов (в виде перекрестия) улучшило меткость.

История арбалета в Европе имеет странное продолжение. До конца X века не найдено ни одного его изображения, поэтому ученые решили, что в раннем средневековье арбалет был забыт. В это трудно поверить. Так как все поля из-за войны заросли травой, то скорее забыли бы плуг, чем арбалет. Прав А. Фоменко, говоря, что летописцы слишком интенсивно взялись продлевать родословные своих хозяев "до Цезаря", манипулируя датами. К датам событий, происшедшим ранее XIII в. нужно относиться очень осторожно. Например, архитектор и инженер Витрувий знал периоды обращения планет с гораздо большей точностью, чем, например, Коперник. Период обращения Сатурна он знал с точностью до пяти знаков после запятой, а Юпитера - до трех. Великий итальянский поэт Франческо Петрарка (1304-1374), основываясь на филологических исследованиях, доказывал подложность привилегий, якобы данных Цезарем и Нероном австрийскому герцогскому дому. Казалось бы, мысль о привилегиях дому, начавшему править спустя 1200 лет после Цезаря и Нерона, сама по себе нелепа. Но так не считали оппоненты Петрарки.



Может быть, отрезок в 1200 лет надо сократить в несколько раз? Особенно растягивалась временная шкала хроник сотворения мира. У вавилонской историка Беросса (III век до н.э.) временной промежуток от первых людей до потопа составлял 432 тысячи лет. В распоряжении историка имелись сохранившиеся древние клинописные хроники, в которых содержалась история последних 150 тысяч лет. Впрочем, некоторые ученые считают, что нашей цивилизации предшествовала другая цивилизация, которая погибла. В пользу этого говорят различные археологические находки. Например, ископаемые человеческие следы в долине реки Палуски имеют возраст порядка 100 млн. лет.

Кратко проследим развитие и техническое совершенствование арбалета. Надо сказать, что это оружие внушало страх и, случалось, светские власти просто запрещали его использование на своих землях. К примеру, так поступил король Конрад III (1138-1152). Однако постепенное распространение этого оружия нельзя было остановить. Король-рыцарь Ричард Львиное Сердце, по легенде, был смертельно ранен при осаде замка Шалю-Шаброль именно из арбалета. Арбалет мог с огромной силой и на очень большое расстояние (дальше, чем знаменитый английский длинный лук) послать тяжелую толстую стрелу массой 400 граммов и более. Арбалетная стрела пробивала латы, а при попадании в шлем оглушала и выводила воина из строя.

Боевые преимущества арбалета сыграли, по видимому, свою роль в битве при Гастингсе, когда норманнские завоеватели одержали победу над английским королем Гарольдом II. Сам король был убит в этом бою. В записках ученой дочери византийского императора Алексея Анны Комнин (1083-1155), в которых рассказывается о первом Крестовом походе, упоминается т. н. "цагра" (tzagre). Анна писала, что "цагра - это лук, который нам незнаком". На этом основании ученые решили, что арбалеты были неизвестны в самом передовом государстве того времени - в Византии, в котором (поскольку Византийская империя - прямая наследница Римской) он собственно и был изобретен...

Арбалет имел ряд недостатков. Во-первых, им практически не могли пользоваться конные воины, а значит, он считался оружием низкого сословия - ведь знатные воины, рыцари, сражались верхом на боевых конях. Во-вторых, на время продолжительного заряжания арбалетчик должен был спрятаться в укрытие или прикрыться большим, почти в рост человека, щитом, иначе он сам стал бы жертвой неприятельского огня. Тяжелый щит делал воина менее подвижным, что в условиях боя становилось несомненным минусом. Поэтому лучше всего было стрелять из арбалета из-за укрытия в оборонительном бою (вспомним смерть Ричарда Львиное Сердце). Ну и, конечно, арбалет проигрывал луку в скорострельности, ведь опытный лучник мог выстреливать до 10 стрел в минуту! Арбалет того времени имел скорострельность на порядок меньше. Очень сложные по конструкции скорострельные арбалеты появились у китайцев в XIX веке. В настоящее время скорострельность арбалета доведена примерно до двух десятков выстрелов в минуту.

История знает случай, когда длинный лук вчистую переиграл арбалет. Правда, возможно, что дело тут было не столько в оружии, сколько в его обладателях. В самом начале Столетней войны произошла битва, в которой англичане смогли разбить численно превосходящее французское войско. 26 августа 1346 г. французский король Филипп VI решил дать генеральное сражение англичанам в Нормандии, у Кресси. Британское войско насчитывало около 10 тысяч бойцов, в основном вооруженных длинными луками пехотинцев и спешившихся рыцарей-латников. Армия французов более чем в три раза превосходила английскую по численности. Кроме многочисленных пеших ополченцев в нее входили примерно 8 тысяч конных латников и 6 тысяч итальянских (генуэзских) наемников, вооруженных арбалетами. Арбалетчики считались очень серьезной силой, их арбалеты по дальности стрельбы и убийной силе превосходили английские луки. Но... На севере

Франции стояла дождливая пора. Легенда гласит, что накануне битвы предусмотрительные английские пехотинцы сняли пеньковые тетивы со своих луков и спрятали их под шапками. Тетивы же генуэзских арбалетов (намертво соединенные с оружием) размокли и стали сильнее растягиваться. Кроме того, деревянные заряжающие и спусковые механизмы арбалетов стали заедать под действием влаги. Когда французы пошли в атаку, выяснилось, что "болты" арбалетов не долетают до англичан, в то время как град английских стрел во всю разил пеших и конных воинов Филиппа VI. Битва завершилась полной победой англичан и обернулась огромными потерями для французов. Считается, что в битве при Кресси был выбит цвет французского рыцарства, что в немалой степени способствовало закату его, как исторического явления.

Возможно, именно благодаря успешным действиям лучников арбалет в Англии почти не использовался, но в континентальной части Европы он состоял на вооружении вплоть до 16 века. Со временем конструкция арбалета становилась все сложнее и изощреннее. Особенно это касалось самого лука и устройств, облегчающих зарядание. Луки делали сложносоставными, то есть изготавливались из разных материалов, чтобы повысить прочность и упругость. Для ускорения зарядания придумывались разнообразные приспособления и механизмы: от натяжного ремня, тянущего на крючке тетиву (он позволял лучше задействовать мышцы спины стрелка), до сложных механизмов с применением рычагов, зубчатых колес и реек. С XV в. для арбалетных дуг начали широко использовать сталь, обладавшую большей упругостью. Согнуть такую конструкцию двумя руками было очень трудно, а подчас невозможно. Ручные арбалеты в это время стали подразделяться на легкие (натяжение тетивы до 50 кг) и тяжелые. "Английский ворот", названный так по месту своего первого применения, представлявший собою не что иное, как обыкновенный полиспаст (почти что колодезный ворот, но с многократно перехлестывающимися по блокам веревками; каждый оборот веревки по блоку полиспаста удваивал силу натяжения на его крючке) применяли для натягивания тяжелых крепостных арбалетов. Сила натяжения в таких устройствах иной раз доходила до пяти-сот килограммов и даже более.

Конструкция арбалетных болтов была весьма разнообразной. Изготавливались они довольно грубо, но положение центра тяжести тщательно выверялось. Болт состоял из наконечника (до 800 г) и древка, иногда снабженного оперением. Форма и масса древка всегда основывались на точном расчете. Наконечники болтов обычно были четырехгранными (заметим, что в охотничьих болтах для мелкой дичи применяли тупые наконечники, чтобы оглушать ударом, а не портить шкуру. Сказывалось, по-видимому, приближение эры практического гуманизма). Оперение, если оно имелось, изготавливалось из грубой деревянной стружки, кожи или пергамента. Его направление относительно древка было прямое или спиральное, под углом примерно 15 градусов к продольной оси древка, что придавало стреле в полете вращательное движение, повышало ее устойчивость и, соответственно, увеличивало меткость. На расстоянии 400...450 м хороший стрелок мог попасть в человека и сразить его, если тот не имел доспехов или, возможно, был одет только в кольчугу. Сила натяжения арбалета, стреляющего с рук (т. е. не станкового) и снабженного натяжным механизмом, не превышала 250 кг.

Изготавливались и арбалеты, в которых вместо желоба для болта устанавливалась трубка с прореза-

ми для тетивы. Такое оружие, из которого можно было стрелять пулями, получило название "аркебузы". Впоследствии аркебузами назывались примитивные ружья. Так открылась дорога ручному огнестрельному оружию.

С изобретением огнестрельного оружия применение упругих элементов не сократилось, а даже увеличилось. Чем сложнее становились ручницы и фузеи, тем большее число всевозможных упругих элементов включалось в их конструкции. Здесь мы встретим и пластинчатые пружины, и спиральные цилиндрические, и спиральные плоские пружины и т.д.

Окончание истории массового боевого применения арбалета приходится на конец XIX - начало XX века. Усовершенствованные многозарядные арбалеты, о которых мы здесь уже упоминали, использовались китайскими солдатами в войне против японцев в 1894-1895 годах. Самодельные "самострелы" применялись даже в позиционных сражениях Первой мировой войны, когда на полях грохотали танки, а в небе кружили боевые самолеты.

Подводя итог сказанному, добавим, что арбалет впервые на поле боя реализовал "принцип Кольта", когда непобедимый рыцарь, герой многочисленных сражений, владеющий тысячами крестьян, мог быть сражен арбалетчиком, прошедшим простую подготовку и во всем подобного его смердам. Рассказывают также, что Наполеон, убедившись в малой пригодности гладкоствольных ружей для снайперской стрельбы (нарезные в то время были дороги, недостаточно скорострельны и не обладали нужной точностью), всерьез задумался о перевооружении части стрелков арбалетами.

Последнее применение лука на европейских полях сражений также связано с наполеоновскими войнами, но применяли его иррегулярные части российской кавалерии (калмыки и пр.). В настоящее время лук претерпел стопроцентную конверсию. Но арбалет не снял погоны и остается в строю спецслужб некоторых государств.

Упругие элементы широко применяются в современной технике. Пружины устанавливают на марсоходах, луноходах и др. Разные пружины: цилиндрические, конические, сжатия, растяжения... Они работают в муфтах безопасности, передающих вращение от двигателей к валам, обеспечивают плавную работу механизмов. Очень популярны упругие элементы в спорте: силомеры, тренажеры...

Новый класс двигателей и подъемных механизмов создан с помощью упругих элементов, обладающих "памятью формы". Н.М. Тиханэ изобрел подъемник в виде конической пластинчатой пружины. Группа изобретателей во главе с В. Селиверстовым предложила намагнитить конусную пружину вдоль продольной оси. Получились витки наподобие магнетиков. Южный полюс одного витка взаимодействует с северным полюсом другого. При растяжении они притягиваются. Упругость витков с намагничиванием получила хорошее подспорье. Особый класс пружин образуют биметаллические пластинки, но об этом мы будем вести разговор в следующем номере.

Вот так, вкратце говоря, связались пружинные механические накопители энергии и прогресс человечества.



Современный арбалет

На высоту в 32 километра намеревается подняться изобретатель Брайан Уокерн. Импульс его самодельной ракете должен придать мощный арбалет. Идея заключается в том, чтобы с помощью арбалета натянуть и отпустить углеродную тетиву длиной в 7,5 метра, а затем запустить реактивные двигатели аппарата, тяга которых составляет 612 кгс. Конструкция напоминает по внешнему виду космические корабли из "Звездных войн". Тормозить аппарат при посадке будут ракетные двигатели на основе перекиси водорода. Изобретатель планирует использовать скафандр российского производства стоимостью в 15 000 долларов США и мечтает о тех днях, когда гигантские арбалеты будут запускать в воздух любителей "арбанавтов".

# ДАЛЬНЕЙШЕЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СУДОВЫХ ПАРОВЫХ МАШИН. ТУРБИНЫ ОТРАБОТАВШЕГО ПАРА

Виктор Сергеевич Шитарев, капитан дальнего плавания

Патент на изобретение судовой паровой турбины в 1883 г. получил шведский инженер Г. Лаваль. Однако претворить в жизнь свое изобретение он не сумел. В этом отношении больше повезло англичанину Чарльзу Парсонсу. В 1897 г. он построил опытное судно "Турбиния" водоизмещением 44,5 т, на котором была паротурбинная энергетическая установка (ЭУ) мощностью 2000 л.с. На ходовых испытаниях судно развило скорость хода 19,7 узла. Результаты ходовых испытаний не устраивали конструктора, поэтому "Турбиния" прошла существенную модернизацию. Мощность паротурбинной установки довели до 4000 л.с. Это принесло положительный результат: на следующих испытаниях судно показало скорость хода 34,5 узла. В том же 1897 г. "Турбиния" была представлена на Всемирной выставке в Париже, а затем на параде Королевского ВМФ, организованного по случаю 60-летия королевы Виктории, прошла перед строем боевых кораблей. Говорят, что при этом "Турбиния" совершила какие-то нарушения. Командир эскадры приказал остановить судно. К "Турбинии" устремились английские миноносцы, но Ч. Парсонс дал полный ход, и судно легко ушло от погони.

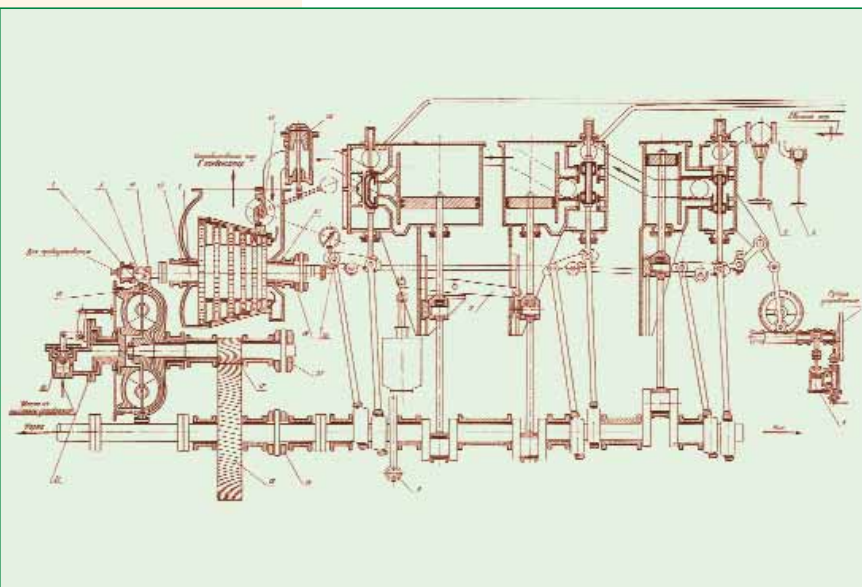
Казалось бы, путь паровой турбине на морские суда открыт, но на самом деле он оказался достаточно извилист. Уж больно надежными выглядели паровые поршневые машины - компаунды и тройники. Перед этими "монстрами" турбина выглядела более чем скромно: ее размеры не впечатляли. К тому же

выявились и недостатки, например, слишком большая частота вращения вала. Как известно, гребной винт обладает наибольшим коэффициентом полезного действия, если он вращается с угловой скоростью около 100 оборотов в минуту, а при большей частоте вращения винт начинает работать в режиме кавитации, заметно снижающем его к.п.д., да и корма судна при этом начинает вибрировать. Со временем этот недостаток свели к минимуму, изобрели суперкавитирующие винты.

