

Двигатель

Научно-технический журнал

№ 4 (94 + 244) 2014



ОБОРОНЭКСПО 2014

МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА И ФОРУМ
ВООРУЖЕНИЯ И ТЕХНОЛОГИИ В МОСКВЕ

Роботы
давно уже
не фантастика
и
не игрушки
СТР. 12



Редакционный совет

Агульник А.Б., д.т.н.,
декан факультета авиационных двигателей МАИ

Бабкин В.И., к.т.н.,
ген. директор ГНЦ "ЦИАМ им. П.И. Баранова"

Багдасарьян Н.Г., д.филос.н.,
профессор МГУ им. М.В. Ломоносова,
МГТУ им. Н.Э. Баумана

Богуслаев В.А., д.т.н.,
Президент АО "МОТОР СИЧ"

Воронков Ю.С., к.т.н.,
зав. кафедрой История науки РГГУ

Григорян Г.Г., д.т.н.,
вице-президент Общества "Знание" России

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

Дическул М.Д.,
зам. управляющего директора ОАО "ОДК"

Дмитриев В.Г., д.т.н.,
главный научный сотрудник ГНЦ "ЦАГИ"

Иноземцев А.А., д.т.н.,
ген. конструктор ОАО "Авиадвигатель"

Каблов Е.Н., академик РАН,
ген. директор ГНЦ "ВИАМ"

Каторгин Б.И., академик РАН

Коржов М.А., к.т.н.,
руководитель проекта "Двигатель"
ОАО "АвтоВАЗ"

Кравченко И.Ф., д.т.н.,
ген. конструктор ГП "ИВЧЕНКО-ПРОГРЕСС"

Крымов В.В., д.т.н.

Кутенев В.Ф., д.т.н.,
зам. ген. директора ГНЦ "НАМИ" по научной работе

Кухаренок Г.М., к.т.н.,
зав. каф. ДВС Белорусского национального ТУ

Лобач Н.И.,
ген. директор ПО "Минский моторный завод"

Новиков А.С., д.т.н.
зам. ген. директора ГНЦ "ЦИАМ им. П.И. Баранова"

Пустовгаров Ю.Л.,
президент Торгово-промышленной палаты
Республики Башкортостан

Рачук В.С., д.т.н.,
ген. конструктор, ген. директор
ФГУП "КБ Химавтоматики"

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

Рыжов В.А., д.т.н.,
главный конструктор ОАО "Коломенский завод"

Ситнов А.П.,
президент, председатель совета директоров
ЗАО "Двигатели "ВК-МС"

Скибин В.А., д.т.н.,
научный руководитель ГНЦ "ЦИАМ
им. П.И. Баранова"

Смирнов И.А., к.т.н.,
ген. конструктор КБХМ - филиала ФГУП "ГКНПЦ
им. М.В. Хруничева"

Троицкий Н.И., к.т.н.,
доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана

Фаворский О.Н., академик РАН,
член президиума РАН

Чуйко В.М., д.т.н.,
президент Ассоциации "Союз
авиационного двигателестроения"

Зайков Г.В.,
ген. директор ГП "НПК газотурбостроения
"ЗОРЯ"-МАШПРОЕКТ"

РЕДАКЦИЯ

Главный редактор

Александр Иванович Бажанов
член-корреспондент Российской и
Международной инженерных академий

Заместитель главного редактора

Дмитрий Александрович Боев

Ответственный секретарь

Александр Николаевич Медведь, к.т.н.

Финансовый директор

Юлия Валерьевна Дамбис

Редакторы:

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

Литературный редактор

Иван Петрович Сидоров

Художественные редакторы:

Александр Николаевич Медведь
Владимир Николаевич Романов

Техническая поддержка

Ольга Владимировна Лысенкова, к.пед.н.

В номере использованы фотографии, эскизы и рисунки:

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

Адрес редакции журнала "Двигатель":

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

Тел./Факс: (495) 362-3925.

dvigatel@yandex.ru

boeff@yandex.ru

aib50@yandex.ru

www.dvigately.ru

Электронная версия журнала (2006-2014 гг.)
размещается также на сайте Научной электронной
библиотеки www.elibrary.ru и включена в индекс РИНЦ

УЧРЕДИТЕЛЬ И ИЗДАТЕЛЬ

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

Ответственность за достоверность инфор-
мации и наличие в материалах фактов, не
подлежащих разглашению в открытой печати,
лежит на авторах публикаций.

*Мнение редакции не всегда
совпадает с мнением авторов.*

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

Журнал "Двигатель", рекомендован экспертно-
ми советами ВАК по техническим наукам, по ис-
тории, экономике, философии, социологии и
культурологии в числе журналов, в которых
должны быть опубликованы основные научные
результаты диссертации на соискание ученой
степени доктора и кандидата наук. Индекс 747
в общероссийском каталоге 2012 г.

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

Рег. № 018414 от 11.01.1999 г.

16-й (108-й) год издания.

Отпечатано

ЗАО "Фабрика Офсетной Печати" Москва.

Тираж 5 000 экз.

Периодичность: 6 выпусков в год.

Цена свободная.



Научно-техническое издание по освещению
проблем в промышленности

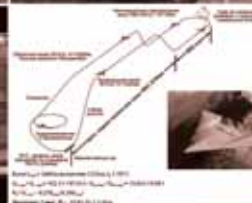
2010



Медаль АМКОВ
"Преодоление"



СОДЕРЖАНИЕ



2 Разработка США технологий создания двигателей шестого поколения для боевой авиации

В.И. Солонин, В.А. Палкин

8 Лотарев Владимир Алексеевич

И.Ф. Кравченко, С.В. Дмитриев

12 На ТВМ-2014

Вадим Свойский

14 Моделирование процесса послепродажного обслуживания газотурбинных двигателей

В.А. Зрелов, В.А. Коротков, М.Е. Проданов, В.В. Сёмушкин

16 К 80-летию со дня рождения Е.А. Гриценко

В.И. Пейсахович

18 Учёный, видевший будущее. К 70-летию со дня рождения Игоря Васильевича Егорова

А.Л. Абасов

20 Турбулентность. Торсионные жгуты

Ю.М. Кочетков

24 Проблематичное начало и драматический конец разработки ракеты-носителя Н1

В.Ф. Рахманин

33 Каторгину Борису Ивановичу 80 лет!

34 Автоэквилибрирующее роторно-поршневое устройство. К возможности построения

А.Ф. Равич, С.Н. Богданов

38 Социальная поддержка семьи в Российской Федерации. Состояние проблемы

А.С. Иванов

41 Комплексование цветовых решений при оформлении учебно-производственных помещений

С.В. Потапова

44 Ледоколы России. Атомный ледокол "Арктика"

В.С. Шитарёв

РАЗРАБОТКА США ТЕХНОЛОГИЙ СОЗДАНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ ШЕСТОГО ПОКОЛЕНИЯ ДЛЯ БОЕВОЙ АВИАЦИИ



ФГУП ГНЦ "ЦИАМ им. П.И. Баранова":
Валентин Иванович Солонин, советник администрации, к.т.н.
Владимир Анатольевич Палкин, помощник генерального директора



Авиационный двигатель - ключевое звено любого летательного аппарата, определяющий его летно-технические характеристики, безопасность, надежность, экономичность, стоимость эксплуатации. Более чем за 60-летний период развития самолетов с реактивными двигателями было создано пять поколений авиационных двигателей при кардинальном улучшении их показателей, а авиация превратилась в важнейший фактор развития мировой транспортной системы и обеспечения обороноспособности страны.

Улучшение показателей авиационных двигателей было достигнуто благодаря переходу к новым схемам, повышению параметров цикла и степени двухконтурности, внедрению новых конструктивных материалов и технологий.

На протяжении всего периода развития летательных аппаратов с газотурбинными двигателями "мотором" прогресса была и остается военная авиация, внутри которой наиболее быстро развивались двигатели для фронтовой авиации. Именно в них в первую очередь внедрялись новые конструкторские решения, технологии и материалы.