А как быть с другим недостатком? Известно, что паровая поршневая машина прекрасно работает как на передний, так и на задний ход, то есть она реверсируется. На турбине реверс невозможен, она способна крутиться только в одну сторону, и здесь ничего не поделаешь. Эту проблему решили, установив на турбоходах отдельную паровую турбину заднего хода. Ее мощность должна была составлять 30 % мощности турбин переднего хода. Так продолжается и поныне. Но основные преимущества турбины перевесили ее недостатки - это малые габариты, высокие мощность и надежность. По массо-габаритным характеристикам паровые машины не идут ни в какое сравнение с турбинами. Но и турбина должна была пройти свой путь к совершенству.

Как известно, чтобы полнее использовать энергию пара на паровых поршневых машинах тройного расширения применяли два ЦНД, то же делали и на некоторых компаундах, предусматривая в конструкции один ЦВД и два ЦНД. Все бы ничего, но на малых ходах один ЦНД становился лишним. Поэтому возникла идея: один ЦНД заменить паровой турбиной и на малом ходу ее не включать вообще. Это был неплохой выход. В качестве примера возьмем энергетическую установку печально известного "Титаника". Она была достаточно интересной. Судно имело три гребных винта. Бортовые винты вращали два спаренных компаунда мощностью по 19 195 л.с., частота вращения каждого из них на полном ходу составляла 79 оборотов в минуту. Средний винт вращала паровая турбина отработавшего пара мощностью 19 920 л.с., что доводило общую мощность ЭУ судна до 58 310 л.с. Проектная скорость хода "Титаника" должна была достигать 25 узлов (46,3 км/ч).

Судно было построено в 1912 г. на судовой верфи "Харланд энд Волф" в Белфасте для судовладельца "Уайт Стар Лайн". "Титаник" имел длину 269 м, ширину 28,2 м, высоту корпуса 18,1 м и осадку 10,5 м при водоизмещении 53 140 т. Судно могло принять на борт 2584 пассажира. Надо полагать, что судовладелец "Титаника" все же предполагал включить-



Паровая машина трехкратного расширения с реактивной турбиной



ся в борьбу за обладание призом "Голубая лента Атлантики", который получал самый быстроходный лайнер на линии Нью-Йорк - Европа. Хотя на этой линии уже работали турбоходы "Мавритания" и "Лузитания", способные развивать максимальную скорость 26 узлов. Однако "Титанику" так и не удалось полностью раскрыть свои скоростные возможности, о чем можно только сожалеть, ибо каждый судовладелец до поры до времени держал в секрете скоростные возможности своего судна. Сегодня все тайны "Титаника" хранит Северная Атлантика, а обстоятельства его трагической гибели до сих пор будоражат умы. Достаточно сказать, что о гибели этого лайнера уже сняты четыре художественных фильма.

Впервые с турбиной отработавшего пара я познакомился в начале 50-х годов, когда проходил практику на учебном судне "Краб". Это был трофейный немецкий базовый минный тральщик, переоборудованный сначала в рыболовный траулер, но для рыбалки его корпус оказался слабоват, поэтому в трюмах оборудовали учебные аудитории и кубрики для курсантов и передали в распоряжение Мурманского мореходного училища (ММУ). В качестве учебного судна "Краб" прослужил много лет. Судно имело водоизмещение 1000 т, паровая поршневая машина тройного расширения развивала мощность 900 л.с., еще 200...250 л.с. добавляла турбина отработавшего пара. "Краб" на полном ходу легко разогнался до скорости 12...13 узлов, был устойчив на курсе, хорошо "отыгрывался" на волне. На нем постоянно проходили практику 60 курсантов не только из ММУ, но и других "мореходок".

Позже мне довелось командовать углерудовозом "Воркута", построенным в 1953 г. Это судно относилось к типу "Донбасс", серия строилась по заказу Советского Союза на польской судовой верфи Stocznia Gdanska - GdK. Их энергетическая установка состояла из спаренного компаунда картерного типа с турбиной отработавшего пара общей мощностью 2100 и.л.с. (машина - 1550 л.с.; турбина - 550 л.с.). Полная грузоподъемность углерудовоза (дедвейт) составляла 5070 т, длина 108,25 м, ширина 14,6 м и осадка при полной загрузке 6,68 м. Эксплуатационная скорость хода не превышала 11,5 узла (21,3 км/ч).

Затем меня направили работать на другой однотипный пароход "Марите Мельникайте" постройки 1957 г. По своим размерениям суда практически не отличались друг от друга. Например, дедвейт "Марите Мельникайте" был 5019 тонн, а общая мощность энергетической установки была больше - 2300 и.л.с., из них 600 л.с. давала турбина отработавшего пара. Ходовые качества этого судна были получше: в хорошую погоду "Марите Мельникайте" разогналась до 13 узлов. В этом случае частота вращения гребного винта доводилась до 120 оборотов в минуту. Перегретый пар температурой 325 °С под давлением 16,5 ата подавался к машине от двух секционных котлов.

Максимальная мощность турбины отработавшего пара была 620 и.л.с. при 4660 оборотах в минуту, наибольшее давление пара перед турбиной равнялось 0,58 ата при давлении в конденсаторе 0,05 ата. Семиступенчатая турбина работала совместно с двухступенчатой зубчатой передачей и гидромуфтой, гидравлическими устройствами управления и защиты, а также маслоохладителем, масляным




Углерудовоз "Воркута"

фильтром и шестеренчатым масляным насосом, собранными в едином агрегате.

Серия аналогичных сухогрузов типа "Коломна" строилась для Советского Союза в ГДР с 1952 по 1956 гг. на судовой верфи Schiffswerft Neptun - Ros. Суда имели дедвейт 4355 т и паровую поршневую машину с турбиной отработавшего пара номинальной мощностью 2450 и.л.с.. В экстренных случаях энергетическая установка могла развивать максимальную мощность 2750 и.л.с. Пар перегревался до 310 °С при давлении 14 ата. Суда имели проектную скорость хода 12,5 узла (23,15 км/ч).

Номинальная мощность турбины отработавшего пара составляла 740 и.л.с., максимальная - 870 и.л.с.; номинальная частота вращения ротора турбины 5400 оборотов в минуту, максимальная - 5650, предельная - 6600 оборотов в минуту. Давление пара перед турбиной нормальное 0,45 ата, максимальное - 0,55 ата; давление в конденсаторе 0,05 ата; передаточное отношение в редукторе 60. Компонировка турбозубчатого агрегата (ТЗА) была такой же, как на углерудовозах типа "Донбасс". Надо отметить, что описанные энергетические установки отличались дешевизной, простотой устройства и обслуживания. Они хорошо поработали на судах торгового флота. Как правило, их к.п.д. превышал 20 %, что для паровых машин было совсем неплохо.

Мы не раз попадали в жестокие шторма, когда, стоя лицом к ветру, начинаешь чувствовать себя воздушным шариком: вдох еще можно сделать, а вот выдох - нельзя. Про волну уже не говорю - "выше сельсовета". Но в каких бы передрягах не оказывались, мы ни разу не усомнились в надежности нашей энергетической установки. Нужно "число оборотов на гребной винт" машинная команда всегда обеспечивала четко. Поэтому о паровых поршневых машинах у меня остались исключительно добрые воспоминания. Очень жаль, что ныне они ушли в прошлое. 

# "БУДУ ЛЮБИТЬ ВСЕГДА"

**Анатолий Маркуша**

(Продолжение. Начало в № 1 - 6 - 2005, № 1 - 4 - 2006)

Приходит в школу Герой Социалистического Труда, мастер, забыл только какого завода, токарь. У нас профориентация. И гость, понятно, начинает перед ребятами свою профессию нахваливать. Вот, мол, некоторые думают, будто токарное ремесло устаревает, вроде оно вчерашний день, и техническая революция токарей вообще отменяет. Наш гость с этим не соглашается, уверен - новые времена сделают его специальность только сложнее и интереснее. Тут же он рассказывает занятные байки, как один мастерюга выточил на своем станке куб, а другой, еще более великий мастерюга - шесть шаров, один в другом, а третий, которому даже памятник вроде поставили или только решили поставить, умудрился выточить... топор!

Час целый человек говорил. Интересно. А потом предложил задавать ему вопросы.

Без задней мысли я у него спросил: как он думает, если к нам завтра придет другой Герой Социалистического Труда, тоже замечательный мастер, но только не токарь, а, допустим, электросварщик, что он станет нам рассказывать?

Классная, конечно, меня тут же обругала, велела садиться. А Валька Сажина даже извиняться полезла, ей, видите ли, за Каретникова "просто совестно". Каретников невоспитанный! Каретников несознательный!

Ладно, допустим, я и в самом деле что-то не совсем так выразил, но смысл-то правильный был. Разве же всяк кулик свое болото не хвалит? Сто и тысяча разных мастеров обязательно будут доказывать, что у каждого специальность самая-самая лучшая! И это нормально.

Другое дело, как нам работу выбирать, когда мы ничего толком не знаем, ничего не пробовали, а многих вещей и не видали. К примеру, я буровую вышку только по телевизору наблюдал. Как выглядит долбежный станок, не представляю, за кулисами театра и минуты одной не был, глубже метро куда не спускался...

А выбирать надо.

Кто придумал каждую весну выклеивать на афишные щиты плакаты: интересная профессия - водитель автобуса; рядом другой плакат: интересная профессия - водитель трамвая; дальше интересная профессия - водитель троллейбуса? И думает, что помогает ребятам найти себя, бумаги ему не жалко, краски, клея. А главное - не стыдно свою глупость на всеобщее обозрение выставлять?!

Странно, но тут даже отец ничего толком сказать не может. Заводил с ним разговор, и не один раз, а он начинает: вовсе, мол, это не самое важное, чем ты зарабатываешь, кем работаешь. Важнее - удачно выбрать образ жизни.

Может, я не совсем все запомнил, но смысл его речей таков. Скажем, если ты компанейский малый, легко сходишься с людьми, если имеешь тяготение и любопытство к технике, то работа ремонтного механика, наладчика станочного оборудования, слесаря-

сборщика тебе вполне подойдет; если же у тебя характер замкнутый, если тебя тянет к уединению, то при прочих равных условиях стремиться лучше не в бригаду, а куда-нибудь в часовую мастерскую или, скажем, в ателье ремонта пишущих машинок, где работают вообще-то точно такие же механики и наладчики, но индивидуально.

Тогда я спросил: а кому, он считает, подходит работа в экспедиции, в поисковых партиях, в строительных поездах - словом, выездная работа, работа с колес?

- Правильно задаешь вопрос! - сказал отец. - Для экспедиционника противопоказано: домоседство - раз! Страсть к обарахлению - два! Большая семья - три! Туда нужны бродяги, легкие на подъем мужики, любители природы и свежего воздуха, закаленные парни. Им чтоб и насморк, и сквозняк - тьфу! А еще экспедиционнику надо уметь принимать самостоятельные решения. К начальству по трассе какой-нибудь ЛЭП особенно не набегаешь: туда-сюда, глядишь, и тысяча километров, а то и больше выйдет. Быть самому себе толковым начальником - это не каждый может...

Вот в таком роде высказывался отец. Все правильно, возразить нечего, а как его линию к себе применить, пока не знаю.

Хорошо Оле. Она Риту каждый день дрессирует, и никаких сомнений у нее теперь нет: будет в детском садике работать. Я спросил: а почему именно в садике? Она говорит, что любит малышей, что ей интересно с ними заниматься, а больше ничего и не надо...

Иногда мне кажется, вроде Оля куда взрослее, чем я. Вот и про то, как она будет дальше жить, знает. Она теперь часто, прямо как моя мама, говорит: "Это - неудобно, так - неприлично..." Начинаю злиться, а она не может понять - почему. Раньше мы были с Олей почти как один человек: она засмеется, а я знаю, в чем дело. Или: у меня кошки на душе заскребнут, Оля ничего не спрашивает, но точно знает, отчего и почему. А теперь не то. И мне Олю, наверное, не догнать...

Учителям и вообще всем взрослым, хлебом их не корми, только дай поговорить о пользе книги! Книга - лучший друг человека! (Собака тоже.) Книга - наш самый надежный спутник! Читай больше - узнаешь, что было, что есть и что будет. Как тут спорить? Правильно говорят: учение - свет. Но не все же я из книг вычитал.

...Меня маленького мама купала. Само собой, голго. Как начинает мылить и мочалкой тереть, я - смяться: щекотно... Но теперь я же не стану при ней раздеваться. А почему? В принципе представляю, только не из книжного чтения... Леха мне кое-что дал понять! Он-то и про стыд, и как дети появляются, и что надо делать, чтобы не появлялись, понимает... Только рассуждает про все это как-то противно - с ухмылочкой, с хихиканьем. Но польза от его трепки была. Кое-что я понял, а кое-что не совсем усвоил, но многие незнакомые до того слова запомнил. И тогда поглядел в энциклопедию - и сразу стал светлее. Энциклопедия -

вот книга! Всем, можно сказать, книгам книга! То, что в школьном учебнике жуют, жуют и жуют, в энциклопедии в пять или десять строчек втиснуто. Коротко, ясно, четко. С некоторых пор первое чтение у меня - энциклопедия, словари, справочники... Никогда раньше не думал, что таких книг существует на свете прорва! Как в справочном отделе библиотеки заинтересовался, так у меня шарики за ролики покатались...

..Здесь в рукопись Вундеркинда оказались вложенными листки размером несколько меньше остальных. Исписаны они были его, Кирилла, почерком, но не таким аккуратным, как обычно. Или он очень спешил, а может быть, писал с отвращением: отделаться бы поскорее...

Вчитавшись, я понял: передо мной черновик сочинения, посвященного сравнительной характеристике Остапа и Андрия - сыновей Тараса Бульбы. Подумал: оставить или убрать? И решил - не стану исключать. Не зря говорится: "Из песни слова не выкинешь".

"Тараса Бульбу" сочинил Николай Васильевич Гоголь. Писатель давно признан классиком и даже солнцем российской прозы. (Кем?) Его очень уважал сам Александр Сергеевич Пушкин. В отличие от главного астрономического светила, на российском литературном солнце пятен быть не может, то есть замечать их не полагается! Если уж кто возведен в официальный ранг классика, само собой подразумевается: каждое его слово - чистый бриллиант в платиновой оправе.

Здесь оставлено довольно много свободного места - вероятно, Каретников собирался что-то дописать. - А. М.

На первой же странице классического "Тараса Бульбы" Гоголь подробно рисует сцену приезда сыновей Тараса домой. Когда папаша начинает подшучивать по поводу не казачьей одежды бурсаков, их длинных и нескладных свиток, Остап решительно заявляет: "...хоть ты мне и батько, а как будешь смеяться, то, ей-богу, поколочу". И они, Тарас с Остапом, пусть не совсем всерьез, но дерутся на кулачках.

В этой сцене дана, так сказать, основательная записка (?) на характер старшего сына, Остапа.