Развитие двигателей фронтовой авиации показано на рис. 1. Это развитие осуществлялось в соответствии с ужесточением требований к силовой установке для обеспечения существенного улучшения летно-технических характеристик самолетов, в том числе придание им новых свойств. Оно обеспечивалось повышением параметров рабочего процесса, применением новых материалов, перспективных технологий и технических решений. В настоящее время

в США вводятся в эксплуатацию самолеты тактической авиации с двигателями 5-го поколения (F-22 с двигателем F119 и F-35 с двигателем F135), которые по сравнению с двигателями 4-го поколения характеризуются меньшим количеством деталей, снижением удельного веса на 20...30 %, удельного расхода топлива на форсажном режиме на 15-20 %, увеличением лобовой тяги на 20 %, существенным улучшением эксплуатационных характеристик (ресурс составляет ~50-100 % ресурса планера, надёжность на 60...80 % выше, чем у предшественников, трудоемкость технического обслуживания примерно в 2-3 раза меньше, стоимость жизненного цикла примерно в 1,3 раза меньше). Их применение в составе силовой установки самолета обеспечивает возможность совершать крейсерский полёт со сверхзвуковой скоростью на бесфорсажном режиме, высокую маневренность, а также низкий уровень заметности и высокую боевую живучесть. Эти требования обеспечиваются повышением температуры газа перед турбиной (до $T_{г^*} = 1850-1950$ К) и степени повышения давления в компрессорах до $\pi_{г^*} \approx 30$. При этом к.п.д. высоконагруженных узлов повышен на 2...3 % по сравнению с двигателями 4 поколения. Характерно также широкое применение в конструкции высокопрочных порошковых и гранульных сплавов, монокристаллических лопаток турбины с высокоэффективной системой охлажде-

2...3-е поколения	4-е поколение	5-е поколение	6-е поколение
1960...1970-е годы	1980...1990-е годы	2000...2015-е годы	2020...2030-е годы
ТРЕБОВАНИЯ И ЦЕЛИ			
<ul style="list-style-type: none"> Высокая лобовая и разгонные тяги $M_n = 2,5 \div 3,0$  <p>ТРДФ / ТРДДФ</p> <p>$\pi^*_k = 5 \div 20$ $T_{г^*} = 1200 \div 1300$ К $m_0 = 0,7 \div 1,0$ $Z = 8 \div 20$</p>	<ul style="list-style-type: none"> Снижение уд. расхода топлива при $M_n < 1$ на 20% Боеживучесть Высокая маневренность  <p>ТРДДФ</p> <p>$\pi^*_k = 20 \div 26$ $T_{г^*} = 1600 \div 1700$ К $m_0 = 0,5 \div 0,6$ $Z = 12 \div 15$</p>	<ul style="list-style-type: none"> Снижение удельного веса и увеличение лобовой тяги на 20% Бесфорсажный кр. полет при $M_n > 1$ Низкая заметность  <p>ТРДДФ</p> <p>$\pi^*_k = 25 \div 30$ $T_{г^*} = 1850 \div 1950$ К $m_0 = 0,3 \div 0,8$ $Z = 9 \div 11$</p>	<ul style="list-style-type: none"> Улучшение топливной эффективности на 35% Высокое отношение тяги к весу двигателя Адаптивный двигатель, интегрированный с ЛА.  <p>ДИК</p> <p>$\pi^*_k = 30 \div 60$ $T_{г^*} = 2100 \div 2200$ К $m_0 = \text{var}$ $Z = 9 \div 10$</p>
ТЕХНОЛОГИИ			
<ul style="list-style-type: none"> Одно- или двухвальный компрессор Неохлаждаемая или охлаждаемая ТВД Стальные, титановые и жаропрочные сплавы 	<ul style="list-style-type: none"> Титановые сплавы в КНД, КВД и ФК Монокристаллические лопатки РК ТВД КМ (статорные детали) CAU FADEC 	<ul style="list-style-type: none"> Титановые блиски в КНД и КВД Монокристаллические лопатки ТВД (СА и РК) КМ (статорные и роторные детали) Распределенная САУ Сопло с УВТ 	<ul style="list-style-type: none"> Широкое регулирование узлов Управление течением в ВЗ и РК Электрический двигатель Интеллектуальная САУ, интегрированная с ЛА Эксплуатация с допустимым уровнем повреждений Оптимальная выработка, распределение энергии и охлаждение конструкций

Рис. 1 Развитие двигателей для фронтовой авиации



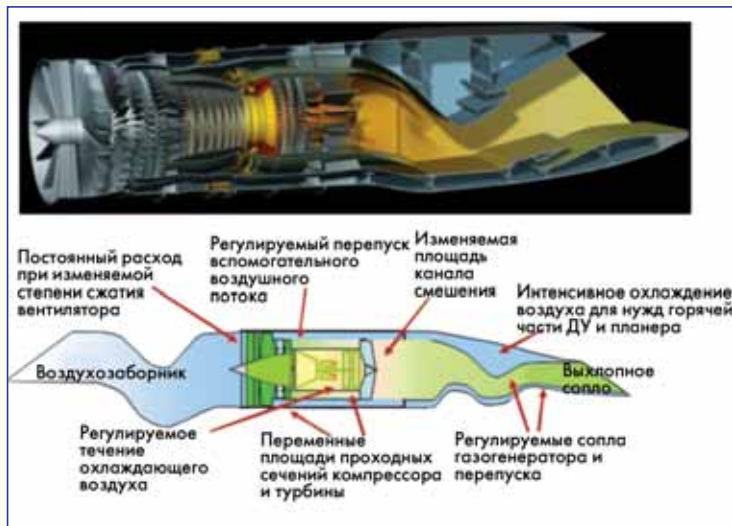


Рис. 2 Двигатель переменного цикла, интегрированный с летательным аппаратом

ния, полых рабочих лопаток вентилятора, лёгких высоконапорных ступеней компрессора типа "блиск" (диск, выполненный за одно целое с рабочими лопатками), корпусов и других статорных деталей из композиционных материалов. В Европе также находятся в эксплуатации самолеты с двигателями 5-го поколения (Rafale с ТРДДФ М88 и Eurofighter с двигателями EJ200), но по своим характеристикам они уступают самолетам США.

Для сохранения мирового лидерства в разработке авиационной техники в США организована разработка новых технологий для силовых установок летательных аппаратов различного назначения. В целях достижения максимально возможного уровня технического совершенства, снижения сроков и стоимости разработки двигателей в рамках специальных программ постоянно ведется опережающая отработка новых технических решений. Во многом благодаря этим программам, проводимым при активной поддержке со стороны государства, и обеспечивается конкурентоспособность зарубежных авиадвигателестроительных компаний на мировом рынке.

Программы по двигателям военного и гражданского назначения взаимно дополняют друг друга, поскольку при создании новых и модернизации находящихся в эксплуатации двигателей на 70...80 % используют общие технологии - методы расчета, конструкторские решения, конструкционные материалы, технологические процессы и т.д.

С начала 2000-х годов в США активно ведутся работы по созданию научно-технического задела (НТЗ) для двигателей 6-го поколения (программы Министерства обороны США VAATE, AETD, INVENT и др.), бюджетное финансирование которых через ВВС США в последние годы составляет 400...450 млн долл. в год. Целью этих программ является разработка демонстрационных высокоэффективных узлов, газогенераторов, двигателей и систем для силовых установок летательных аппаратов военного назначения с характеристиками, существенно превосходящими характеристики двигателей 5-го поколения [1].

Основываясь на результатах проводимых в настоящее время работ, зарубежные производители авиационных двигателей, прежде всего в США, приступили к работам над проектами двигателей 6-го поколения для военной авиации, ввод в эксплуатацию которых ожидается не ранее 2020 - 2025 гг. Эти двигатели будут максимально интегрированы с летательным аппаратом. Применяемые в них технологии будут направлены не только на повышение параметров рабочего процесса и улучшение весовой эффективности конструкции, но и на снижение всех составляющих стоимости жизненного цикла двигателя.

В 2014 году МО США начала работу по программе AETD, направленной на разработку демонстрационного двигателя, в котором будут интегрированы технологии, обеспечивающие улучшение топливной эффективности боевых летательных аппаратов. Необходимость создания такого двигателя связана в основном с ростом стоимости топлива (ежегод-

ное потребление топлива ВВС США составляет ~15 млн тонн). В рамках программы к 2016 году предполагается разработать демонстрационный двигатель изменяемого рабочего процесса (адаптивный двигатель) с высоким уровнем параметров ($\pi_{\Sigma}^* = 40...70$, $T_{г}^* = 2200...2400$ К), широким применением "электрических" технологий, управлением течением в лопаточных машинах и процессами в камере сгорания, обеспечивающий эксплуатацию с допустимым уровнем повреждений деталей, который должен обеспечить повышение топливной эффективности ЛА на 25...35 %. Его применение в составе СУ, интегрированной с ЛА, позволит создать многоцелевые самолеты, обладающие оптимальными характеристиками в различных условиях полета.

Концептуальное исследование двигателя проведенное компаниями Boeing, General Electric, Lockheed Martin, Northrop Grumman, Pratt & Whitney и Rolls Royce, показало, что создание адаптивного трехконтурного двигателя (рис. 2) позволит значительно улучшить топливную эффективность, сравнимое с переходом от ТРД к ТРДД. Благодаря широкому регулированию узлов и наличию независимо регулируемого третьего контура адаптивный двигатель позволяет обеспечить низкий удельный расход топлива при длительном крейсерском полете с дозвуковой скоростью и барражировании, свойственный двигателям с большой степенью двухконтурности, и высокий уровень удельной тяги на разнообразных боевых режимах, включая короткий взлет и посадку, сверхзвуковой полет, боевое маневрирование, перехват и др., свойственные двигателям малой степени двухконтурности.

Потребные значения тяги для совершения крейсерского полета в широком диапазоне скоростей и высот полета будут обеспечиваться путем изменения степени повышения давления в вентиляторе и расхода воздуха в газогенераторе при сохранении величины температуры газа перед турбиной, что позволит до 35 % снизить удельный расход топлива при дозвуковых скоростях полета (рис. 3). Кроме того, наличие третьего контура позволяет обеспечить оптимальное тепловое регулирование интегрированной системы охлаждения силовой установки и самолета, низкий уровень заметности, а также отборы воздуха на улучшение аэродинамических характеристик самолета, а при разумном регулировании - поддерживать постоянный расход воздуха на входе в двигатель при его дросселировании, что позволяет не только повысить степень двухконтурности и тем самым экономичность двигателя, но и снизить лобовое сопротивление воздухозаборника по жидкой линии.

При разработке и создании демонстрационного адаптивного двигателя должны быть отработаны следующие технологии:

- высокотемпературные турбины с регулируемыми лопатками СА ($T_{г}^*_{max} = 2100...2200$ К), обеспечивающие высокую эффектив-

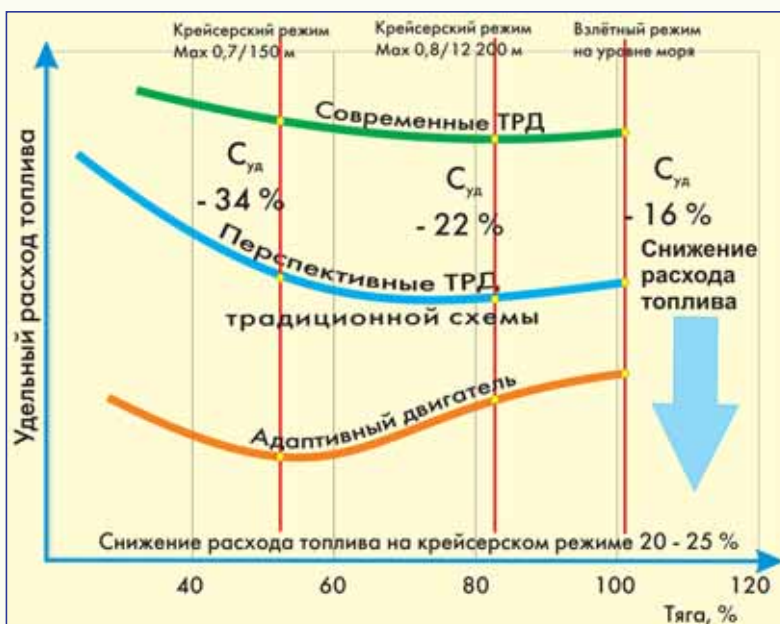


Рис. 3 Предварительная оценка экономичности адаптивного двигателя

ность в широком диапазоне изменения расхода газа и мощности;

- высокоэффективные вентиляторы с переменной степенью повышения давления;
- высоконагруженные компрессора с температурой на выходе до $T_{к*max}=1030\text{ K}$, обеспечивающие изменение в широком диапазоне расхода воздуха и степени повышения давления;
- механические системы, обеспечивающие изменение в широком диапазоне степени двухконтурности и отбор воздуха на увеличение подъемной силы;
- оптимальная выработка и распределение энергии, и охлаждения конструкции как двигателя, так и летательного аппарата;
- электрические приводы систем двигателя и летательного аппарата;
- интеллектуальная автоматическая система регулирования, адаптирующая к внешним условиям и техническому состоянию;
- детали и узлы из композитных материалов, в том числе на керамической матрице;
- улучшение интеграции воздухозаборника и сопла.

Эффективность применения трехконтурного адаптивного двигателя 6-го поколения (VCE) по сравнению с ТРДД 5-го и 6-го поколения обычных схем рассмотрена в работе [2] для трех самолетов различного назначения: маневренного тактического самолета, дозвукового ударного самолета с большой дальности полета и сверхзвукового ударного самолета. Причем ко всем двигателям рассматриваемых самолетов предъявляются требования по обеспечению отборов воздуха на охлаждение хвостовой части, систем самолета и двигателя в количестве 15 % от суммарного расхода через двигатель. Профили полета рассматриваемых самолетов установлены лабораторией BBC AFRL (Air Force Research Laboratory). Все рассматриваемые профили полета отличаются большим радиусом действия ($R_{min}=1800\text{ км}$ и $R_{max}=11000\text{ км}$), необходимостью преодоления глубоко эшелонированной зоны ПВО ($R_{ПВО}^{min}=450\text{ км}$ и $R_{ПВО}^{max}=900\text{ км}$) и отсутствием требований к большим перегрузкам, что позволило рассматривать бесфорсажные двигатели. Кроме того следует отметить, что у всех рассмотренных самолетов большая полезная нагрузка - от 9 т до 36 т. Параметры и эффективность узлов исследуемых двигателей, приведенных к одному значению расхода воздуха на входе, представлены в таблице 1.

Таблица 1

Двигатель	ТРДД 5 пок.	ТРДД 6 пок.	VCE
$z_{ст}$	2+6-1+2	2+7-1+2	1 + 1+7-1+2
$T_{г\max}/T_{к\max}$	1889/922	2144/1033	2144/1033
КПД узлов, % В/КНД/КВД/ТВД/ТНД	84/-/ 85/87/88	88,5/-/ 86/89/90	88,5/88,5/86 /89/90
$\delta_{охл} > \%$ $CA_{ТВД}/PL_{ТВД}/C_{A_{ТНД}}/PL_{ТНД}$	10/5/5/2	15/10/4/2	15/10/4/2 отключен 15/5/2/1
$\sigma_{вх}$	0,95	0,97	0,97
$\bar{R}_{СВН}$	0,95	0,97	0,97
$\bar{R}_{СНАР}$	0,92	0,92	0,96
$CA_{ТВД} - var$	нет	да	да

Интегрированная компоновка двигателей обеспечивает требования малой заметности и размещение теплообменников и других компонентов системы охлаждения силовой установки и самолета. Оба обычных ТРДД имеют раздельное охлаждение сопел с уменьшенным коэффициентом тяги В двигателе VCE охлаждение хвостовой части выполнено за счет сопла наружного контура; в этой конфигурации не используется пленочное охлаждение, и поэтому коэффициент $\bar{R}_{СНАР}$ несколько выше. Степень сжатия в вентиляторе подбирается для обеспечения заданного значения тяги на расчетном режиме. Степень сжатия в компрессоре высокого давления (КВД) подбирается под расчетную суммарную степень сжатия. В ре-

зультате для каждой полетной задачи все двигатели завязываются при одинаковой площади на входе, расходе воздуха и тяге установленного двигателя. Кроме того, трехконтурный двигатель имеет частично отключаемый расход воздуха на охлаждение турбин. В двигателе VCE рассматривались регулирование направляющих аппаратов вентилятора и каскада низкого давления, сопловых аппаратов турбин, сопел первого и второго контуров, смесителя и перепуска в третий контур.

Тактический маневренный самолет

Требования, предъявляемые к тактическому маневренному самолету, связаны с необходимостью иметь в двигателе наилучшую дозвуковую эффективность цикла и большую величину отношения тяги к весу двигателя для короткого взлета и посадки. Самолет имеет профиль полета с четырьмя крейсерскими участками на режимах с заметно сниженной тягой, поэтому для обеспечения высокой топливной эффективности двигатель должен обладать способностью эффективно изменять расход воздуха через газогенератор.

Кроме того, двигатель должен обеспечивать отбор сжатого воздуха в количестве до 36 кг/с и степенью сжатия не менее 1,9 для создания вертикальной тяги, составляющей не менее 60 % от максимального значения, на режиме короткого взлета и отдельный отбор воздуха в количестве не менее 15 % от суммарного расхода воздуха через двигатель для системы охлаждения горячих элементов конструкции самолета.

Профиль полета и основные характеристики самолета представлены на рис. 4.

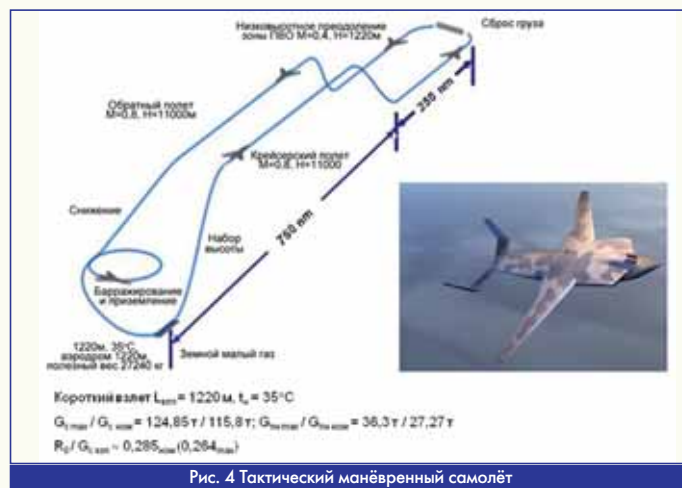


Рис. 4 Тактический маневренный самолёт

Основные характеристики самолета обеспечиваются 3 двигателями взлетной тягой 11 тс с расходом воздуха 280 кг/с. Оптимальные значения степени двухконтурности, удельного расхода топлива на режиме прохождения зоны ПВО и удельного веса силовой установки (γ_{cy}) представлены в таблице 2.

Таблица 2

Двигатель	ТРДД 5 пок.	ТРДД 6 пок.	VCE
m	1,44	2,24	2,54 (0,66+0,91)
$C_{гн}=1,2\text{ км. }M=0,4$	0,96	0,767	0,643
γ_{cy}	~0,24	~0,22	~0,24

Данные по уменьшению расхода топлива адаптивного трехконтурного двигателя при одинаковом радиусе действия или увеличению радиуса действия при одинаковом запасе топлива по сравнению с двигателями 5-го и 6-го поколения традиционной схемы представлены в таблице 3.