Из дальнейшего повествования читатель узнает, что в бурсе Остап пытался сначала хорошо учиться, но его все равно наказывали (метод: драть, давить!). И любопытно: "Остап Бульба... никак не избавлялся от неумолимых розг..." Неправедность постоянно торжествовала, а он вынужден был терпеть. "Остап всегда считался одним из лучших товарищей, он был всегда одним из первых, приходивших под знамена предприимчивого бурсака (тут Гоголь подчеркивает: Остап не из породы лидеров. Он старательный, смелый и несколько туповатый исполнитель) и никогда, ни в каком случае не выдавал своих товарищей".

По-моему, все уже ясно. Следующие дальше оценочные слова мало добавляют, они только подтверждают характеристику старшего сына Тараса Бульбы: "Он был прямодушен с равными" и т. д.

Здесь снова - пропуск. - А. М.

Поведение Остапа в казачьем стане на Хортице, в походе, в боях до самой мученической его смерти от рук злокозненных поляков вполне соответствует сути этого популярного гоголевского персонажа.

Остап в глазах Гоголя, без сомнения, герой положительный, хотя и изображен он ограниченным, исполнительным, слепо преданным казачеству, ни о чем не думающим и не рассуждающим (тут надо подкрепить цитаткой, чтобы насмерть била!) Возможно, для времени, в котором жили Бульбы, Остап и был идеаль-

ным "лицарем" (так у Гоголя). Несколько странно, что сам Николай Васильевич, писатель эпохи декабристов, ни в чем не осуждает своего героя, а откровенно им любит. Наверное, многие современные майоры, не читавшие Гоголя, тоже принимают Остапа героем номер один: он уж точно не из породы "больно грамотных"!

О младшем сыне Тараса, Андрии, Гоголь пишет: "Он был изобретательнее своего брата; чаще являлся предводителем довольно опасного предприятия (в данном случае речь идет о внутренних баталиях в бурсе. Вершиной подвига считался тут грабеж в соседском саду или мелкий разбой на базаре). И иногда с помощью изобретательного ума своего, умел увертываться от наказания..." Андрий - в некотором роде комбинатор, хитрован.

Николай Васильевич Гоголь особенно выделяет и подчеркивает, что, начиная с восемнадцати лет, Андрий постоянно думает о женщинах, и с сочувствием замечает: "...что в тогдашний век было стыдно и бесчестно козаку". Сначала полагалось отведать битвы, показать себя бойцом.

Станный поступок совершает однажды Андрий. Увидав в окошке красавицу дочь ковенского воеводы, он ночью, через дымоход (!) проникает к ней в комнату и... стоит перед красавицей совершеннейшим безмолвным пнем, не выговаривая ни одного слова. Сперва девица сильно пугается. Еще бы! Из камина вылезает такой лоб, небось весь еще и в саже, - испугаешься! Но потом приходит в себя и развлекается с Андрием, как будто это кукла.

Анекдот? Анекдот!

Но последствия этой, извините, Николай Васильевич, глуповатой комической истории оказываются более чем трагическими. Позже, уже в боевой обстановке, когда Андрий вновь встречает красавицу полячку (в стане врага!), он произносит перед ней программную речь: "Что бы тогда за любовь моя была, когда бы я бросил для тебя только то, что легко бросить! Нет, моя панна, нет, моя прекрасная! Я не так люблю: отца, брата, мать, отчизну, все, что ни есть на земле, - все отдаю за тебя, все прощай!" (Стиль, так сказать! Но не это самое важное). После этих предательских слов Андрий переходит на польскую сторону.

Двух мнений тут быть не может - изменник! Довольно, к тому же, примитивный: сколько-нибудь серьезных поводов для измены родине у него нет, только прекрасные глаза красавицы полячки.

Тарас Бульба вполне закономерно приговаривает собственного сына-изменника к высшей мере наказания и своей же рукой приводит приговор в исполнение.

Таким образом, покладистый, верный Остап по всем ведущим свойствам характера - полная противоположность брату, эгоисту и предателю Андрию. Кровь одна, а личности диаметрально противоположные. Можно сказать, антиподы! Впрочем, кое-что общее между братьями есть. Оба они ужасно неразвиты (даже для того времени), оба совершенно безыдейны: они воюют без каких-либо идеалов, лишь прикрываясь словами о боге, вере, отечестве, а на самом деле



их привлекает война - грабежом, откровенным бесчинством. Они мучают людей, терроризируют, население, пьянствуют - война! И тут возникает серьезный вопрос: а иначе бывает ли на войне?

Мы учим по истории: несправедливые войны (?) не порождают настоящих героев. Поэтому мне кажется странным, что образованный человек, яркий обличитель самодержавия, Гоголь этого вроде не понимал, а, скорее, делал вид, что не понимает. Человек, который пишет книги, непременно желает получить свою порцию славы - не славы, так, на худой конец, признания. И Гоголь, мне, во всяком случае, так представляется, не составлял исключения. Хотя...

**22.** Что-то очень давно в нашем классе не штормило. Тишь да гладь. Никакими происшествиями даже не пахнет. Живем до ужаса пресно. Один раз я пробовал еврейскую мацу - на Пасху меня угостили, - вкус точно такой же пресный: ни соли, ни перца... Один хруст, когда ломаешь.

Исключительно чтобы немного всколыхнуть обстановку, порадовать народ, я смахнул у Ферзя - он наш математик - очки на уроке... Почему такое странное прозвище? Объясняю. Сам - длинный и тонкий, а головка - маленькая-маленькая, лысенький такой шаричек. Поглядишь - ну натуральный ферзь.

Да, очки я смахнул с учительского стола, пока он носом возил в каких-то таблицах, и тихонечко опустил в Ферзев портфель. Портфель стоял раскрытым у ножки стола. Вся операция была исполнена на счет три-четыре...

А каких-нибудь пять минут спустя началось: он цап туда, цап сюда, а очков нет. Шарит по столу, хлопает себя по карманам... Как корова языком слизала!

- Только что, ребята, - говорит важно Ферзь, - вот на этом месте лежали мои очки... Никто не заметил, куда их сунул?

Он сунул!

- А на кафедре нет?

- Вы в боковом кармане пошарьте...

- Бабушка у нас тоже всегда очки ищет... Иногда даже у себя на лбу проверяет...

И пошла потеха. Все стараются помочь, шум, гвалт... Вдруг вскидывается Сонька Крохина и орет, как будто пожар, не меньше:

- Не стыдно, мальчишки! Совесть у вас есть?! Отдайте человеку очки, - и еще шипит, потише. - Он же слепой без очков.

Да-а, как-то нездорово поворачивается шутка!

Ну и надо понимать, Ферзь слепой, но вовсе не глухой. Сонькны вопли и ее шипение он услышал и понял, что очки у него, как бы сказать, сперли мы. Удивился, надулся бы, нет - вроде что-то хотел сказать, но раздумал, отошел к окну, отворил форточку, выудил из мятой пачки "Дуката" сигарету и... закурил. Сроду я такого еще не видел - на уроке! В классе! У-ч-и-т-е-л-ь!..

Тут записка мне. Димка Аверкин перекинул прямо в руки. Читаю: "Отдай. Он же совсем слепой". Почерк вроде Олин. Оборачиваюсь, чтобы выяснить, но натякаюсь взгля-

дом на Леху. Этот доволен! Показывает большой оттопыренный палец - во! Сила, мол.

А Ферзь возвращается к столу и спокойно, обычным своим голосом говорит:

- Прошу записать задание на дом, - и диктует номера примеров, страницы. Потом что-то еще разъясняет про график... Словом, если войти в класс, - гладь, тишь, полный порядок.

И как-то всем перестает быть весело. И мне вроде неловко. Для чего только я Ферзю эту глупую бяку сделал? Может, встать и сказать, где его очки?.. Но не успеваю.

- Каретников, - спрашивает вдруг Ферзь, - ты не можешь посоветовать, где мне еще поискать очки?

- Советую поискать в портфеле, - говорю я, покрываясь липким, подлейшим потом.

- Где-где? - Он делает вид, что не понял, вынуждая меня повторить:

- В портфеле посмотрите.

Очки он, ясно, находит, надевает, пожимая плечами, крутит головой, бормочет: "С ума сойти можно!" - и все. Урок продолжается.

Ферзь никому не нажаловался, крови не требовал, однако так просто эта история тоже не кончилась. Вечером телефонный звонок:

- Это я, Рита. - И тут же сообщает - она про очки, записку и портфель все знает... (Я понимаю: события обсуждались у Масленниковых.) И Рита хочет знать: - Ты Кирюша, как про себя считаешь, - ты злой или не злой. Скажи по правде.

- Я ужасный злодей и даже людоед. Меня надо отерегаться, Ритка-нитка!

Она терпеть не может, когда к ее имени пририфмываются "нитку", "плитку", "калитку" или еще что-нибудь совершенно бессмысленное, но так легко цепляющееся.

- Значит, ты злой... Тогда, Кирюша, будь пожалуйста, хоть справедливым. Ладно? - И голосок у нее делается тоненьким-тоненьким, как у мышки.

Все складывается: поведение в классе, дурацкий этот звонок, мысли, набегающие неизвестно откуда... Надо кончать с этим. Выбрав подходящий момент - свидетелей поблизости нет, - подхожу к Ферзю:

- Вы на меня сильно обиделись? - спрашиваю, вместо того чтобы просто, без затей извиниться: так, мол, вышло... постарайтесь понять и извините дурака.

- Обиделся? - переспрашивает Ферзь. - За что обиделся?

- За очки, - говорю я и уже люблю себя собой: вот какой я правильный - сам себя наказываю!

- Нет, - говорит Ферзь, - совсем я на тебя не обиделся.

Надо же! Ну, ни на что такое не похоже. И я ни к селу, ни к городу любопытствую:

- Но почему же?

- На дураков, Каретников, не обижаются. Вот так, милый.

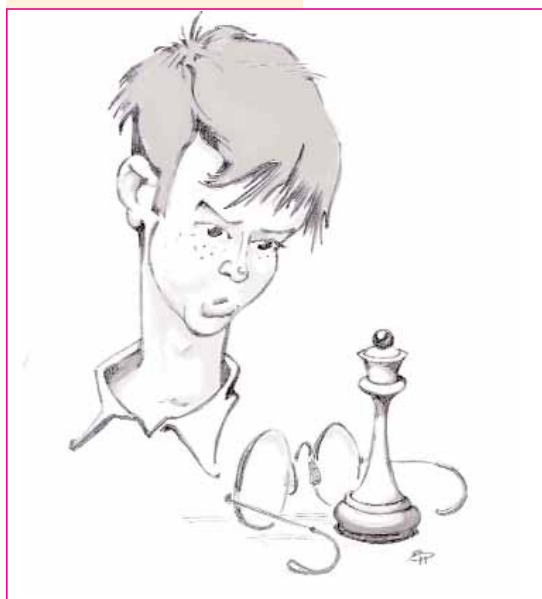
Отрубил и пошел.

Но разве я на самом деле дурак, глупый, ничтожный? Не верю. Может, Ферзь выдал мне такую аттестацию в знак полного презрения?

Делиться новыми огорчениями мне ни с кем не хочется: не люблю плакальчиков. Но я все-таки нахожу повод, чтобы завести подходящий разговор с Олей. Спрашиваю, какого она мнения о моих умственных способностях, а проще - какого я размера дурак?

Оля приподнимает бровки:

- Кто дурак? Ты? Ерунда, Кирилл, никакой ты не ду-



рак. Просто ты мальчишка с большими завихрениями. Это у тебя скоро должно пройти...

А вот Леха придерживается несколько иного мнения.

- Ясно, дурак! - припечатывает Леха. - Кто только тебя за язык дергал! Для чего сказал, где очки? "Поглядите в своем портфеле"! Да он бы неделю искал, если бы ты не раскудахтался.

Ничего, если крупно мерить, не произошло. Никто не умер. А меня преследует плохое настроение. Иногда даже кажется - заболела вроде. Это от угрызений совести так муторно и противно.

Хорошо, отец из рейса вернулся и зашел к нам.

Вот кто умеет правильное слово кинуть. Он сразу схватил, что к чему, и сказал так:

- В дурацкое положение попадают только умные люди - дураки из такого состояния никогда не вылезают, в дурацком положении они пребывают бессрочно... Три к носу. Случается.

Интересно, по головке меня папа не погладил (было бы за что!), а все-таки камень с души снял...

Отвлекусь немного, вспомню про самый лучший праздник на свете - про Новый год! Только я не собираюсь рассказывать о танцах вокруг елки, о каких-то там заморских игрушках - меня занимает совсем другое. Когда пришел этот Новый год, отец приехал на елку не покупную, а прихваченную из лесу, по дороге в Москву. Незаконно он ее прихватил. Что было, то было. Деревцо не очень большое - с метр; он его не спилил, не срубил, а выдернул. И так и привез, с комом земли на тонких, змеистых корнях. Укреплять эту елку в крестовине мы не стали. Воткнули ее в старую кастрюлю вместе с комом земли, добавили еще песку и притрамбовали.

Отпраздновали Новый год, отгорели на елочке свечки, и выставили нашу красавицу на балкон, чтобы потом, как и все делают, выкинуть на помойку. Да почему-то не выкинули. Забыли, скорее всего.

Теперь весна. Солнышко стало припекать, снег оседает, можно сказать, на глазах. Такое впечатление, будто видать, как поворачивается планета. Мама разрешила отклеить окна. Вчера вышел я на балкон и... ошалел - елка, простояв три месяца на балконе в кастрюле с землей, не засохла, не погибла. Она смотрела на меня, зеленая-зеленая, как в лесу. Понимаете, жива оказалась!

Может, это случайность? А вдруг не случайность?

Подумайте, сколько в стране, во всем мире каждый Новый год совершенно зря погибает деревьев, если елку можно сохранить?!

Вот бы елки приглашать на наш человеческий праздник Нового года, а потом возвращать в лес!

Мы все придумываем, чем бы ребятам заниматься с пользой для жизни. Много лет собираем, например, макулатуру, из которой потом ничего толкового сделать не умеем (сам в газете читал: японцы из макулатуры бумагу получают, а мы - картон). Ясное дело, кому охота на такие "мероприятия" ходить, когда один обман... А тут бы такой лозунг толкнуть: "Вернем елки лесу!" И ведь каждый бы мог убедиться: сохранял, посадил в грунт весной, и она живет, зеленеет, елочка!

Когда мне все это в башку стукнуло, я сразу позвонил отцу, сказал:

- А наша - то елочка, папа, жива! Представляешь? Он обрадовался.

Ну, меня, понятно, повело излагать свой план: вот бы да во всей стране наладить сохранение елок...

- Ты знаешь, - сказал отец, - я читал: кажется, на

Камчатке есть лесопитомник, где специалисты выращивают домашние елки. Они растут в какой-то специальной таре... И кажется, в Австралии тоже что-то в этом смысле соображают. Думаю, идея у тебя правильная. Увидимся - обсудим.

Когда я шел в тот день из школы, нарочно сделал крюк и задержался у мусорных баков. Сколько же кругом елочных скелетов было набросано! Они только-только из-под снега вылезают, такие страшные, рыжие, как будто все в ржавчине... Поглядел - и совсем мне тошно сделалось: что же за народ - люди: ничего не жалеют, ничего не берегут?

Теперь каждый день слышишь: экология, сохранение природы... Слова все правильные, бывает, прямо-таки до слез прошибают, но от слов-то леса расти не станут и водоемы не сделаются чище.