Основной вклад в существенное снижение расхода топлива в двигателе VCE получен при оптимальном регулировании соплового аппарата турбины высокого давления, сопла третьего контура, обеспечивающего снижение сопротивления воздухозаборника и сопла, частичного отключения охлаждающего турбины воздуха. При этом степень двухконтурности на различных режимах меняется от 1,9 до 4,0.



Таблица 3

Относительно ТРДД 5 поколения		
	VCE	ТРДД 6 пок.
$\Delta G_{\text{топ}}, \%$	-33,6	-21,7
$\Delta R_{\text{дейс}}, \%$	+67,2	+39,1
Относительно ТРДД 6 поколения		
$\Delta G_{\text{топ}}, \%$	-15,2	-
$\Delta R_{\text{дейс}}, \%$	+21,5	-

Ударный дозвуковой самолет большой дальности

Для дозвукового ударного самолета большой дальности требуется двигатель, обеспечивающий максимальную топливную эффективность при крейсерском полете на больших и малых высотах.

В то же время среди требований к данному типу самолетов, сформулированных в лаборатории AFRL, есть требование к короткому взлету и посадке, а также к обеспечению дальности 9260 км без дозаправки горючим. Для данной миссии в качестве показателя применен радиус полета: расстояние от взлета до района боевых действий. Как в предыдущем случае, требуется 15 % суммарного расхода воздуха через двигатель отбирать в третий контур для постоянного охлаждения хвостовой части, управления тепловыми нагрузками на самолете и улучшения охлаждения горячих узлов двигателя. Профиль полета и основные характеристики ударного дозвукового самолета представлены на рис. 5.

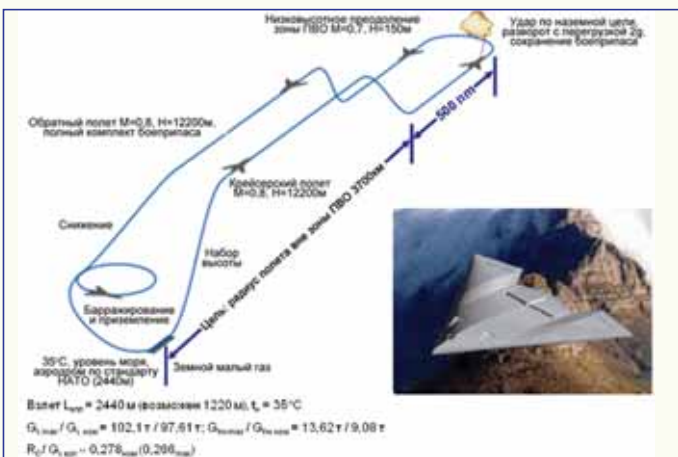


Рис. 5 Ударный дозвуковой самолёт большой дальности

Основные характеристики самолета обеспечиваются 2 двигателями взлетной тягой 13,6 тс и размером входа 1,42 м. Оптимальные степени двухконтурности, удельного расхода топлива на высотном и низковисотном крейсерском полете и удельного веса двигателей, оптимизированных под рассматриваемый самолет, представлены в таблице 4.

Таблица 4

Двигатель	ТРДД 5 пок.	ТРДД 6 пок.	VCE
m	1,15	1,86	1,91 (0,26+1,24)
$C_{гН=0,152\text{KM}}, M=0,7$	1,258	1,063	0,886
$C_{гН=12,2\text{KM}}, M=0,8$	0,93	0,812	0,749
$\gamma_{сy}$	~0,167	~0,15	~0,165

Анализ применения рассматриваемых двигателей на ударном дозвуковом самолете большой дальности показал преимущество двигателя VCE по расходу топлива при заданном радиусе действия на ~33 % и ~15 % по сравнению с традиционными ТРДД 5-го и 6-го поколения соответственно и по увеличению радиуса действия при одинаковом запасе топлива на ~44 % и ~17 % (табл. 5).

Основной вклад в существенное улучшение характеристик само-

Таблица 5

Относительно ТРДД 5 поколения		
	VCE	ТРДД 6 пок.
$\Delta G_{\text{топ}}, \%$	-32,8	-20,6
$\Delta R_{\text{дейс}}, \%$	+44,2	+23,7
Относительно ТРДД 6 поколения		
$\Delta G_{\text{топ}}, \%$	-15,4	-
$\Delta R_{\text{дейс}}, \%$	+16,6	-

лета с двигателем VCE по сравнению с двигателями традиционных схем внесло оптимальное регулирование направляющих аппаратов КНД, сопла третьего контура и соплового аппарата турбины высокого давления и частичного отключения охлаждения турбин. Это регулирование позволило значительно (на ~35 %) снизить удельный расход топлива и в 3 раза уменьшить лобовое сопротивление по жидкому контуру на режиме низковисотного преодоления зоны ПВО.

Кроме того двигатель VCE позволяет при 2 или 3 воздушных дозаправках достигнуть радиуса действия ~11000 км или увеличить на 30...35 % вес полезной нагрузки.

Сверхзвуковой ударный самолет

Для сверхзвукового самолета большой дальности с участком длительного барражирования также в качестве показателя использован радиус или расстояние от взлета до района боевых действий. Требования к VCE в данном случае состоят в обеспечении высокого уровня удельной тяги в условиях сверхзвукового крейсерского полета и высокой эффективности для длительного барражирования. Так как рассматривается нерегулируемый воздухозаборник с расчетным режимом при $M_n = 2,5$, то в других условиях полета необходимо регулировать двигатель так, чтобы обеспечить минимальный уровень потерь $\gamma_{сy}$.

Как и в двух предыдущих случаях, требуется ~15 % суммарного расхода воздуха направлять в третий контур для охлаждения двигателя и самолета.

Профиль полета и основные характеристики сверхзвукового ударного самолета представлены на рис. 6.

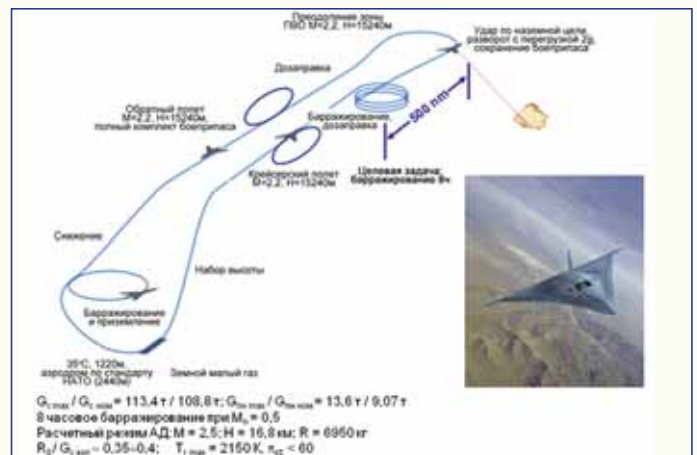


Рис. 6 Сверхзвуковой ударный самолёт

Исследования лаборатории AFRL показали, что ни один из существующих двигателей не может удовлетворить указанным требованиям без применения регулируемых элементов. Поэтому, в ТРДД со смешением потоков необходимо применение адаптивных узлов для поддержания устойчивости и получения оптимальных характеристик во всем диапазоне рабочих режимов. В работе [2] были сформулированы требования к регулируемым узлам рассматриваемых двигателей, проведены оптимизация программ их регулирования и выбор размеров воздухозаборника и каналов, а также определены потери, связанных с использованием изменяемой геометрии.

Основные характеристики самолета обеспечиваются 2 двигателями тягой 18...20 тс с расходом воздуха ~260 кг/с и диаметром входа 1,4 м. Причем размерность двигателей выбрана из условия проникно-

Таблица 6

Двигатель	ТРДД 5 пок.	ТРДД 6 пок.	VCE
m	0,38	1,05	1,26 (0,34+0,63)
$C_{гН=9,1 \text{ км. } M=0,5}$	1,01	0,875	0,777
$C_{гН=15,2 \text{ км. } M=2,2}$	1,84	1,712	1,355
γ_{cy}	~0,17	~0,15	~0,168

вения через вражеское пространство с $M=2,5$ на высоте 16 800 м.

Анализ применения двигателя VCE на сверхзвуковом ударном самолете показал его преимущество перед двигателями традиционной схемы. Так этот двигатель имеет меньший на ~33 % и ~18 % расход топлива при заданном радиусе действия, на ~36 % и ~25,5 % больший радиус действия при фиксированном запасе топлива и на 42,5 % (на 24 часа) и 19 % большее время барражирования по сравнению с ТРДД обычных схем с параметрами 5-го и 6-го поколений, соответственно (табл. 7).

Таблица 7

Относительно ТРДД 5 поколения		
	VCE	ТРДД 6 пок.
$\Delta G_{\text{топ}}, \%$	-34,6	-20
$\Delta R_{\text{дейс}}, \%$	+36,1	+8,5
$\Delta t_{\text{барр}}, \%$		
Относительно ТРДД 6 поколения		
$\Delta G_{\text{топ}}, \%$	-18,3	-
$\Delta R_{\text{дейс}}, \%$	+25,5	-
$\Delta t_{\text{барр}}, \%$	+ 18,8	-

Чтобы оценить влияние выбора VCE на стоимость системы "летательный аппарат - силовая установка", нужно подробнее рассмотреть характер этого профиля полета. Этот профиль полета создан для самолета, от которого постоянно требуется доставка груза, защита своей территории и способность наносить ответный удар по большому количеству целей, отдаленных от защищаемой территории на расстоянии 926 км за менее получаса. Поэтому, увеличение времени барражирования соответствует дополнительному полету в течение каждых 24 ч, или снижению требуемых размеров самолета на 25 %. Экономия заметно увеличивается, если рассматривать соответствующее уменьшение числа вылетов дозаправщика, расхода топлива, затрат на обслуживание, размеров парка самолетов, количества экипажей самолета и обслуживающего персонала.

Кроме того, применение двигателя VCE примерно на треть увеличивает радиус полета вне зоны ПВО, и примерно 80 % этого увеличения дальности происходит благодаря повышению тягового к.п.д. и снижению лобового сопротивления по "жидкому контуру". Это увеличение дальности объясняется тем обстоятельством, что при "завязке" двигателя на режиме прорыва с $M = 2,5$ для крейсерского полета с $M = 2,2$ требуется пониженный (дроссельный) режим. Это создает потенциал для снижения увеличенных сопротивлений по "жидкому контуру" при оптимальном регулировании расхода воздуха на входе и соответствующем увеличении суммарной степени двухконтурности.

Применение двигателя VCE создает потенциал для высокой скорости прорыва, не жертвуя величиной радиуса полета вне зоны ПВО. Это улучшает боевую способность самолета по преследованию цели, сокращает время, в течение которого самолет подвергается угрозе на больших высотах, позволяет самолету создавать много перспективных угроз и предоставляет ему возможность возвращения в отдаленную зону безопасности.

Таким образом, адаптивный трехконтурный двигатель с широким регулированием узлов и интегрированный с летательным аппаратом при применении на многорежимных ударных самолетах с большим радиусом действия имеет существенные преимущества по сравнению с традиционной схемой двухконтурного двигателя. Этот двигатель позволяет уменьшить затраты топлива

самолетов различного назначения до 35 %, увеличить радиус действия на 40...60 % и время барражирования на 20...25 %. Эти преимущества обеспечиваются широким регулированием узлов с целью изменения в широких пределах степени двухконтурности при сохранении высоких температур газа перед турбиной. Кроме того, третий контур позволяет обеспечить оптимальное тепловое регулирование интегрированной системы охлаждения силовой установки и самолета, низкий уровень заметности, а также отборы воздуха на улучшение аэродинамических характеристик самолета, а при разумном регулировании поддержать постоянный расход воздуха на входе в двигатель при его дросселировании и тем самым снизить лобовое сопротивление воздухозаборника и сопла.

Однако реализация этих преимуществ потребует усложнения конструктивной схемы силовой установки и отработки новых технологий, отмеченных выше, работа по которым МО США проводит более 15 лет. В рамках этих программ проводятся работы по разработке и испытаниям отдельных узлов двигателя VCE, а также его газогенератора. На проведение работ по созданию демонстрационного адаптивного трехконтурного двигателя в рамках программы AETD МО США на 2015 г. заросило 1 млрд долл.

Заключение

В США по программам Министерства обороны с начала 2000-х годов активно ведутся работы по созданию научно - технического задела в обеспечение создания двигателей 6 поколения, ввод в эксплуатацию которых ожидается не ранее 2020-2025 г. Бюджетное финансирование этих работ через программы ВВС США в последние годы составляет 400...450 млн долл. в год. Эти двигатели будут максимально интегрированы с летательным аппаратом и по своим показателям существенно превосходят вводимые в эксплуатацию двигатели 5-го поколения.

В обеспечение создания этого двигателя разрабатываются технологии, позволяющие получить высокие параметры рабочего процесса ($\pi_{к*} = 40...70$, $T_r^* = 2200...2400 \text{ К}$), управлять течением в лопаточных машинах и горением в камере сгорания, эксплуатировать двигатель с допустимым уровнем повреждения деталей.

Начиная с 2014 года в США проводится программа AETD, направленная на разработку демонстрационного двигателя изменяемого рабочего процесса, интегрирующего технологии, обеспечивающих улучшение топливной эффективности боевых летательных аппаратов с большой дальностью полета. Поставленная цель повышения топливной эффективности ЛА на примерно 35 %, по мнению специалистов ВВС США, может быть обеспечена созданием интеллектуального адаптивного трехконтурного двигателя. Применение интегрированной СУ с таким двигателем позволит создать многоцелевые самолеты, обладающие оптимальными характеристиками в различных условиях полета.

Такой двигатель позволит значительно улучшить топливную эффективность, что по своему эффекту сравнимо с переходом от ТРД к ТРДД. Благодаря широкому регулированию узлов и наличию независимо регулируемого третьего контура, адаптивный двигатель позволяет обеспечить низкий удельный расход топлива в условиях крейсерского полета с до- и сверхзвуковыми скоростями полета и высокий уровень удельной тяги на боевых режимах, включая короткий взлет и посадку. Потребные значения тяги для совершения крейсерского полета в широком диапазоне скорос-



Рис. 7 Трёхконтурный адаптивный двигатель

тей и высот полета будут обеспечиваться путем изменения степени повышения давления в вентиляторе и расхода воздуха в газогенераторе при сохранении величины температуры газа перед турбиной. Наличие третьего контура позволяет обеспечить оптимальное тепловое регулирование в интегрированной системе охлаждения силовой установки и самолета, низкий уровень заметности, а также отборы воздуха на улучшение аэродинамических характеристик самолета. Регулирование, направленное на поддержание постоянного расхода воздуха на входе в двигатель при его дросселировании, позволяет не только повысить степень двухконтурности и тем самым улучшить экономичность двигателя, но и снизить лобовое сопротивление воздухозаборника и донное сопротивление сопла.

Исследование по применению силовых установок с трехконтурным адаптивным двигателем на многорежимных самолетах с большим радиусом действия (тактического маневренного самолета, дозвукового ударного самолета с большой дальностью полета и сверхзвукового ударного самолета) показало существенное их преимущество по сравнению с силовыми установками с двухконтурными двигателями традиционной схемой. Силовая установка с таким двигателем позволяет уменьшить затраты топлива рассмотренных самолетов на величину до 35 % по сравнению с ТРДД 5-го поколения и на ~18 % по сравнению с ТРДД 6-го поколения при заданном радиусе действия или увеличить радиус действия на ~40...60 % и на 20...25 % соответственно с двигателями 5-го и 6-го поколений. При этом значительно увеличивается время барражирования. Кроме того, третий контур позволяет обеспечить оптимальное тепловое регулирование силовой установки и самолета, низ-

кий уровень заметности, а также отборы воздуха на улучшение аэродинамических характеристик самолета, снижение лобового сопротивления воздухозаборника и потерь в сопле.

Литература

1. В.А. Скибин, В.И. Солонин, В.А. Палкин. Работы ведущих авиадвигателестроительных компаний в обеспечение создания перспективных авиационных двигателей (аналитический обзор). Под общей редакцией д.т.н. В.А. Скибина и к.т.н. В.И. Солонина. М., ЦИАМ, 2010, 678 с.

2. Ronald J. Simmons, M.S. Design And Control Of A Variable Geometry Turbofan With An Independently Modulated Third Stream. DISSERTATION, Presented in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree Doctor of Philosophy in the Graduate School of The Ohio State University The Ohio State University, 2009.



ИНФОРМАЦИЯ

В цехе ремонта авиационных и промышленных двигателей Пермского моторного завода - дочернего предприятия Объединенной двигателестроительной корпорации, входящей в Госкорпорацию Ростех, запущена автоматическая линия удаления нагара производства AQUACOMP HARD (Чехия).

Это уникальное дорогостоящее оборудование было приобретено в рамках реализации проекта по совершенствованию ремонтного производства. Учитывая мировой опыт, в целях оптимизации процессов и повышения качества продукции, было решено выделить ремонтное производство в отдельный проект и создать цех по ремонту двигателей.

Внедрение новой линии удаления нагара - значительный шаг вперед в развитии ремонтного производства ПМЗ. На протяжении последних десятилетий шел поиск альтернативы старой системе, которая предусматривала удаление нагаров и эксплуатационных отложений с деталей электрохимическими и механическими способами. Но-

вое оборудование создано с учетом современных технологий и позволяет эффективно очищать детали ремонтных двигателей при помощи ультразвука, а также новых химических процессов и материалов. В особо сложных случаях возможно проведение двукратной или трехкратной очистки. Один цикл занимает от двух до четырех часов.

Специалисты чешской компании не только установили оборудование, но и провели пусконаладочные работы, обучили персонал. Вскоре линия заработает в круглосуточном режиме - в три смены.

- До установки автоматической линии удаления нагара мы все детали очищали в цехе ОАО "Протон-ПМ". В этом было несколько минусов - во-первых, мы зависели от их производственных графиков, во-вторых, дополнительно тратились деньги, а это, в конечном счете, увеличивало себестоимость услуги. Запуск собственной новой линии даст тройной положительный эффект: повышение качества очистки, снижение стои-

мости ремонта за счет отказа от услуг контрагентов и главное - сокращение цикла ремонта деталей, - подчеркивает Анатолий Юдин, главный металлург ОАО "Пермский Моторный Завод". - В будущем мы планируем все детали, нуждающиеся в очистке, оперативно перевести в ремонтный цех ПМЗ. Всего в перечне более 800 наименований деталей цеха и около 400 деталей из остальных цехов завода; в перспективе эта цифра будет расти.