**23.** Достаяю утром из почтового ящика газеты, смотрю, из "Комсомолки" конверт выглядывает. Хватаю письмо. Очень даже странное письмо, без марки и без адреса. Там, где строчка "Кому", нарисованы печатные буквы, ровненькие, как по трафарету выведенные: "Каретникову Кириллу (исключительно лично)". Что говорить, письмами я не завален. В разных там клубах по переписке, в интернациональных обменах не участвую. Что я могу сообщить интересного какому-нибудь Джонни из Невады или Петеру из Гамбурга, если сроду его в глаза не видел, а дела у нас идут так, как идут? Какая у вас в Америке была в субботу погода, как поживает Сабрина, что нового на немецком рок - рынке? Ну, спрошу... Месяца через полтора узнаю: когда у нас шел дождь, в Неваде тоже было пасмурно... Вот для Лены Коротеевой - это занятное подходящее! Она всех девчонок переполошила, когда ей из ФРГ черные колготки с красными бабочками прислали. *"И представляете, девочки, я же не просила! Ни словечка не закинула, не намекнула даже. Марта сама додумалась..."* И трещала и трещала... Я думал, она умрет от счастья.

И за державу ей не стыдно было. Ну ни на грошик.

Впрочем, это не по делу. Письмо я держал сугубо внутреннее, оно даже на почте не побывало. И вот это было самым загадочным.

В конверте оказалась записка, довольно дурацкая. Она приглашала меня на секретное свидание. Секретное потому, что непонятно было, с кем свидание. Место встречи назначалось у справочного киоска, рядом с военной академией. Это не так далеко и от моего дома, и от нашей школы. А еще указывалось время. Надо ли было мне радоваться? Не знаю. Удивляться? Наверное...

И в самом конце такой выброс:

- Смотри, никому ни слова! Это в твоих и в моих интересах, учти!

Прочитал я про интересы и засмеялся. Дура ты, дура!.. Какие такие у нас могут быть общие интересы, если я даже не догадываюсь, кто прислал письмо?

Записку я спокойно разорвал. Это было в четверг, накануне предложенного свидания. Почему-то в пятницу подумал: "Сходить?" И стал прикидывать "за" и "против". Не буду врать - мне было интересно представить себе, как это бегают на свидания. В кино, по телевизору сто тысяч раз видел, а самому не приходилось. Но очень опасался розыгрыша. Явлюсь, а там никакой незнакомки нет, встречает половина нашего класса: "Привет, жених!.. Явился - не запылел!..". Ну и так далее, и тому подобное... **П**

(Продолжение в следующем номере).

# ПОДВОДНЫЙ УДАР

Сергей Леонидович Мальчиков

(Продолжение. Начало в № 4 - 2006)

Успешное боевое применение торпед на Батумском рейде продемонстрировало всему миру их достоинства как наступательного оружия и дало мощный импульс к развитию нового оружия на флотах многих стран. Вскоре торпеда стала одним из основных боевых средств флота.

Изобретатели ведущих морских держав постоянно работали над улучшением тактико-технических характеристик торпед, уделяя много внимания устойчивости хода торпеды по курсу, увеличению ее скорости и массы заряда. Был сделан ряд попыток управления торпедой по проводам. Так, американец Лэй в 1872 г. изготовил торпеду длиной 762 см с электромотором. Скорость ее была шесть узлов. Питание электромотора производилось через кабель длиной 3700 м. Однако попытки ее боевого применения во время войны между Чили и Перу не принесли успеха.

В 1880 г. на вооружение американского флота была принята торпеда Симса и Эдисона, имеющая длину 9 м и заряд массой 100 кг. Через кабель длиной до 4000 м осуществлялось питание электродвигателя торпеды (причем была предусмотрена возможность изменения скорости хода). По этому же кабелю осуществлялось управление торпедой. Катушка с тонким кабелем размещалась внутри снаряда. Высокая стоимость и недостаточная надежность этих торпед привели к весьма быстрому отказу от них. Чуть позже Патрик и Норденфельд представили улучшенные модели торпеды Симсона и Эдисона, также не вызвавшие интереса среди морских специалистов. Забегая вперед, можно отметить, что идея управляемых по проводам торпед была реализована после Второй мировой войны во многих флотах, включая советский, американский, французский и т.д.

Многих изобретателей привлекала идея создания подводного самодвижущегося снаряда, приводимого в движение реактивным двигателем. Первая реактивная торпеда была предложена французским морским офицером Жаком Монжери в 1825 г., описавшим ее в труде "Fuses de Guerre". Снаряд, названный им "рошет" (rochette), напоминал ракету Конгрева, но без стабилизатора в хвостовой части.

В задней оконечности "рошеты" располагался специальный поддон с отверстием для выхода пороховых газов, двигающих снаряд вперед. Вместо стабилизатора на поверхности передней части имелись винтовые нарезки, придававшие "рошете" вращение вокруг

собственной оси при движении в воде. Для воспламенения ракетного топлива и увеличения стартовой скорости предусматривался особый пороховой заряд, крепившийся в специальном картузе к поддону.

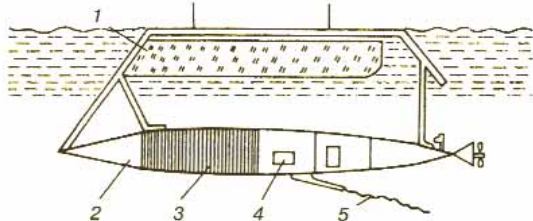
Запуск "рошеты" намечалось осуществлять из тонкостенного орудия, расположенного на судне ниже ватерлинии. Зарядание орудия предполагалось с казенной части. Был предусмотрен также клапан, закрывающий отверстие в борту судна. Но этот проект не был реализован.

Следующую попытку предпринял французский артиллерист Девез (Deveze), в 1866 г. опубликовавший в Париже брошюру "Расчет подводного снаряда". Торпеда Девеза включала в себя сигарообразный корпус, в котором размещался заряд пороха, двигатель в виде пороховой ракеты, а также стабилизирующую движение хвостовую часть. В задней части имелась коническая выводная труба (сопло). Для предотвращения перегрева корпуса снаряда при горении порохового заряда предполагалась установка специальной изолирующей оболочки. На случай, если не сработает ударный взрыватель, передняя часть ракеты была соединена с зарядной камерой торпеды, чтобы после выгорания ракетного топлива произошло возгорание заряда взрывчатого вещества. Хвостовая часть имела четыре винтообразных выступа, сообщающих снаряду вращение вокруг собственной оси при движении. Для запуска этих снарядов предназначалась неподвижная труба, врезанная в борт судна ниже ватерлинии.

Однако испытания показали, что ракета-торпеда Девеза имела малую дальность хода, плохую устойчивость на курсе и недостаточный заряд взрывчатки. По этим причинам она не была принята на вооружение.

Англичанин Джордж Квик в 1870 г. соорудил гигантскую торпеду калибром 24 дюйма (61 см), также имеющую ракетный двигатель с зарядом пороха массой 700 фунтов (330 кг). Изобретатель рассчитывал, что она пройдет расстояние 2000 ярдов (1828 м) со скоростью 135 узлов (250 км/ч). При первом же пуске пороховой заряд взорвался всего через несколько секунд после старта.

Несколько попыток создания реактивной торпеды предприняли американские изобретатели. Так, в 1873 г. сотрудник торпедной испытательной станции ВМС США в Ньюпорте лейтенант Фрэнсис Барбер построил торпеду калибром 30,5 см и длиной 213 см, имеющую массу 137 кг, включая заряд пороха массой 21,7 кг. Зарядное отделение и пороховой двигатель размещались в железной трубе, покрытой асбестом, и деревянным корпусом. Однако испытания показали полную непригодность этой торпеды для боевого применения.



Торпеда Симса и Эдисона: 1 - поплавок с визирными штырями, 2 - заряд ВВ, 3 - барабан с кабелем, 4 - электромотор, 5 - кабель



В 1878-1880 гг. Джон Эриксон создал "наступающую мину большой скорости", представлявшую собой деревянный корпус длиной 610 см, внутри которого размещался жестяной цилиндр с пороховыми шашками. Зарядное отделение конической формы крепилось в передней части торпеды и железной арматурой соединялось с поддоном. Пороховые газы выходили под давлением через отверстие в поддоне и приводили торпеду в движение. Эта торпеда калибром 406 мм, длиной 762 см и массой 681 кг несла заряд пироксилина массой 113,5 кг.

В 1880 г. во время испытаний на реке Гудзон скорость торпеды на первых 95 м составила 61,5 узла, а общая дальность хода - примерно 214 м. Для своей торпеды Эриксон построил миноносец "Destroyer" длиной 40 и шириной 3,35 м, разместив в его носовой части торпедный аппарат длиной 9,1 м. Для пуска торпеды в аппарате вместо сжатого воздуха использовался пороховой заряд, от пламени которого зажигались пороховые шашки двигателя торпеды. Было проведено несколько испытаний, показавших непригодность торпеды Эриксона в боевых условиях.

Почти в это же время американский инженер Джордж Уикс в изданной им в 1879 г. брошюре "Ракеты и самоходные торпеды" (Rockets and Torpedoes Automobile) изложил свою технологию производства "Торпед с ракетным составом". В своих торпедах Уикс предполагал использовать ракетные двигатели, работающие на твердом топливе, применив для них в качестве горючего цилиндрические пороховые шашки с высверленными по центру каналами. Такое техническое решение, по мысли автора, должно было гарантировать равномерное сгорание этих шашек и постоянную скорость истечения пороховых газов.

Устойчивость движения торпед под водой по курсу Уикс намеревался поддерживать одним из двух способов. В первом из них устойчивость обеспечивалась шестью плавниками-стабилизаторами, расположенными по окружности торпеды, во втором - с помощью "нескольких отверстий, имеющих улиткообразное кручение", проходя через которые продукты сгорания придавали торпедой вращательное движение, удерживая ее на заданном курсе.

В 1881 г. Уикс изготовил торпеду по первому варианту, т.е. с шестью стабилизаторами. Длина ее была 3,5 м. Материалом для корпуса послужило дерево, обшитое жестью, в передней части находилось боевое отделение с зарядом динамита массой 20 кг. Топливом для двигателя являлись пороховые шашки длиной 1,5 м и диаметром 15 см, размещенные последовательно одна за другой.

При испытаниях, проведенных в том же году на торпедной станции ВМС США в Ньюпорте, торпеды Уикса показали нестабильные результаты. Так, дальность хода колебалась от 91 до 251 м, скорость - от 28 до 45 узлов. Кроме того, при движении ракета очень шумела. В связи с этим она не была принята на вооружение.

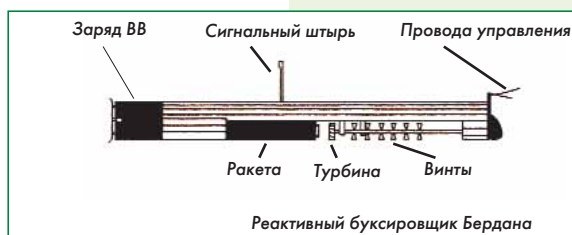
В России над проектом реактивной торпеды работал полковник Александр Ильич Шпаковский, предложивший свою конструкцию в 1879 г. Морскому техническому комитету. Конструктор несколько лет трудился над особым "ракетным составом", предназначенным для использования его в качестве горючего в двигателе своей торпеды. Вместе с тем, для обеспечения устойчивости торпеды на курсе он предложил применить гироскопический прибор. В

предварительном заключении комиссии Морского технического комитета было сказано, что "проектируемая им (Шпаковским) ракетная мина дает наилучший из существующих образец самодвижущейся подводной мины". "Ракетный состав, предлагаемый г. Шпаковским, по своим качествам обещает разнообразное и полезное применение в недалеком будущем. Дальнейшая разработка и производство опытов над ним имеют существенную важность". Взрыв, произошедший в лаборатории минных классов, где проводил эксперименты изобретатель, привел в негодность почти готовый экземпляр торпеды. Шпаковский был ранен и вскоре его разбил паралич. Работа над торпедой не была завершена.

Специалисты Вулвичского арсенала в Великобритании для определения дальнейшей целесообразности разработки торпед с реактивными двигателями в 1883 г. построили небольшой экспериментальный образец с дальностью хода всего 46 м. Проведя ряд экспериментов, они пришли к выводу о бесперспективности изысканий по созданию разработок реактивных торпед.

Известный американский изобретатель полковник Хайрэм Бердан в 1886 г. изобрел торпеду, принципы действия которой и устройство существенно отличались от созданных ранее образцов. По сути, это было буксирующее устройство, ведущее за собой метательную мину Эриксона с зарядом взрывчатки массой 91 кг. Силовой установкой буксировщика служил ракетный двигатель, использующий пироксилин в качестве топлива. Газовая струя от сгорающих пироксилиновых шашек вращала шесть небольших винтов, последовательно расположенных на одной и той же оси. На борту атакующего корабля находился оператор, с выносного пульта по проводам управляющий буксировщиком, расчетная дальность хода которого составляла 1828 м. Наткнувшись на противоторпедную сеть, окружающую атакуемый корабль, буксировщик останавливался. Однако буксируемая мина по инерции продолжала движение и, пройдя под сетью, должна была поразить корабль в днище. Испытания показали значительные трудности в практическом использовании этого оружия.

Созданием реактивной торпеды увлекся американец Канингхэм из штата Массачусетс. Он был сапожником, но своим призванием считал пиротехнику. В 1893 г. в течение нескольких месяцев его творение испытывали на торпедной станции ВМФ США в Ньюпорте. Специалисты отвергли этот проект, так как в результате испытаний была выявлена значительная разница в скорости при каждом преодолении дистанции и недостаточная устойчивость торпеды на курсе. Восприняв отказ как личную обиду, Канингхэм запустил своего ракетного монстра по главной улице города Нью-Бедфорда 4 июля 1894 г. в День независимости США. Извергая облака дыма и изрыгая пламя, торпеда с жутким грохо-



Реактивный буксировщик Бердана



Принцип применения реактивного буксировщика Бердана



том проползла несколько десятков метров и, уткнувшись в ледник мясной лавки, взорвалась. Пострадавших не было, но сапожником-хулиганом была вынуждена заняться местная полиция.

В фирме знаменитого английского кораблестроителя Эдварда Ярроу, в отделе, где разрабатывались паровые котлы, ставшие распространенными на всех флотах мира, работал инженер Пек, которому принадлежит идея замены в торпеде Уайтхеда пневматической машины на паровую мощностью 40 л. с. (1876 г.) Перегретый кипяток под давлением заливался в резервуар. С

уменьшение давления в цилиндре кипяток превращался в пар, т.е. использовался принцип паровой машины, применявшейся тогда на метрополитене. В дальнейшем этот принцип использовался на подводных лодках Гэррета-Норденфельдта. Так же была устроена торпеда американца Холла (1882 г.), в резервуар которой под давлением нагнеталась перегретая кипящая вода из судового котла. На приведение и той, и другой торпеды в боевое состояние необходимо было много времени, тогда как кипяток быстро остывал, поэтому запуск двигателя становился невозможным.