В августе на том же участке ремонтного цеха будет запущен еще один ряд оборудования - собственного производства, на котором будут проводиться операции промывки, пассивации, очистки крупногабаритных и мелких крепежных деталей, а также удаление алюминиевых напыляемых покрытий, т.е. на одном участке этого цеха будет собран максимум химических ремонтных технологий. Кроме того, вскоре здесь же заработает линия флуоресцентного контроля на водных материалах.

Промышленный двигатель ПС-90ГП-1 разработки ОАО "Авиадвигатель" достиг рекордной наработки 50 000 часов без капитального ремонта. Двигатель (сер.номер ПМД84071087) работает с марта 2008 года в составе энергоблока ЭГЭС-12С газотурбинной электростанции ГТЭС-72 Ватьеганского МНГ ТПП "Повхнефтегаз" ООО "ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь".

За шесть лет работы указанный двигатель проходил только плановые технические осмотры. После выработки межремонтного ресурса 25 000 часов (это почти три года безаварийной работы) ресурс продлялся по техническому состоянию. Для этого специа-

листы ОАО "Авиадвигатель" использовали различные методики контроля и исследования двигателя.

С начала эксплуатации ГТЭС-72 "Авиадвигатель" осуществлял сервис своего оборудования, на Ватьеганском месторождении было организовано представительство компании-разработчика. С октября 2010 года ОАО "Авиадвигатель" обеспечивает фирменное техническое обслуживание энергетических объектов ООО "ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь", что гарантирует нефтяникам "пожизненный" сервис от "Авиадвигателя". Специалисты пермского КБ обеспечивают максимально эффективное использование

всего комплекса оборудования ГТЭС, а также существенное снижение эксплуатационных расходов заказчика.

ООО "ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь" по достоинству оценило выгоду "пожизненного" сервиса от "Авиадвигателя": сегодня такое обслуживание получают пять ГТЭС на базе ЭГЭС-12С производства пермских двигателестроителей: Ватьеганская ГТЭС-72, Тевлинско-Русскинская ГТЭС-48, Красноленинская ГТЭС-48, Повховская ГТЭС-48, Покачеvская ГТЭС-48. На начало сентября 2014 года суммарная мощность электростанций составляет 264 МВт, суммарная наработка приближается к 603 тыс. часов.



ЛОТАРЕВ ВЛАДИМИР АЛЕКСЕЕВИЧ

ГП "Ивченко-Прогресс":

Игорь Федорович Кравченко, генеральный конструктор, руководитель
Сергей Владимирович Дмитриев, начальник ОНТИ

ЛОТАРЕВ Владимир Алексеевич (родился 15 ноября 1914 в г. Шахты, Ростовская область - скончался 20 июля 1994) - советский ученый-конструктор, академик Академии наук Украины (1985), Герой Социалистического Труда (1974), лауреат Ленинской премии (1960), Сталинской премии (1948), Государственной премии СССР (1976), заслуженный деятель науки Украины (1984), депутат Верховного Совета СССР (1984-1989); специалист по авиационным двигателям

Владимир Алексеевич Лотарев родился 15 ноября 1914 года в г. Шахты Ростовской области в семье рабочего. Трудовую деятельность начал в 1930 году, работая в ремонтных мастерских г. Шахты электрообмотчиком.

После окончания средней школы Владимир Алексеевич получил высшее техническое образование, обучаясь сначала в Новочеркасском, а затем в Харьковском авиационном институте.

Окончив в 1939 году с отличием факультет двигателестроения, В.А. Лотарев поступил на завод № 29 авиационного моторостроения имени Баранова в г. Запорожье инженером-конструктором.

Конструкторский талант Владимира Алексеевича был вскоре замечен руководством и он стал быстро расти по служебной лестнице. На Лотарева возложили руководство ответственным участком в группе редукторов, переведя на должность конструктора 1 категории. Затем его назначили начальником конструкторской группы по доводке опытных моторов М-89 мощностью 1300 л.с., устанавливаемых на бомбардировщик Ил-4. Владимир Алексеевич также участвовал в создании нового двигателя М-90 мощностью 2000 л.с. для самолетов Сухого, но полностью проявить конструкторские способности В.А. Лотареву помешала Великая Отечественная война. Эвакуация завода №29 в город Омск не позволила в намеченный срок завершить доводку двигателя М-90.

С сентября 1941 года в должности начальника конструкторской бригады Лотарев участвовал в налаживании серийного выпуска нового двигателя М-88Б мощностью 1100 л.с. для дальних ДБ-3, Ил-4 и легких бомбардировщиков Су-2, а с 1943 года в освоении нового поршневого мотора АШ-82ФН (А.Д. Швецова) мощностью 1700 л.с. для бомбардировщиков Ту-2, Пе-2, истребителей Ла-5, Ла-7, транспортных самолетов Ил-12, Ил-14, одновременно вел разработку новых конструкций.



В.А. Лотарев в Париже - участник авиакосмического салона

С сентября 1944 года Владимир Алексеевич работал в серийно-конструкторском отделе завода в качестве ведущего конструктора по двигателю М-26 и заместителем начальника конструкторского бюро. На этой должности отвечал за повышение надежности серийных двигателей М-88Б, АШ-82ФН. При непосредственном участии ведущего конструктора Лотарева был спроектирован, изготовлен и сдан на государственные испытания мотор средней мощности М-26 (500 л.с.).

К концу войны в конструкторском отделе завода № 29 сформировалась творческая группа талантливых инженеров: А.Г. Ивченко, В.А. Лотарев, А.М. Анашкин, А.К. Пантелеев, К.М. Валик, А.Е. Долгий. Впоследствии они составили ядро нового опытно-конструкторского бюро в Запорожье.

30 августа 1945 года В.А. Лотарев был переведен в город Запорожье во вновь образованное ОКБ завода № 478 (г. Запорожье) на должность ведущего конструктора по дальнейшей доводке мотора М-26 и его модификаций. В марте 1946 года он назначен заместителем главного конструктора ОКБ - Александра Георгиевича Ивченко. Долгие годы Владимира Алексеевича был фактически правой рукой А.Г. Ивченко, на него были возложены самые сложные технические задачи. В коллективе его уважали за колоссальные знания и опыт, на его авторитет можно было всегда положиться. В 1963 году В.А. Лотарев назначили главным конструктором Государственного союзного ОКБ № 478 (образовано из ОКБ-478 в 1957 году).

В 1966 году Государственное союзное ОКБ № 478 преобразовано в Запорожское ордена Ленина машиностроительное конструкторское бюро "Прогресс" и в 1968 году Лотарев В.А. назначен его главным конструктором - руководителем. В 1981 году ему присвоено звание Генерального конструктора авиационных двигателей.

За время работы на ответственных должностях В.А. Лотарев внес исключительно значимый вклад в науку конструирования, доводки и промышленного производства новых образцов авиационных двигателей.

За успешную деятельность в области создания авиационной техники В.А. Лотарев удостоен:

- в 1948 году Государственной (Сталинской) премии за разработку вертолетного двигателя АИ-26В (для вертолета Ми-1);
- в 1960 году Ленинской премии за создание самолета Ил-18 с двигателями АИ-20;
- в 1976 году Государственной премии за разработку и внедрение генераторов инертных газов (ГИГ-4) для ликвидации пожаров и предупреждения взрывов в шахтах.

За большие заслуги перед Родиной Лотареву В.А. в 1974 году было присвоено звание Героя Социалистического Труда, а в 1984 году заслуженного деятеля наук Украины.

Также Владимир Алексеевич награжден орденами: Ленина, Октябрьской революции, Трудового Красного Знамени, Крас-



В.А. Лотарев и главный конструктор самолетов О.К. Антонов в рабочем кабинете



В.А. Лотарев представляет проект нового турбовального двигателя Д-136 членам государственной комиссии

ной Звезды и медалями: "За доблестный труд в Великой Отечественной войне 1941-1945 г.г.", "За доблестный труд. В ознаменование 100-летия со дня рождения В.И. Ленина".

Запорожское машиностроительное конструкторское бюро "Прогресс" под руководством Лотарева В.А. осуществило разработку, доводку, внедрение в народное хозяйство и Вооруженные Силы страны большого количества авиационных двигателей, каждый из которых находился на самом высоком уровне технического прогресса.

К числу этих объектов относятся:

- Семейство поршневых самолетных двигателей АИ-10, АИ-12, АИ-14Р для учебно-тренировочных, боевых и легких многоцелевых транспортных самолетов Як-12, Як-18, Як-20, Ан-14.

- Семейство поршневых и газотурбинных вертолетных двигателей: АИ-4В, АИ-26В, АИ-14В, АИ-7, АИ-24В, ТВ-2ВК, которые устанавливались на вертолеты Б-5, Б-9, Б-10, Б-11, Ка-10, Ка-15, Ка-18, Ка-26, Ми-1, Ми-7, Ми-8, Як-100 и многоцелевом транспортном винтокрыле Ка-22.