В 1874 г. американец Хоуэлл, о котором говорилось выше, нашел способ увеличения скорости хода своего творения, расположив ось вращения маховика перпендикулярно продольной оси торпеды. Он использовал в качестве раскручиваемого тела металлическое колесо, имевшее массу 33 кг, а оба гребных винта расположил в кормовой части торпеды. Это позволило увеличить скорость хода до 13,5 узлов против первоначальных 8,5 узлов. Торпеда 1874 г. имела длину 250 см, калибр 356 мм и заряд взрывчатого вещества массой 31,6 кг при общей массе 103 кг и дальности хода 365 м. Спустя десять лет Хоуэлл представил третью модель торпеды, масса которой составляла 135,6 кг. Объем заряда взрывчатки и все размеры остались неизменными, но скорость увеличилась до 15,6 узлов. Четвертая модель торпеды имела длину 330 см, калибр 406 мм и заряд 43,4 кг. Предварительно раскрученный до 10 000 об/мин маховик позволял ей проходить 366 м со скоростью 24 узла; на последующих 180 м скорость сокращалась почти до нуля.

С учетом испытаний, проведенных в 1890 г., Хоуэлл разработал две новых модификации. Одна из торпед имела калибр 356 мм, длину 272 см и массу 235 кг, из них 45,2 кг составлял заряд пироксилина.

Частота вращения ее маховика массой 58 кг составляла 10 000 об/мин, что позволяло развивать скорость 26 узлов на расстоянии 366 м; на следующих 228 м скорость падала до нуля. Другая торпеда имела массу 316,4 кг, из которых на заряд пироксилина приходилось 81,4 кг. Ее калибр был увеличен до 456 мм, а длина - до 440 см. Маховик массой 59 кг с частотой вращения 12 000 об/мин давал возможность проходить 732 м со скоростью 30 узлов с падением скорости до нуля после прохождения последующих 365 м.

Торпеды Хоуэлла 10-15 лет состояли на вооружении военных флотов США, Бразилии и ряда других стран, так как почти в три раза были дешевле торпед фирмы "Блисс-Левит", держали великолепную устойчивость на боевом курсе, были бесследны и очень просты в обслуживании, но никогда не применялись на подводных лодках. В дальнейшем они были вытеснены парогазовыми торпедами.

Русский флот всегда занимал одно из ведущих мест в мире в развитии торпедного оружия. Особое внимание уделялось скорости, дальности и точности хода торпеды, увеличению массы взрывчатого вещества. Разрабатывались и приемы применения торпед. Значительные заслуги в этом принадлежат адмиралу С.О. Макарову, полковнику А.И. Шпаковскому, капитану 2 ранга И.И. Назарову, мастеру Балтийского завода П.П. Аршаулову.

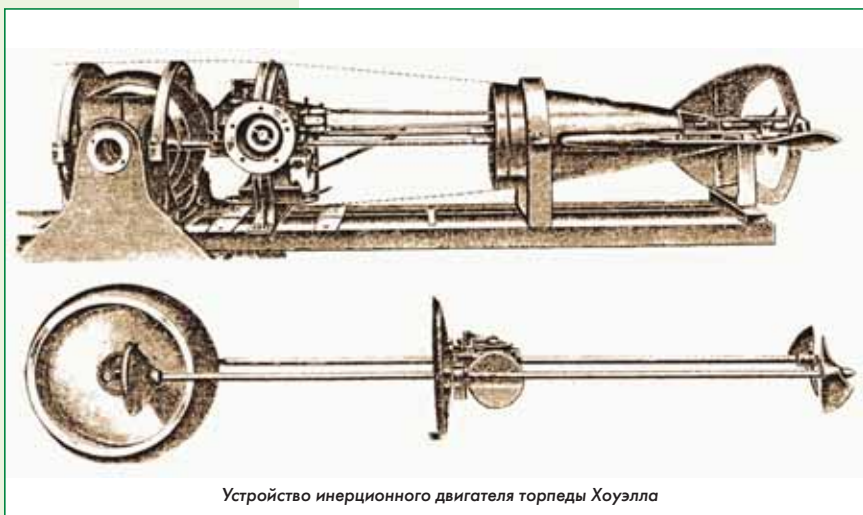
Многие специалисты стремились разработать более совершенные образцы торпедного оружия и оснастить ими корабли русского флота. Например, С.О. Макаров внес значительный вклад в тактику торпедных атак, усиление разрушительного действия торпед и увеличение дальности их хода.

Многочисленные попытки заменить несовершенный рулевой механизм вертикального руля не приносили успеха, и торпеды не попадали в цель, находящуюся на расстоянии более 400 м. Лишь в 1879 г., как уже отмечалось выше, полковник русской армии А.И. Шпаковский предложил проект авторулевого, работающего на основе гироскопа. Несколько лет спустя появились научные работы выдающихся русских ученых С.В. Ковалевской, Д.К. Бобылева, Н.Е. Жуковского, А.Н. Крылова, посвященные теории гироскопии и способствовавшие успеху производства гироскопов в России.

Значительным событием стало изобретение в 1895 г. мастером Балтийского завода П.П. Аршауловым прибора для движения торпеды по криволинейной траектории.

Движением торпеды стали управлять автоматические машины. Но этого было недостаточно, поскольку торпеда должна двигаться быстро, бесследно и на сравнительно большое расстояние, что, в основном, зависит от двигателя (энергосиловой установки). Однако увеличить скорость и дальность торпед путем простого увеличения запаса сжатого (холодного) воздуха было невозможно. Огромное значение имело изобретение аппарата для подогрева воздуха и повышения ресурса энергии без увеличения его запаса. Первый проект такого аппарата в 1899 г. был представлен лейтенантом И.И. Назаровым. В аппарате сжигалось горючее, что приводило к нагреванию сжатого воздуха перед подачей его в цилиндры главной машины. Благодаря аппарату Назарова энергоемкость торпед возросла в три раза (энергоемкость торпед подсчитывается по формуле  $E v^2 / G$ , где  $E$  - дальность хода,  $v$  - скорость хода торпеды,  $G$  - вес торпеды).

(Продолжение в следующем номере)



Устройство инерционного двигателя торпеды Хоуэлла



# ... ПО ОСЕНИ СЧИТАЮТ

Александр Иванович Бажанов

В этом году Московский международный автосалон прошел на новом месте, в МВЦ "Крокус Экспо", что расположился на 67-м километре МКАД. Конечно, здесь гораздо просторнее, чем в Экспоцентре, но видимо кто-то очень сильно обиделся на этот перенос - дождь лил все дни выставки, и на открытых выставочных площадях было не очень уютно. Зато в павильонах жизнь была ключом. Особенно там, где располагались автомобили иностранных производителей: красивые машины в окружении красивых девушек, игра света и цвета, гром музыки. Специально обученные люди постоянно вытирали с полированных бочков авто следы прикосновений заинтересованных посетителей.



Двигателестроительная конференция

ференция "Двигатели для российских автомобилей". В ходе конференции выступили представители практически всех двигателестроительных предприятий России. Были даны оценки состояния в этом сегменте нашего автопрома, доложено о перспективах развития и планах развития. Все вроде бы хорошо, движемся вперед: скоро будем делать и больше, и лучше. Но, оглядываясь вокруг (благо ходить далеко не надо было) и анализируя информацию о планах мировых производителей, начинаешь понимать, что что-то не так.

Очень хорошо, что на территории России создаются совместные производства иностранных автомашин. И можно привести много доводов, почему это хорошо. Плохо то, что дальше "отверточной сборки" дело не идет. Локализация (производство комплектующих в стране сборки) находится в зародышевом состоянии. И выяснение, кто в этом виноват, не является предметом этой статьи. Напомню известную истину: 90% прибыли дают комплектующие, а на долю сборки остается всего 10%. Другими словами: рабочие места, налоги и т.п. "локализируются" не в России, а в Германии, Японии, Корее, Китае. Да,

Peugout Citroen, Honda Motor, Volkswagen AG, Ford и другими. На долю китайских предприятий приходится 66% всех выпускаемых силовых агрегатов, остальное производится иностранными компаниями. Если в 2004 г. на китайских заводах было произведено около 8 млн двигателей, то в 2005 г. - почти 11 млн. Причина такого роста кроется в политике китайских властей, решивших с помощью таможенных тарифов проблему ввоза в страну готовой продукции под видом комплектующих.

И даже после того, как в соответствии с требованиями ВТО китайские пошлины на готовую продукцию (автомобили) были снижены с 30 до 25%, а на комплектующие - с 15 до 10%, условия для организации производства автомобильных комплектующих в Китае остаются привлекательными для зарубежных фирм.

Вот маленький пример. Одна из китайских двигателестроительных корпораций SIAC motor создала при равном доле участия с VW совместное предприятие Shanghai VW, которое производит двигатели для автомашин Passat, Santana, Polo и других, причем как местной сборки, так и собираемых в других странах. Возможно, эти двигатели затем отправляются в Германию, а потом - в составе престижного автомобиля - продаются в России...

К сожалению, отечественные организаторы автопрома никак не успевают осваивать передовой китайский опыт. С самого рождения у народного, т.е. дешевого, автомобиля "Ока" была проблема с силовой установкой. Долгий поиск собственного разработчика и изготовителя закончился тем, что производство этого автомобиля на Заводе микролитражных автомобилей



Выставочный образец отечественного двигателя



Выставочный образец зарубежного двигателя



Автомобиль из Европы



Автомобиль из России




Автомобиль из Поднебесной

намного скромнее выглядели стенды российских автопроизводителей. Даже специально подготовленные к этому мероприятию образцы двигателей выглядели бедными золушками по сравнению с теми макетами, которые привезли из-за рубежа иностранцы.

Как всегда в ходе автосалона была проведена очередная, на этот раз уже VIII Международная автомобильная кон-

ференция "Двигатели для российских автомобилей". В ходе конференции выступили представители практически всех двигателестроительных предприятий России. Были даны оценки состояния в этом сегменте нашего автопрома, доложено о перспективах развития и планах развития. Все вроде бы хорошо, движемся вперед: скоро будем делать и больше, и лучше. Но, оглядываясь вокруг (благо ходить далеко не надо было) и анализируя информацию о планах мировых производителей, начинаешь понимать, что что-то не так.

Очень хорошо, что на территории России создаются совместные производства иностранных автомашин. И можно привести много доводов, почему это хорошо. Плохо то, что дальше "отверточной сборки" дело не идет. Локализация (производство комплектующих в стране сборки) находится в зародышевом состоянии. И выяснение, кто в этом виноват, не является предметом этой статьи. Напомню известную истину: 90% прибыли дают комплектующие, а на долю сборки остается всего 10%. Другими словами: рабочие места, налоги и т.п. "локализируются" не в России, а в Германии, Японии, Корее, Китае. Да,

в Набережных Челнах прекратилось, а Серпуховской автомобильный завод будет устанавливать на него двигатель Toyota китайской (!) сборки. В этом случае "Ока" будет удовлетворять требованиям Euro-2. Но в эту бочку меда будет добавлена ложка дегтя: стоимость новой машины подскочит до \$4,5 тыс. Кто тогда станет покупать "народную" "Оку"? 

# СОЗДАНИЕ РУЛЕВЫХ ПРИВОДОВ БРПЛ В СКБ-385

(1960-1980-е ГОДЫ)

Юрий Андреевич Бобрышев

Рулевые приводы (РП) разнообразных типов (электрические, гидравлические, пневматические, механические), а также устройства, созданные на их основе, нашли широкое распространение в самых различных областях техники. Любое автоматическое или дистанционно управляемое устройство, начиная от простейших станков или манипуляторов и заканчивая сложными движущимися в неоднородной нестационарной среде объектами (танками, самолетами, кораблями и пр.), обязательно оснащается РП. К особому классу РП относятся рулевые приводы для баллистических ракет подводных лодок (БРПЛ). Такие РП, создававшиеся в СКБ-385, должны были обладать высокими заданными характеристиками и при этом удовлетворять жестким ограничениям по габаритам и массе, иметь высокую надежность, обеспечивать управление ракетой при подводном старте. В настоящей статье описана лишь малая часть проблем, связанных с созданием рулевых приводов для БРПЛ.

Задачей известной классической схемы, включающей бортовую систему управления (БСУ), РП, рулевой орган (РО) и датчик обратной связи (ДОС), является выполнение заданной баллистической программы управления по каналам тангажа, рыскания и крена на активном участке полета ракеты, от четкой реализации которой зависит точность доставки полезного груза к цели. В этой схеме РП ракеты является исполнительным механизмом, отклоняющим РО на требуемый угол с требуемой скоростью, которые соответствуют величинам командных сигналов от БСУ. По мере отклонения РО датчик обратной связи отправляет в БСУ сигнал, свидетельствующий об исполнении выданной команды.

На первой отечественной ракете Р-11ФМ, предназначенной для вооружения подводных лодок, в роли РО выступали газовые рули, а на всех более поздних ракетах - рулевые камеры ЖРД или РДТТ. В зависимости от применявшейся в разработках СКБ-385 в разное время конструктивной схемы РО (четыре газовых руля; четыре или две рулевые камеры ЖРД; качающаяся

на карданном подвесе или гидроцилиндрах центральная камера; неподвижные сопла с управляемым расходом) каждый РП ракеты мог состоять из трех или четырех рулевых машин (РМ), такого же количества ДОС, кинематических связей между РМ, ДОС и РО, а также из системы питания РМ.

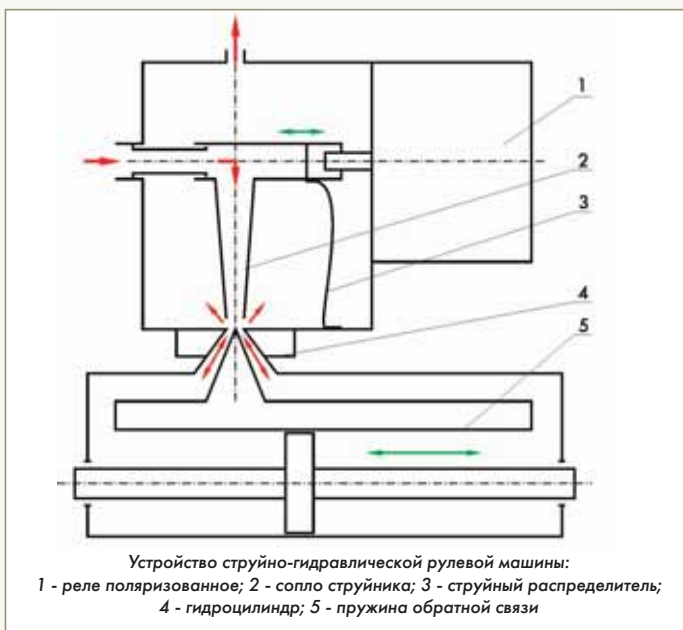
На отечественных баллистических ракетах первого поколения в состав РП непременно входили электрогидравлические РМ (ЭГРМ) типа "Аскания", в свое время разработанные немцами, а затем "доведенные до ума" в ОКБ-1. Конструкция РМ позволяла проводить проверку правильности функционирования на технической позиции и при предстартовой подготовке с использованием внешнего источника электропитания. В качестве ДОС применялись потенциометрические контактные датчики постоянного тока. Их серьезный недостаток был связан с прерывистым характером сигнала из-за вибраций, передающихся от двигателя в процессе полета ракеты.

В цельнолитом корпусе ЭГРМ размещались шестеренный насос, поляризованное реле с подпружиненной золотниковой парой, силовой цилиндр с поршнем и кривошипно-шатунным механизмом, передающим усилие на выходной вал. В качестве рабочего тела использовалось специальное масло РМ. Вращение шестеренного насоса осуществлялось электродвигателем постоянного тока, питавшимся от бортового аккумулятора. ЭГРМ имела внушительные размеры и имела массу около 10 кг. Из-за довольно большой мощности, потреблявшейся четырьмя электродвигателями РМ, пришлось установить весьма тяжелый и крупногабаритный источник постоянного тока. Кроме того, свою лепту в наращивание массы всей установки вносили силовые кабели, тянувшиеся от него к ЭГРМ.

Создание баллистических ракет морского базирования, стартующих из подводного положения, потребовало от разработчиков СКБ-385 решения множества принципиально новых технических и организационных проблем, связанных с:

- исключительно жесткими требованиями по плотности компоновки всех систем ракеты с целью уменьшения ее габаритов и, тем самым, габаритов подводных лодок;
- обеспечением возможности пуска ракет из подводного и надводного положения;
- особенностями гидродинамических процессов движения ракеты в шахте ПЛ при работающем ЖРД;
- продолжительным временем хранения ракет, заправленных компонентами топлива;
- более жесткими требованиями к РП морских баллистических ракет и, в частности, к габаритам и массе, силовым статическим и динамическим характеристикам, быстродействию и надежности обеспечения заданных характеристик при отсутствии возможности проверки правильности их функционирования на протяжении всего гарантийного срока (более 15 лет), что являлось значительным отличием от условий применения РП в ракетах с наземным стартом.

Элементы новизны, проявившиеся при создании РП для БРПЛ, потребовали большого объема конструкторской работы в лабораторных условиях. Кроме того, были обоснованы более высокие требования к качеству и контролю качества изготовления РП БРПЛ на заводах в интересах обеспечения их высочайшей надежности.



Забегая вперед, можно привести один пример, характеризующий плотность компоновки оборудования в БРПЛ типа РСМ-40 (разработки СКБ-385) по сравнению с МБР наземного базирования. При осмотре этих изделий в сборочном цехе одного завода бросалось в глаза, что в свободный объем хвостового отсека РСМ-40 лишь с большим трудом можно было бы запихнуть что-то вроде яблока, в то время как на корпусе хвостового отсека "сухопутной" МБР крупным шрифтом было написано: "Более трех человек не входить"...

Но вернемся к рулевым приводам. В 1955 г., начиная с развертывания работ по Р-11ФМ, в СКБ-385 была создана группа из числа молодых специалистов, задачами которой были определены доводка, техническое сопровождение и отработка документации по ЭГРМ. Руководителем группы назначили Ф.М. Ровинского, уже имевшего пятилетний стаж работы. Одновременно группа по заданию одного стороннего КБ начала разработку струйной РМ с применением порохового газа в качестве рабочего тела. Отработка ее проводилась на сжатом воздухе при перепаде давления 10...12 атм. Из технической информации тех времен было известно лишь о возможности работы струйных распределителей на воздухе при перепаде давления не более 10...12 атм. Некоторое количество таких РМ было изготовлено и поставлено стороннему КБ.

Затем группа Ф.М. Ровинского на основе опыта, накопленного при разработке газоструйных РМ, приступила к созданию струйно-гидравлических РМ (СГРМ), информация о которых в технической литературе была более чем скупой. Но для ракет морского базирования требовалось разработать более легкие и малогабаритные РП, нежели системы на основе уже упомянутых ЭГРМ с их тяжелыми источниками питания. В конструкции СГРМ в качестве рабочего тела решили использовать горючее высокого давления, отбираемое от турбонасосного агрегата (ТНА) ЖРД. Для исключения потерь горючее затем возвращалось в бак. Последующие расчеты показали, что влияние отбора горючего (для управления ракетой) на удельную тягу двигателя оказалось незначительным.

Указанное техническое решение обладало существенными достоинствами. Во-первых, отпадала необходимость в отдельном источнике питания для РМ. Во-вторых, конструктивно новая система с СГРМ оказалась довольно простой, потребовалось лишь протянуть соответствующие трубопроводы - от ТНА к РМ и от последней к баку горючего. Но пришлось столкнуться и с определенными сложностями. К примеру, для обеспечения мгновенной реакции РМ на команды БСУ вся система питания рулевых машин (СПРМ) еще на заводе должна была заполняться маслом. Помимо всего обычного комплекса проблем, возникающего при внедрении новой технической системы (проведение теоретических расчетов, разработка конструкторской документации на узлы и агрегаты, не имеющие аналогов, специальная отработка их в составе всего устройства, т.е. в данном случае двигателя), необходимо было оценить влияние масла, сливаемого из РМ, на работу форсунок двигателя. Для отработки СГРМ, СПРМ и рулевого привода в целом в лабораторных условиях, для проведения цеховых настроек и проверок, стендовых огневых испытаний в составе ЖРД следовало создать новое специальное испытательное механическое, гидравлическое и электрическое испытательное оборудование, агрегаты и пульты. И на этом новом направлении от конструкторов СКБ-385 требовались не только решимость и готовность идти на риск, но и уверенность, упорство в достижении поставленной цели.

"Не боги горшки обжигают" - таким был девиз В.Р. Серова при новых неизведанных начинаниях. СКБ-385 было молодо, росло, набиралось новых знаний и опыта. Главный конструктор В.П. Макеев и его заместитель В.Р. Серов создавали и поддерживали развитие всех новых направлений, дававших положительные результаты при разработке БРПЛ. Вскоре группа РП выросла до самостоятельного отдела, который проектировал,

отрабатывал СГРМ, СПРМ и РП, создавал испытательное и проверочное оборудование для их отработки в лабораторных условиях, изготовления на заводах для всех поколений БРПЛ, созданных СКБ-385.

Требования к силовым и динамическим характеристикам РП (резонансной частоте с присоединенной массой РО) предъявлялись разработчиком системы управления (НИИА, главный конструктор Н.А. Семихатов), а также отделами баллистики и систем управления КБМ. Силовые нагрузки на РМ определялись конструкцией РО, т.е. рулевых камер ЖРД (разработчик КБХА, главный конструктор А.М. Исаев) или качающегося сопла РДТТ (разработчик НПО "Искра", главный конструктор Л.Н. Лавров). Компоновка, конструктивные особенности, габаритные и весовые данные РП диктовались:

- проектантами БРПЛ, исходившими из условий их установки в ограниченных объемах морских ракет;
- прочнистами, не заинтересованными в экономии массы;
- "тепловиками", озабоченными защитой от воздействия высокотемпературной газовой струи двигателя (здесь днище первой ступени, на котором располагался РП, совмещалось со срезом сопла);
- специалистами гарантийной сохранности, обеспечивавшими защиту применявшихся материалов от коррозии и их стойкость при длительном хранении;
- технологами СКБ и заводов, ответственными за вопросы технологичности и качество применяемых материалов.

Окончательное решение принималось конструктором-разработчиком узла - он всегда оставался ответственным за работоспособность своей разработки.

Проектирование нового типа рулевых машин началось с проведения целенаправленных лабораторных поисковых работ с применением специального масла в качестве рабочего тела вместо газа, которые доказали работоспособность конструкции так называемого "струйника" - сопла и струйного распределителя - при рабочем давлении 36...40 атм. Лабораторные испытания подтвердили, что разработанная РМ обладает скоростными и силовыми характеристиками, заданными разработчиком БСУ ракеты РСМ-25. Первая СГРМ, развивающая усилие на штоке до 400 кгс, прошла несколько этапов лабораторных конструкторских испытаний в составе РП при огневых стендовых испытаниях ЖРД. По согласованию с представителем заказчика СГРМ была допущена для применения в ракете. Златоустовский машиностроительный завод обеспечил подготовку производства, изготовление и установку рулевых машин на ракеты.

В дальнейшем при создании баллистических ракет РСМ-40 и их модификаций, отличавшихся более мощными двигателями и большей массой РО, потребовалось увеличить до 2000 кгс усилие, развиваемое СГРМ. Расчеты свидетельствовали, что при рабочем давлении 36...40 атм силовые цилиндры СГРМ, способные развить такое усилие, становятся излишне громоздкими и тяжелыми для использования в составе БРПЛ. Потребовалось изменить конструкцию "струйника" для обеспечения возможности его питания рабочим телом под более высоким давлением, увеличенным до 100...200 атм, но для этого потребовалось выполнить новые теоретические расчеты, провести конструкторские изыскания, организовать десятки и сотни лабораторных проливов различных вариантов струйников.

Одной из основных проблем было отыскание рационального способа преобразования энергии сверхскоростного потока рабочей жидкости в давление в гидроцилиндре. Проведенные специалистами-теоретиками А.Я. Полкой, А.С. Новосельцевым и др. расчеты гидравлических процессов, происходящих в струйнике, свидетельствовали о неприменимости известных в то время теорий ламинарного и турбулентного течения жидкости. Требуемый результат был получен в результате тесного взаимодействия теоретиков с конструкторами Д.И. Ревзиным, О.В. Белобородовым, В.С. Князевым, В.И. Сергиенко, испытателями В.М. Барвинским, А.А. Афониним и др.

Конечные сроки создания РМ всегда поджимали, а расстояние от Машгородка в Миассе до Златоустовского завода было почти 33 км. Для проведения сложных экспериментов постоянно требовались новые детали. За каждой мелочью нужно было ехать из Азии в Европу. Спасали установленные в лаборатории СКБ-385 станки и рабочие высокой квалификации - В.Н. Шубин и Д.З. Шапилов. Некоторое время на Миасском машзаводе работал участок, занимавшийся изготовлением РМ и их деталей, что также способствовало ускорению процессов отработки изделий.

Требования к работоспособности создаваемых СГРМ для БРПЛ были весьма специфическими. Заполненные маслом рулевые машины должны были выдерживать более пяти лет хранения в режиме "молчания" с сохранением герметичности при перепадах внешней температуры и давления, обладать мгновенной реакцией (без "залипания") на минимальный командный ток, не быть подверженными воздействию морских условий и, наконец, выдерживать нахождение в кислоте в течение всего срока. Это потребовало тщательной отработки каждого элемента конструкции СГРМ с последующими ускоренными испытаниями по специальным программам в завышенных условиях. Тысячи и тысячи РМ с гидроцилиндрами в тысячах земных агрегатов уже работали, но никому раньше не приходило в голову поместить рулевую машину на 15 и более лет в бак с кислотой и потребовать, чтобы после этого она обеспечила заданные характеристики. На это могло решиться только КБМ во главе с В.П. Макеевым, который доверял своим конструкторам отдела рулевых приводов. У истоков создания РП на основе СГРМ стояли М.Ф. Шакиров, В.В. Усачев, А.В. Макаров, которые передали свой опыт пришедшему в 1960-1970 гг. молодому поколению (Ю.К. Кяриллов, С.Н. Мальцев, Р.Н. Сабиров, и др.).

В СКБ-385 были и оппоненты, которые сомневались в надежности СГРМ. Золотниковые распределители, известные всему миру, применялись другими КБ во всех известных системах рулевых приводов и обладали определенными преимуществами по ряду параметров в сравнении со струйником. Золотник был выгоден при применении вытеснительной системы подачи рабочего тела в рулевую машину, поскольку при его использовании расход рабочего тела в отсутствие или при малом командном токе невелик. Для нормального функционирования струйника нужен постоянный расход рабочего тела. Казалось бы, наличие явное преимущество золотникового распределителя, но при применении замкнутой схемы питания, когда отработавшая жидкость возвращается в бак, это преимущество золотника теряется.

Немаловажным фактором в пользу струйника был уровень требований по классу точности изготовления деталей и подготовке рабочей жидкости.

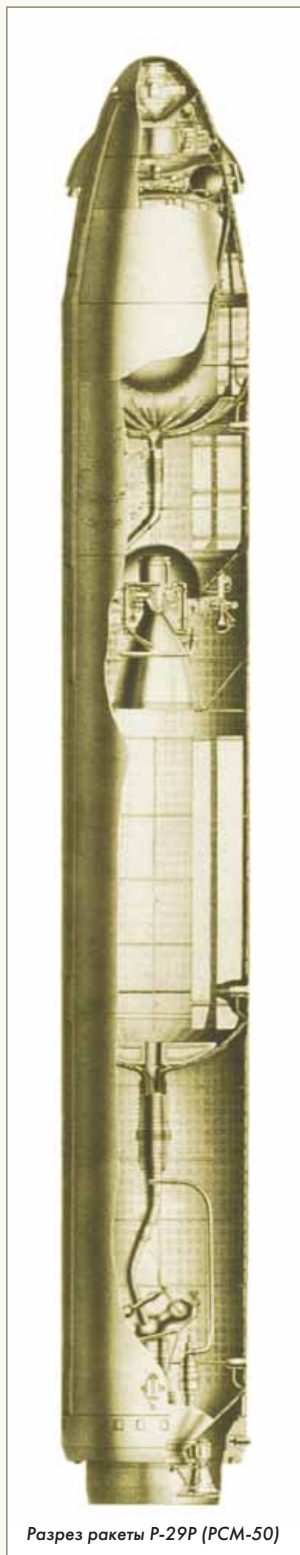
Минимальные проходные сечения для рабочей жидкости в струйнике составляли 1,2...2 мм, а в золотниковой плоской или цилиндрической паре зазоры составляли 2...3 мкм, что обусловило введение жестких требований к чистоте сборочных участков и применению соответствующих фильтров рабочей жидкости. На Южмаше сборочный участок цеха РМ герметизировался; в нем создавалось повышенное давление подачей воздуха через фильтр с диаметром ячеек 1 мкм; персонал должен был проходить соответствующую обработку. Эти мероприятия были весьма дорогостоящими и не обеспечивали стопроцентной гарантии отсутствия отказов. Как говорится, мал золотник, да дорог. Но струйник все же был надежней. Сторонники золотника в КБМ выпустили несколько техсправок в его защиту, но он не получил полной поддержки и многих специалистов, и заместителей главного конструктора И.Т. Скипниченко, Ю.Г. Ренжина, Н.С. Данилова и В.И. Феофилактова даже применительно к твердотопливной ракете.

СГРМ прошли множество лабораторных и специальных испытаний. Не всегда сразу получалось то, что требовалось получить. Только постоянные пробы и поиски "изюминок" приводили к желаемым результатам. На заключительных испытаниях одного типа СГРМ при рабочем давлении 200 атм и командном токе 25 мА шток цилиндра вдруг стал в случайные моменты времени останавливаться и также неожиданно возобновлять движение. Многократные попытки изменения конструкции струйника и "мозговые штурмы" результатов не давали. Тогда узел управления со струйником поместили в приготовленный аквариум, подали рабочее давление откачанного масла (иначе оно "закипало" на выходе и желаемая картина затенялась) и провели киносъемку с частотой 1000 кадров в секунду. Картина получилась интересной, но причины отказа установить не помогла. И все же испытатели во главе с В.М. Барвинским (на то они и специалисты) определили причину: ею оказалось недостаточное сжатие уплотнения цилиндр-поршень для полученного перепада давления на поршне по сравнению с ранее отработанным.