- Семейство пусковых авиационных двигателей: ТС-12Ф, АИ-2МК, АИ-8, АИ-9, АИ-9В, которые применяются на самолетах Ан-8, Ан-10, Ан-22, Бе-12, Ил-18, Ту-95, Ту-114, Як-40 и на большинстве вертолетов Миля и Камова.

- Семейство мощных маршевых турбовинтовых двигателей в классе мощностей 4000...5200 л.с.: АИ-20К, АИ-20Д, АИ-20М для пассажирских Ан-10, Ил-18, военно-транспортных Ан-8, Ан-12, самолетов специального назначения Ан-32, Ил-20, Ил-22, Ил-38 и гидросамолета Бе-12.

- Семейство маршевых турбовинтовых двигателей АИ-24 в классе мощностей 2400...2550 л.с., установленных на самолетах различного назначения: Ан-24, Ан-26, Ан-30.

- Семейство двигателей наземного назначения: газотурбинные приводы (ГТП) АИ-23С-1 и АИ-20С для скоростных су-

дов на подводных крыльях "Тайфун" и "Буревестник", судов на воздушной подушке "Сормович", пусковой двигатель АИ-8 для аэродромного пускового агрегата АПА-8 и для запуска маршевых двигателей СПК "Сормович", двигатель АИ-8С для разбрызгивания ядохимикатов на сельскохозяйственном самолете Ан-2М, ГТП АИ-8П для установки тушения пожаров в закрытых помещениях ГИГ-4 (генератора инертных газов), ГТП АИ-23, АИ-23У, АИ-23СГ для буровых установок, ГТП АИ-21 для газотурбинных установок ГТУ-1000 передвижных электростанций 5Э41.

- Двухконтурный турбореактивный двигатель АИ-25 с тягой 1500 кгс - первый в СССР двигатель со степенью двухконтурности более 1, для уникального пассажирского самолета местных воздушных линий Як-40, который на протяжении нескольких десятилетий широко эксплуатировался в системе пассажирских перевозок и до сих пор входит в состав ряда авиакомпаний.

- Двухконтурный турбореактивный двигатель АИ-25ТЛ с тягой 1720 кгс для учебно-тренировочного самолета чехословацкой разработки Л-39 - универсального самолета для первичного обучения летного состава, который разрабатывался по межправительственному соглашению в рамках СЭВ.

- Двухконтурный турбореактивный двигатель ДВ-2 (Д - река Днепр, В - река Влтава) с тягой 2200 кгс для модифицированного учебно-тренировочного самолета Л-59 (Л-39MS).

Как дальновидный ученый и конструктор-новатор В.А. Лотарев еще в начале 70-х годов предвидел перспективность турбореактивных двигателей с высокой степенью двухконтурности, вопреки мнению авиационных научных кругов СССР того времени, которые только обсуждали целесообразность создания двигателей такой схемы.

Проявив инициативу и настойчивость, он добился правительственного постановления на создание двигателя Д-36 мощностью 6500 л.с. для пассажирского самолета Як-42 - первого в



В.А. Лотарев и министр авиапромышленности СССР П.В. Дементьев в сборочном цехе



В.А. Лотарев подписывает Акт госиспытаний ТРДД Д-18Т, 1986 г.

СССР двигателя с высокой степенью двухконтурности, который явился базой для создания в последующем целого ряда модификаций для самолетов Ан-72 и Ан-74 как гражданского, так и военного применения. Конструкция двигателя впервые в СССР была выполнена в трехвальной схеме с широким применением титана и прогрессивных конструкторских, технологических и металлургических новинок. Также впервые в отечественном двигателестроении двигатель выполнен по модульной схеме, такая конструкция узлов позволяет осуществлять контроль за состоянием всех важных деталей в процессе эксплуатации. Это создало принципиальную возможность перехода от ремонтов с фиксированными межремонтными ресурсами к эксплуатации по состоянию с заменой модулей двигателя в условиях эксплуатации. Реализованный проект двигателя Д-36 явился с точки зрения науки "прорывным" проектом достижения нового уровня экономических и эксплуатационных характеристик самолетов.

На основе Д-36 стал создан самый мощный в мире (11 400 л.с.) вертолетный ПТД Д-136 для тяжелого военно-транспортного вертолета Ми-26, не имеющего мировых аналогов по своей грузоподъемности.

Приобретая огромный конструкторский, технологический и производственный опыт при реализации проекта двигателя Д-36 предприятие приступило в конце 70-х годов к разработке широкомасштабного проекта ТРДД с высокой степенью двухконтурности Д-18Т для тяжелого стратегического военно-транспортного самолета Ан-124 "Руслан". Двигатель создавался в СССР впервые, равно как 4-двигательный самолет уникальной размерности и грузоподъемности. Твердая убежденность Генерального конструктора самолета О.К. Антонова и генерального конструктора двигателя В.А. Лотарева в том, что проект осуществим на основе достигнутого коллективами научного и инженерного опыта привело к воплощению в жизнь столь сложного и грандиозного проекта. Двигатель стал самым мощным (тягой 23 400 кгс), созданным в СССР двухконтурным турбореактивным двигателем, и в дальнейшем также был установлен на сверхтяжелом военно-транспортном самолете Ан-225 "Мрия".

Создание таких уникальных двигателей потребовало существенно реконструировать экспериментальную базу предприятия. Была введена в строй новая мощная испытательная станция, механосборочный и производственно-лабораторный корпуса с большим количеством стендов и установок для поузловой доводки двигателей.

Ярким примером дальновидности В.А. Лотарева по вопросу развития авиадвигателестроения на дальнюю перспективу было решение о разработке в середине 80-х годов проекта турбовинтовентиляторного двигателя Д-27 для среднего военно-транспортного самолета Ан-70 с уникальными взлетно-посадочными характеристиками.

Проект прошел трудную дорогу, однако был завершён успешным проведением совместных российско-украинских государственных испытаний в 2012 году. Двигатель Д-27 до сих пор не имеет аналогов в мировом авиадвигателестроении.

За время своего руководства предприятием В.А. Лотарев создал сильный и дееспособный творческий коллектив, накопивший большой опыт и знания в области создания сложной техники и получивший международное признание как полноценный и равноправный разработчик авиационных двигателей различного назначения.

Огромное значение Генеральный конструктор придавал развитию и преумножению интеллектуального и промышленного потенциалов предприятия - как основы для успешной и плодотворной работы коллектива на долгосрочный период.

Разработка сложных и наукоемких проектов в 70-х и 80-х годах укрепила и углубила основы собственной научно-конструкторской школы проектирования и создания газотурбинных двигателей, фундамент которой был заложен основоположником предприятия А.Г. Ивченко и, которая получила новый виток своего развития под руководством его приемника В.А. Лотарева.



Секретарь ЦК компартии Словакии Ленарт знакомится с предприятием, 1984 г.

Характерной особенностью запорожской инженерной методологии проектирования всегда являлась глубокая проработка всех газодинамических и конструкторских решений и их оптимизация с целью обеспечения: абсолютной безопасности, высокой надежности, ресурса, экономичности, эксплуатационной и производственной технологичности, соответствия современным международным нормам летной годности.

За большие научные достижения в области создания авиационных двигателей В.А. Лотареву в 1971 году была присуждена ученая степень доктора технических наук; в 1976 году он был избран членом-корреспондентом Академии наук Украины, в 1982 году Решением Высшей аттестационной комиссии при Совете Министров СССР ему было присвоено ученое звание профессора по специальности конструкция и прочность авиадвигателей, а в 1985 году В.А. Лотарев был избран действительным членом Академии наук Украины. Владимир Алексеевич в своем научном багаже имел около 130 авторских свидетельств на изобретения в области авиационной техники и печатные труды по этой же тематике.

Выдающийся ученый, талантливый инженер и руководитель, доктор технических наук, действительный член Национальной Академии наук Украины, Генеральный конструктор В.А. Лотарев на определенном историческом этапе деятельности ЗМКБ "Прогресс" внес огромный вклад в его развитие и становление как крупного и авторитетного предприятия-разработчика авиационных двигателей, а также совместно с коллективом завода "Мотор Сич" в укреплении на Украине такой высокотехнологичной отрасли промышленности как авиадвигателестроение.

Благодаря титаническим усилиям В.А. Лотарева и его приемника генерального конструктора Ф.М. Муравченко ГП "Ивченко-Прогресс" известен всему миру.

В настоящее время, объединившись под одно крыло корпорации "НПО "А. Ивченко", предприятия - "Ивченко-Прогресс" и "Мотор Сич" успешно работают на мировом авиационном рынке, совместно создавая и предлагая продукцию наивысшего качества на благо развития мировой авиации. **А**



Двигатель Д-18Т на фоне самолёта Ан-124 "Руслан"



ОБОРОНЭКСПО | 2014

МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА И ФОРУМ
ВООРУЖЕНИЯ • ТЕХНОЛОГИИ • ИННОВАЦИИ

ПОВЕРКА ОТРАСЛИ

13-17 АВГУСТА

Оборонно-промышленный комплекс демонстрирует последние достижения на приоритетных направлениях



Вооружение и техника ПВО.
Ракетно-космическая техника.
Высокоточное оружие.



Системы боевого управления и связи.
Средства радиоэлектронной борьбы
и информационной безопасности.



Средства разведки.
Беспилотные летательные аппараты и комплексы.
Роботы и робототехника.