Рулевые приводы с входящими в них СГРМ, рычагами и тягами, соединяющими их с РО, трубопроводами систем питания РМ (СПРМ) с пусковыми клапанами и запорочными гидроразъемами требовали тщательной объемной прорисовки и согласования с другими системами, что проверялось и уточнялось на конструкторских макетах. Макетирование позволяло более точно расположить и совместить узлы разных систем, сократить их массу, уточнить конструкторскую и технологическую документацию, решить многие организационно-технические вопросы.

Иногда случались "проколы". Однажды на конструкторском макете узлов ракеты РСМ-25 выяснилось, что смонтированные СГРМ мешают стыковке хвостового отсека с задним шпангоутом ракеты. Возможности переместить СГРМ не было, поскольку она должна была стыковаться с двумя РО. Напрасивались только два возможных решения. Первое - начать увязку всех узлов с самого начала, но это означало потерю результатов многомесячного труда и срыв сроков создания ракеты. Второе - попытаться что-то в некоторых узлах переместить, не нарушая их работоспособность. После непростых раздумий решение было принято на месте: СГРМ расчленить, т.е. смонтировать по отдельности узел управления и собственно гидроцилиндр, соединив их трубопроводами. Это снимало проблему стыковки хвостового отсека со шпангоутом. Но что скажут мой начальник и коллеги, затратившие немало времени на отработку машины? Все же удалось убедить их в том, что предложенный выход - наиболее рациональный. Лабораторные испытания подтвердили неизменность характеристик "разделенной" СГРМ 4А19, и она была запущена в серию.

Более сложную задачу пришлось решать при компоновке РП на второй ступени ракеты РСМ-40. Двигатель второй ступени, он же РО по тангажу и рысканию, был "утоплен" в баке окислителя первой ступени для уменьшения длины ракеты. Поначалу планировали разместить СГРМ в сухих карманах, по-



Разрез ракеты P-29P (PCM-50)

сколькx стойких к кислоте и маслу надежных уплотнений для подвижных штоков гидроцилиндров, заполненных маслом, в то время не было. Соединение СГРМ с РО решили осуществить посредством мощных тяг, пропущенных через сильфоны. Проанализировав схему, мы поняли:

- сухие карманы, соединенные между собой полостью, и сильфоны с тягами заметно уменьшают объем бака первой ступени;

- для исключения резонансных явлений потребуются массивные тяги и жесткий шпангоут на обечайке второй ступени, на котором будут смонтированы СГРМ.

Поиски приемлемого решения велись в разных направлениях. После непростых раздумий и анализа накопленного опыта мы вдвоем с Ф.М. Ровинским предложили СГРМ ампулизовать и также разместить в баке окислителя первой ступени. Ампулированная СГРМ отличалась от предшественниц рядом конструктивных, технологических и эксплуатационных особенностей:

- после сборки, настройки и проверки характеристик совместно с ДОС корпус СГРМ герметизировался сваркой;

- внутренняя полость СГРМ со стороны выхода стального штока закрывалась алюминиевой мембраной;

- прорыв мембраны при вводе в действие СГРМ осуществлялся специальным механизмом;

- указанный механизм приводился в действие порохowymi газами, отбираемыми от газогенератора запуска двигателя второй ступени. Замечу, что при лабораторной отработке СГРМ ее "разампулизацию" дополнительно обеспечили и без задействования специального механизма (путем подачи командного тока 20...25 мА). Такое дублирование значительно повысило надежность этого процесса;

- по требованию разработчиков системы управления СГРМ выходила на заданный режим не более чем через 0,3 с после подачи команды на разделение ступеней.

Принятое решение в корне изменило конструктивное исполнение РП второй ступени и конструкцию стыка первой и второй ступеней. Рулевой привод ЖРД второй ступени оказался уплотненным в кислоте бака первой ступени. Для повышения герметичности и надежности все стыковые соединения трубопроводов рабочего тела и трубопроводов с электропроводами соединялись автоматической сваркой. Ввиду малых (до 10 мм) зазоров между деталями в местах сварки отделу В.Г. Крылова пришлось разработать и передать в серию малогабаритные автоматические сварочные аппараты. После проведения проверки систему СПРМ - СГРМ заправляли откакумированным маслом, заваривали заправочные гидроразъемы и вновь проверяли герметичность.

Нелегким было освоение технологии этих операций в производстве. По крупницам конструкторы и заводские специалисты отработывали технологию изготовления системы. Шла упорная борьба за уменьшение массы, повышение качества и выполнение работы в установленный срок. Приходилось трудиться по десять, а то и по четырнадцать часов в сутки, потому что Родина требовала. Разработчики из СКБ-385 осознавали свою ответственность и упорно соревновались с вероятным супостатом. По неофициальным прикидкам, указанное техническое решение (двигатель-"утопленник" второй ступени с системой управления вектором тяги) обеспечило увеличение дальности стрельбы ракеты на 30 %.


История с ампулированной СГРМ имела продолжение. Для фиксации положения сопла ЖРД второй ступени при сборке и транспортировке конструкторы на его срез надели кольцо, которое соединили растяжками с обечайкой бака. При перевозке ракеты от толчков возникали прогибы стенок бака, которые передавались через сопло ЖРД на шток СГРМ. Такое многократное воздействие на мембрану ампуликации СГРМ могло привести к ее разрушению и просачиванию масла в кислоту, что грозило взрывом. Проектанты, прочисты, конструкторы

РП на многие дни углубились в решение этой задачи. Выход удалось найти с использованием макета всего устройства. На время транспортировки между штоком СГРМ и РО ввели узел развязки, исключающий передачу на СГРМ колебаний от сопла ЖРД, но жестко их соединяющий при первом движении штока СГРМ по команде СУ. Конкретную конструкцию узла развязки разработал А.В. Макаров - конструктор отдела рулевых приводов.

Испытания РП на всех этапах вели высококлассные специалисты И.П. Ильин, Ю.Г. Гращенко, В.И. Затыкин, Г.М. Бадьин и др., на которых лежал груз ответственности за тщательную проверку работоспособности конструкции, формирование окончательных выводов и рекомендаций о допуске РП к испытаниям в составе БРПЛ при бросковых и летных пусках.

Немаловажную роль в повышении дальности стрельбы БРПЛ имел выбор оптимальных значений соотношений расхода горючего и окислителя, регулировка их суммарного расхода двигателем с целью увеличения времени его работы. Для выполнения этой задачи в подающие магистрали ЖРД были введены регулятор соотношения компонентов и регулятор кажущейся скорости, приводимыми в действие относительно простыми электрическими рулевыми машинами (ЭРМ). Эти ЭРМ вновь пришлось "утопить" в топливном баке, что потребовало внедрения ряда конструктивных решений для обеспечения их работоспособности и герметичности в течение всего срока хранения. Указанной проблемой занимались конструкторы группы В.А. Киселева.

В целом при создании СГРМ, РП, СПРМ было найдено множество новых конструктивных решений, десятки из которых признали изобретениями. При опытной отработке и при эксплуатации РП в составе БРПЛ работали практически безотказно. Изготовление, отработка, испытания СГРМ, РП, СПРМ были бы невозможны без создания нового специального испытательного оборудования для оснащения лабораторных баз КБМ и разработчиков СУ, цехов нескольких заводов, стендов огневых испытаний двигателей совместно с РП. Этими вопросами также занималось подразделение отдела РП, что исключало излишние производственные стыки и сокращало сроки изготовления испытательного оборудования. В составе указанной группы работали всего 5-6 конструкторов под руководством Е.Н. Леднева, создателя простых, но емких по содержанию агрегатов.

Р.С. По чей-то воле, или другим причинам разработка уникальных БРПЛ с ЖРД ушла в прошлое вместе с XX веком... Но и в XXI веке нелегко понять, как удавалось КБМ создавать в таких малых габаритах БРПЛ, стартующие из глубин океана, преодолевающие огромные расстояния и доставляющие до 10 боевых блоков в разные точки с требуемой точностью. 



Р-29Р в пусковом контейнере

# ТУРБУЛЕНТНОСТЬ БЕЗ ГРАДИЕНТОВ

Юрий Михайлович Кочетков, д.т.н.

Сложное турбулентное течение предполагает наличие градиентов давления в направлении вектора скорости. Многие крупногабаритные аппараты: морские суда, самолеты, сопловые блоки маршевых ракетных двигателей и т. д. представляют собой конструкции с поверхностями малой кривизны. Тем не менее турбулентное течение рабочих сред вблизи таких, почти плоских, стенок является весьма сложным. Аппроксимация их плоскими одномерными течениями не всегда оправдана и может привести к ошибочным результатам при выполнении газодинамических и тепловых расчетов конструкций.

Многие технические задачи газовой динамики для простоты их решения рассматриваются как безградиентные. При этом существенно упрощается математическая модель, описывающая процесс, и большинство членов уравнения Навье-Стокса в учет не берется. Считается, что безградиентными течениями являются течения вдоль плоской пластины и вдоль образующей цилиндрической поверхности. В этих случаях считается, что продольный градиент давления  $dp/dx = 0$ , а абсолютная величина статического давления по всему тракту остается постоянной величиной. Поскольку английское слово gradient означает уклон, скат или склонение, то течение вдоль пластины или цилиндрического канала происходит без подъемов, спусков или пережатий. Часто, желая упростить сложные трехмерные расчеты, исследователи аппроксимируют поверхности обтекания безградиентными формами, сводя задачу к плоской и т.д. Такой подход обосновывается тем, что многие поверхности больших грузовых судов, фюзеляжи самолетов и крупногабаритных сопел имеют относительно невысокую кривизну и являются почти плоскими. При этом так называемая стрелка вогнутости намного меньше характерной длины. Нередко указанный прием приводит к весьма существенному сокращению объема расчетов и даже обеспечивает возможность аналитического решения соответствующей задачи.

Но всегда ли оправдан такой подход? Можно ли во всех ситуациях им пользоваться? А если и можно, то в каких пределах? Теоретический и экспериментальный анализ показывает, что пользоваться таким приемом весьма нежелательно, а если это все-таки необходимо, то после строгих обоснований и, в основном, при очень низких числах Рейнольдса, когда течение заведомо ламинарное. В случае турбулентных течений такой подход неправилен.

Что же собой представляет течение вдоль плоской пластины? На первый взгляд - это действительно безградиентное течение. Его нельзя классифицировать ни как внешнее течение (обтекание тел), ни как внутреннее (течение в каналах, соплах, диффузорах). Это - особое течение. С математической точки зрения - это "особая точка". И, как будет показано ниже, оно обладает всеми свойствами и того, и другого класса течений. Поэтому оно является самым сложным из всех видов турбулентного течения и включает в себя все виды устойчивости, характерные для внешнего и внутреннего течений.

Основной причиной зарождения турбулентности на пластине является трение. Вязкий газ, протекая вблизи плоской стенки, тормозится и при достижении ее останавливается (гипотеза прилипания Прандтля). Скорости же наиболее удаленных от стенки слоев газа практически не отличаются друг от друга, и при ламинарных течениях сформированный профиль скорости

является гладким и выпуклым в соответствии с законом течения Ньютона

$$r = \mu \cdot du/dn.$$

В этом случае течение является послойным, а линии тока параллельны друг другу.

С ростом интенсивности обтекания пластины число Рейнольдса увеличивается, возникает волновое движение и уже при достаточно малых амплитудах его форма принимает вид гармонической функции - это течение в режиме малых возмущений. Такие течения называются волнами Толмина-Шлихтинга. Они могут возникать на плоских и криволинейных поверхностях. Эти течения описываются линейными дифференциальными уравнениями, полученными в результате линеаризации уравнения Навье-Стокса.

С увеличением скорости потока волны на значительном удалении от стенки становятся крутыми, а их форма начинает существенно зависеть от амплитуды. Возникает так называемая нелинейность течения. Это математическое свойство нелинейных дифференциальных уравнений имеет глубокий физический смысл. Свойство нелинейности проявляется вблизи стенки сопла при относительно больших числах Рейнольдса. При этом симметричная волна деформируется в процессе ее распространения, а угол наклона переднего фронта за наивысшей точкой резко увеличивается и даже приобретает отрицательное значение (рис. 1). Одним из наиболее известных примеров нелинейной волны является морская волна с заваливающимся гребнем (рис. 2). Этот "завал" объясняется тем, что скорость волны выше в тех местах, где ее амплитуда больше. Верхние слои обгоняют нижние и, в конце концов, могут опрокидываться. Деформацию волнового профиля такого типа принято называть "градиентной катастрофой".

Волны разной длины распространяются с различной скоростью вследствие явления дисперсии. Дисперсия заставляет волну расплываться или в итоге делает ее плоской. Конкуренция между нелинейностью и дисперсией приводит к образованию устойчивых структур - солитонов ("Двигатель", № 2 (38) - 2005). Динамику опрокидывающейся волны можно проследить в результате решений нелинейных уравнений гидродинамики, например уравнения Бюргерса

$$u_t + u \cdot u_x = \eta \cdot u_{xx}$$

для одномерного течения вязкой жидкости с постоянным давлением или уравнения Кортевега - де Вриза для волн малой амплитуды в тонких слоях идеальной жидкости

$$u_t + u \cdot u_x + u_{xxx} = 0.$$

Одним из решений уравнения Кортевега и де Вриза является зависимость, описывающая форму солитона

$$y(t, x) = y_0 \operatorname{ch}^{-1} \cdot \{(x - u \cdot t)/L\},$$

где  $u = u_0(1 + y_0/2h)$ .

Зависимость описывает динамику деформации продольной волны, а конвективный нелинейный член исходных уравнений  $u \cdot u_x$  увеличивает (уменьшает) скорость максимальной точки волны, иногда доводя ее до опрокидывающейся.

Аналогичная картина может возникать вблизи плоской пластины при низких и умеренных скоростях течения. Здесь также происходит послойное перетекание газа с дальнейшим образованием гармонических волн, которые, деформируясь, образуют опрокидывающуюся волну. При этом вниз по потоку амплитуда растет, и внешние линии тока, плавно обтекающие начальный и синусоидальный участки пристенных волн, приобретают форму опрокидывающейся волны. В зоне опрокидывания линии тока резко направляются вниз к стенке с положительным градиентом давления. При этом обтекание гармонических волн внешним потоком происходит при незначительном изменении давления, а обтекание за опрокидывающейся волной из-за ее больших размеров происходит при значительных градиентах давления. Характер обтекания в этом случае аналогичен характеру обтекания поперечного цилиндра или шара ("Двигатель" № 4 (46) - 2006). Натекание осуществляется с отрицательным градиентом давления и может приводить к образованию вторичных волн Толмина-Шлихтинга, а стекание - при положительном градиенте. Здесь образуются вихри Тейлора-Гертлера. При достижении стенки обтекающим потоком новые течения переформируются в устойчивые жгутовые образования. Градиент давления при этом на всем дальнейшем протяжении остается постоянным и равным нулю ( $dp/dx = 0$ ).

На рис. 3 схематично изображена модель турбулентного течения по плоской пластине. Рассмотрено дозвуковое течение. При сверхзвуковом течении вдоль пластины картина резко изменится и вместо сложных вихревых и жгутовых образований появится система косых скачков уплотнения, а в промежутках между скачками течение будет ламинарным.

Экспериментальные подтверждения такого течения можно найти в альбоме Милтона Ван-Дайка. На рис. 4 представлена визуализация обтекания плоской пластины. Область, называемая "пятном Эмондса", представляет собой когерентную структуру в виде системы жгутов в направлении развития турбулентного потока.

Безградиентным считается также внешнее и внутреннее обтекание образующей цилиндра. Структура турбулентности в обоих случаях аналогична плоской. Также проявляются нелинейные эффекты, связанные с образованием опрокидывающейся волны и последующим формированием продольных структур Тейлора-Гертлера. На рис. 5 показана саже-мазевая картина обтекания модели ракеты высокоскоростным потоком воздуха. Четко видны синусоидальные волны Толмина-Шлихтинга, а в районе возникшего положительного градиента давления ( $dp/dx > 0$ ) - продольные вихри Тейлора-Гертлера.

При внутреннем течении (рис. 6) в полости отборника частиц конденсированной фазы ("Двигатель", № 2 (44) - 2006) на поверхности уносимой втулки также наблюдаются отмеченные выше когерентные структуры. Эти структуры на цилиндрической поверхности уносимого материала представляют собой следы жгутов.

Весьма сложная структура турбулентного движения на пластине лишний раз убеждает в том, что любые аппроксимации течений вблизи сложных геометрических форм более простыми геометрическими формами могут оказаться неверными и привести к неправильным результатам расчетов. **А**

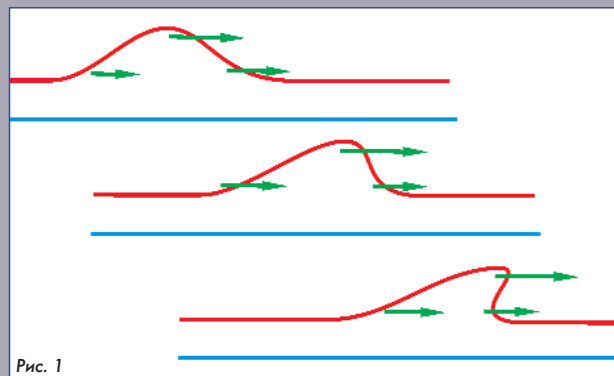


Рис. 1



Рис. 2



Рис. 3



Рис. 4



Рис. 5



Рис. 6

20 октября 2006 г. на ФГУП "ММПП "Салют" состоялся финал окружного конкурса профессионального мастерства "Мастера Центральной России". В мероприятии приняли участие победители региональных конкурсов по профессии фрезеровщик-универсал из центральных областей России и Москвы. Конкурс "Мастера Центральной России" проведен по инициативе Ассоциации профсоюзов и Координационного совета руководителей объединений промышленников и предпринимателей.

Началу финала предшествовало торжественное поднятие флагов России, Москвы и завода "Салют" и обращение к конкурсантам: Ф.П. Ковриго (зам. руководителя Департамента науки и промышленной политики г. Москвы), В.В. Крымова (директора по науке ФГУП "ММПП "Салют", председателя оргкомитета конкурса), О.В. Терентьевой (зам. председателя Московской конфедерации промышленников и предпринимателей) и др.

Проведение различных конкурсов на базе ФГУП "ММПП "Салют" уже стало традиционным. Но если раньше они проводились в рамках столицы, то теперь благодаря успехам ММПП "Салют" в создании системы подготовки и повышения квалификации (кстати, полностью совпадающей с приоритетным национальным проектом "Образование") предприятию поручено проведение окружного конкурса.

Впервые окружные финалы конкурса были проведены по инициативе Ассоциации территориальных объединений организаций профсоюзов ЦФО в 2004 г. при активной поддержке полномочного представителя Президента Российской Федерации в Центральном федеральном округе Г.С. Полтавченко. Основная цель конкурса - повышение престижа высококвалифицированного труда работников массовых профессий, пропа-



Открытие конкурса



Теория



Практика



Победители конкурса

ганды и достижений и передового опыта среди рабочих-станочников.

Конкурс прошел в два этапа: вначале участники в течение 30 минут письменно отвечали на теоретические вопросы (в билете было 15 вопросов), а затем приступили к выполнению практического задания.

В конкурсном билете содержались вопросы по следующим разделам заданий:

- обработка металлов резанием и металловедение;
- стандартизация, технические измерения, охрана труда и техника безопасности;
- экономика и организация производства.

Максимально за теоретические знания можно было получить 45 баллов.

Выполнение практического задания состояло в изготовлении детали по чертежу в установленное время. За своевременное выполнение задания можно было получить 100 баллов и за каждые 5 минут досрочного выполнения оценка повышалась на 2 балла. Но за каждый невыдержанный размер или отклонение от чертежа предусматривалось снижение на 10 баллов, так что торопиться надо было не спеша.

Уже через несколько часов были оглашены итоги конкурса. Первое место занял представитель Москвы Овчинников Александр Павлович (ФГУП "ММПП "Салют"). Второе место занял Чмилев Василий Миронович (Новолипецкий металлургический комбинат). На третье место поднялся Елисеев Сергей Викторович (Брянский машиностроительный завод).

По сложившейся традиции награждение победителей и вручение денежных премий (60 тыс. руб. - за первое место; 40 тыс. руб. - за второе место; 20 тыс. руб. - за третье место) состоится на итоговом расширенном заседании Совета при полномочном представителе Президента Российской Федерации в Центральном федеральном округе в декабре 2006 г.

**Соб. Инф.**





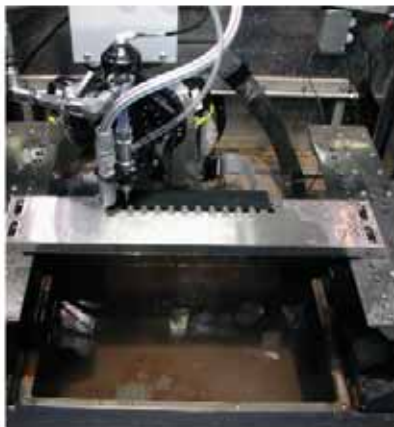
# Впервые в мире! Гибридный электроискровой станок режет в 100 быстрее самого скоростного ЭИ вырезного станка



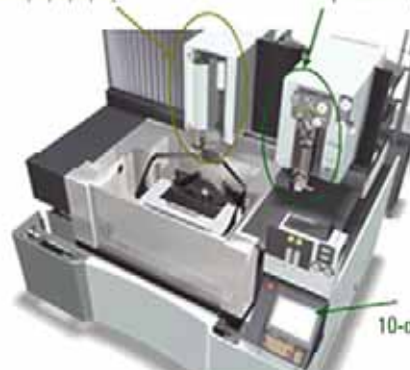
31 августа 2006 г. Sodick Co., Ltd. объявила о создании первого в мире гибридного электроискрового вырезного станка, способного резать графит в 100 раз быстрее самого скоростного ЭИ станка (до 40000 мм<sup>2</sup>/мин), сталь - в 3 раза быстрее (до 1400 мм<sup>2</sup>/мин), а, к примеру, вольфрам - в 7-10 раз быстрее (свыше 900 мм<sup>2</sup>/мин)! Гибридный вырезной станок представляет собой комбинацию гидроабразивного режущего блока компании Flow International и электроискровой проволочно-вырезной машины Sodick, работающих попеременно. Чтобы обеспечить высокую точность, обрабатываемые части станка приводятся линейными двигателями. Новый станок впервые демонстрировался на выставке IMTS 2006 в Чикаго.

То, что "Содик" готовит очередную сенсацию, подозревали и конкуренты, и приверженцы новых передовых технологических решений. Последний раз ЭИ станок для так называемого скоростного резания компания Sodick продемонстрировала в Милане в сентябре 2003 г., показав "аживую" рекордную скорость резания до 580 - 600 мм<sup>2</sup>/мин. Однако, после окончания миланской ЕМО, о скоростном ЭИ резании в компании замолчали. Уже тогда конструкторам "Содик" стало ясно, что "скоростное ЭИ резание" - путь в никуда. Скорость в ЭИ резании на практике уменьшает производительность, а не увеличивает ее. Затраты, чтобы увеличить скорость первого грубого прохода, растут намного быстрее роста скорости. С ростом скорости теряется точность, уродуется поверхность реза, выше всех пределов проявляют себя бочкообразность, "корсет", конусность и т.д.

Зачем заставлять технологию, созданную для прецизионной обработки, решать чуждые ей задачи, если для скоростного резания уже существуют более эффективные решения. Мировой лидер в электроискровой обработке объединил свои усилия с мировым лидером в гидроабразивном резании компанией Flow International. Результат - машина, способная к действительно

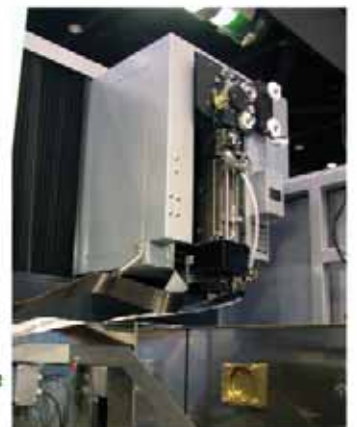


Гидроабразивная резка  
(5 осей: X, Y, Z, A, B)



Финишное ЭИ резание  
(5 осей: X, Y, Z, U, V)

КЧПУ  
10-осевое управление  
(5+5)





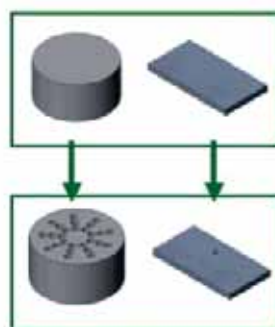
Первый в мире гибридный электроискровой станок впервые демонстрировался на международной выставке IMTS 2006 в Чикаго с 6 по 13 сентября с.г.

скоростному резанию на первом грубом проходе при приемлемых затратах и прецизионному электроискровому проволочному резанию на последующих, выходящих проходах. Гидроабразивная головка может использоваться, помимо прочего, для "сверления" стартовых отверстий, а применение гидроабразивных технологий не ограничивается электропроводными материалами, что делает станок рекордно универсальным сверхскоростным прецизионным линейным обрабатывающим центром. В серию новая уникальная машина пойдет ориентировочно во 2-м квартале 2007 года.



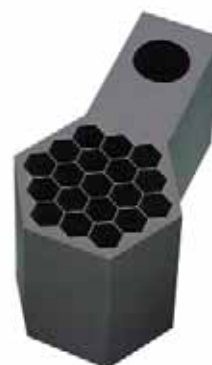
Пример гидроабразивного резания алюминиевого сплава

Быстрое гидроабразивное "сверление" стартовых отверстий значительно снижает производственные затраты.



**Пример гибридной обработки графита:**

Материал: графит ISO63;  
Толщина: 25 мм;  
Гидроабразивное резание: **15 мин**;  
Общее время обработки: 4 час 40 мин;  
Проволока-электрод (латунь): диам. 0,2 мм;  
Шероховатость: Ra = 2,0 мкм;  
Мин.толщина ребра: 0,5 мм!!!



**ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ ПЕРВОГО В МИРЕ ГИБРИДНОГО ВЫРЕЗНОГО СТАНКА**

**Электроискровой проволочно-вырезной блок**

Перемещения по осям X, Y, Z.....	550 x 350 x 250 мм
Перемещения конусного стола U, V.....	570 x 370 мм
Макс. угол конусного резания.....	±30° / 150 мм
Диаметр проволоки-электрода.....	0.15-0.3 мм
Макс.размер катушки с проволокой.....	20 кг
Макс. скорость подачи проволоки.....	420 мм/сек

**Гидроабразивный блок**

Перемещения по осям X, Y, Z.....	570 x 370 x 250 мм
Угол конусного резания (оси A, B).....	±10°
Давление гидроабразивной струи.....	380 МПа

**Гибридный ЭИ вырезной станок**

Максимальные размеры заготовки.....	750 x 500 x 250 мм
Максимальный вес заготовки.....	1000 кг
Размеры станка.....	2920 x 3240 x 2500 мм
Площадь, требуемая для установки.....	3000 x 5100 мм
Рабочая жидкость.....	деионизированная вода
Расход сжатого воздуха.....	450 л/мин
Фильтрация рабочей жидкости.....	сменные бумажные фильтры
Термостатирование рабочей жидкости.....	комплектующий охладитель-термостат
Объем бака диэлектрика.....	2700 л

**Пример гибридной обработки стали:**

Материал: сталь SKD11 (X12M);  
Толщина: 10 мм;  
Гидроабразивное резание: **5 мин**;  
Общее время обработки: 49 мин;  
Проволока (латунь): диам. 0,3 мм;  
Шероховатость: Ra = 3,0 мкм;



**Пример гибридной обработки графита:**

Материал: графит ISO63;  
Толщина: 50 мм;  
Гидроабразивное резание: **25 мин**;  
Общее время обработки: 7 час 20 мин;  
Проволока (латунь): диам. 0,3 мм;  
Шероховатость: Ra = 2,0 мкм;  
Мин.толщина ребра: 1,0 мм!!!

# Электроискровая революция свершилась!



**Nano EDM EA 05**  
Лучший продукт Японии 2005  
(1 из 10 лучших)



**Гарантия точности позиционирования**

**10 лет**

**Рождение гибридных ЭИ станков**  
(Sodick, 2006 г.)

**Пионер и лидер нанотехнологий в металлообработке**

## Sodick

- ⇒ Крупнейший в мире производитель - свыше 3000 электроискровых станков в год (больше, чем вся Европа)
- ⇒ Мощнейший научно-технический потенциал, подтверждаемый самым большим в отрасли числом патентов

**Рождение линейных ЭИ наностанков**  
(Sodick, 2001 г.)



**Рождение линейных ЭИ станков**  
(Sodick, 1998 г.)



**Рождение керамических ЭИ станков**  
(Sodick, 1981 г.)



**Рождение зеркальных ЭИ технологий**  
(Sodick, 1980 г.)



**Рождение ЭИ станков с компьютерными ЧПУ**  
(Sodick, 1976 г.)

**Рождение ЭИ станков с ЧПУ**

**Рождение электроискровой обработки** (Россия, конец 30-х)

**№ 1 в Японии**  
**№ 1 в мире**



# МЫ ОТКРЫВАЕМ САМОЛЕТУ НЕБО



АЛ-31Ф



Su-27  
Su-27UB  
Su-30  
Su-32ФН  
Su-33



АЛ-31ФП



Su-30МК  
Су-30МКИ  
Су-35  
Су-37



АЛ-31ФН



J-10  
(ВВС Китая)



117С (двигатель нового поколения)



**2006 год** – это **90-летие** ОАО «НПО «Сатурн», **60 лет** НТЦ им. А. М. Люльки ОАО «НПО «Сатурн».

**90 лет** НПО «Сатурн» проектирует и производит двигатели для лучших военных и гражданских самолетов России.

**Разработки** НПО «Сатурн» – это 80% всего экспорта двигателей для мирового парка российских самолетов.

**Сегодня** на выпуске наших двигателей работают серийные предприятия России, Индии.

**90** ЛЕТ  
**САТУРН**  
1916 - 2006

WWW.NPO-SATURN.RU