Ракетные и артиллерийские системы и комплексы.
Автобронетанковая техника и вооружение.
Вооружение ВВС и ВМФ.



Инновационные материалы и технологии
в оборонной промышленности.

И многое другое, чем гордится сегодня ОПК...

ОРГАНИЗАТОРЫ





элементарной базы для продукции военного назначения.



С 13 по 17 августа в подмосковном городе Жуковский на территории транспортно-выставочного комплекса "Россия" на аэродроме "Раменское" состоялись два мероприятия международного масштаба: Третий по счёту "сухопутный МАКС" - форум "Технологии в машиностроении-2014" ("ТВМ-2014") и вторая выставка вооружения и технологий "Оборонэкспо-2014". В мероприятии принимали участие 250 российских и зарубежных компаний. Среди иностранных участников выставочной программы, в частности, компании из Алжира, Армении, Белоруссии, Германии, Индии, Китая, США, Франции, Чехии, Швейцарии. Его посетило свыше 80 000 человек.

В связи с этим показательная экспозиция, развернутая в павильоне концерна радиоэлектронных технологий - КРЭТ (их экспозиция, кстати, признана лучшей по итогам выставки). Представлены комплексные проекты бортов для беспилотных летательных аппаратов военного и гражданского назначения, а также самолетов малой авиации. Показываются полностью электрические беспилотники.



Выставка и форум стали событиями во многом уникальным. В том числе и в силу того, что проходили в условиях наложенных на Россию санкций. Ключевым стало прошедшее во второй день работы выставки пленарное заседание "Кооперация и/или импортозамещение",

Конструкторы уверены: их разработки будут востребованы как в России, так и за рубежом.

Комплексы медицинской аппаратуры различного назначения, разработанные заводами оборонпрома уникальны в мировом смысле этого слова. Диапазон экспонатов широчайший - от комплекса для выхаживания новорожденных до систем многофункционального обследования пациентов и устройств



в работе которого принял участие заместитель Председателя Правительства Российской Федерации Д.О. Рогозин, заместитель министра промышленности и торговли Российской Федерации Ю.Б. Слюсарь, Генеральный директор ФГУП "Центральный аэрогидродинамический институт" Б.С. Алешин, Генеральный директор ОАО "Вертолеты России" А.А. Михеев, президент ООО "Компания экспертного консультирования "Неокон" М.Н. Хазин и вице-президент китайской корпорации аэрокосмической науки и промышленности "CASIC" Лю Шицюань (Liu Shiquan). В заседании приняли участие 550 специалистов. На следующий день большую пресс-конференцию дал Генеральный директор ОАК М.А. Погосян.

В составе экспозиции ОАО "НПК "Уральвагонзавод" на форуме было представлено ОАО "ЛЕПСЕ", входящее в Союз машиностроителей России и являющееся одним из ведущих предприятий Кировской области. В рамках работы выставки специалисты завода провели ряд встреч. Обсуждались вопросы о возможности участия предприятия в опытно-конструкторских работах, а так же по кооперации: опытно-конструкторские работы по электроприводам для боевого модуля перспективных платформ "Армата"



В этом году упор "Технологий" сделан на демонстрацию военной техники и проведены технологические достижения с максимальным импортозамещением. Причём это касается не только непосредственно вооружений, где импорт практически не присутствует, но и систем управления и контроля, где доля зарубежных компонентов всё последнее время была весьма существенна.

Как считают в холдинге "Росэлектроника", иностранные компоненты радиоэлектроники наша промышленность в состоянии полностью заменить на отечественные в течение 2-3 лет. В федеральных целевых программах развития отрасли заложено полное импортозамещение





ческое ракетное вооружение" (город Королёв). Получена информация о новинках предприятий радиоэлектронной промышленности с целью изучения возможности их применения.

Выставочные экспозиции были развернуты на площади 15 тыс. м².



Образцы вооружений, военной, специальной и гражданской техники показаны на 6 тыс. кв.м. открытых выставочных площадей. На статических стоянках свои места заняли 24 единицы техники Министерства обороны. Главными экспонатами стали: зенитные ракетные системы С-400 и С-300В, зенитный ракетный комплекс "Тор-М1", зенитный ракетно-пушечный комплекс "Панцирь-С", а также оперативно-тактический ракетный комплекс "Искандер-М". Внимание посетителей привлекли современные артиллерийские системы и установки, системы залпового огня, такие как: самоходный противотанковый ракетный комплекс "Хризантема-С", система залпового огня "Град" и др.. В разделе бронетанковой техники и автомобилей можно было ознакомиться с такими образцами как танки Т-90А, Т-80У, Т-72Б3, самоходная гаубица "Мста-С", защищенные авто-

мобили "Урал-ВВ" и "Урал-53099" и др. Новейшее стрелковое оружие продемонстрировали концерн "Калашников" и Тульский оружейный завод.



Большое количество робототехнических комплексов - военного назначения (разведывательные, инженерные, постановки мин и напротив - разминирования, транспортные), предназначенных для работы в условиях чрезвычайных ситуаций разного рода, летающие и плавающие.



Так, например, мобильный робототехнический комплекс радиационной разведки концерна "Швабе" работает в различных помещениях и на любой открытой местности. Робот оснащен приборами радиометрического контроля



и гамма-поиска. Благодаря датчикам поворота и перемещения он свободно передвигается даже в самых труднопроходимых местах. Кроме того, робот укомплектован датчиками теплового потока, набором про-

боотборников и специализированных захватов, а также удобными инновационными контейнерами для утилизации гамма-излучателей.

Отечественные авиадвигатели выступали на выставке единым фронтом в рамках Объединённой двигателестроительной корпорации.

В широком диапазоне представлены наши ведущие высшие технические университеты со своими научными разработками и результатами введения новейших образовательных программ.



Форум "Технологии в машиностроении - 2014" и Вторая Международная выставка вооружений и военной техники "Оборонэкспо - 2014" явились значимыми событиями в выставочной программе года для отечественных машиностроителей и оружейников.

Деловая программа Форума включала 16 конференций, круглых столов и семинаров, на которых выступили около 100 докладчиков. Участниками этих мероприятий стали более 1500 специалистов. В работе Деловой программы Форума приняли участие представители ряда иностранных компаний, реализующих совместные проекты с российскими машиностроителями. Участники деловой программы определили пути решения проблем развития важнейшего сектора промышленности, установили новые деловые контакты, подписали соглашения и контракты.



16 и 17 августа Форум был открыт для всех желающих. В эти дни посетители увидели военно-патриотическую программу "Непобедимые и легендарные" и не имеющие мировых аналогов шоу "Форсаж".



МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОСЛЕПРОДАЖНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Владимир Андреевич Зрелов, д.т.н., (1) Коротков Валерий Александрович, (2),
Проданов Михаил Евгеньевич, к.т.н., (1), Сёмушкин Владимир Владимирович, (2),

(1) - ФГБОУ ВПО "Самарский государственный аэрокосмический университет им. акад. С.П. Королёва, (национальный исследовательский университет)"
(2) - ОАО "Кузнецов"

На площадках изготовителя и эксплуатанта требуется создавать интегрированные информационно-диагностические системы в среде единого информационного пространства на базе PDM-систем. Наличие электронного формуляра изделия, как части полного электронного описания изделия позволяет перейти на современные технологии обслуживания, обеспечивающие высокое качество при минимальных трудозатратах.

At the sites of the manufacturer and the operator is required to create integrated information - diagnostic systems in the environment of a common information space based on PDM - systems. Having an electronic form products as part of a complete electronic product description gives you access to modern technology, providing high quality with minimal effort.

Ключевые слова: обслуживание газотурбинных двигателей, информационная среда, управление данными, электронный формуляр изделия.
Keywords: servicing of gas-turbine engines, ccommon information space, electronic form products.

Для обеспечения необходимого уровня надежности изделия при эксплуатации, необходимо в процессе послепродажного обслуживания (ППО) организовать информационное сопровождение деятельности предприятий участников [1]. Это обеспечивает желаемую надежность и рентабельность изделия. Критерием эффективности функционирования предприятий является ряд экономических показателей (интегральный удельный тарифный показатель, годовая минимальная плата и др.). Информационное сопровождение функционирования предприятия в процессе ППО включает в себя мониторинг технического состояния изделия, что позволяет снизить риски эксплуатанта и изготовителя при эксплуатации изделия. Например, для эксплуатанта - зависящие от потребительской динамики технических возможностей летательных аппаратов или необходимости исполнять свои обязательства по выплате годовой минимальной суммы, независимо от состояния потребительской динамики рынка. Для изготовителя - это могут быть сложившиеся обстоятельства по превышению сроков согласованных периодов простоя или дополнительные простои свыше согласованного периода, вызванные отказами продукции изготовителя.

Службы, участвующие в этом процессе, располагаются на площадках предприятий "Изготовителя" и "Эксплуатанта", что затрудняет их взаимодействие, поэтому на первый план выходят вопросы организации электронного документооборота.

На площадках изготовителя и эксплуатанта требуется создавать интегрированные информационно-диагностические системы (ИИДС) с использованием канала связи через Интернет (например, на базе существующего программно-технического комплекса АСД-36 СТ). ИИДС могут функционировать в системной среде управления данными в жизненном цикле изделия (Product Data\Lifecycle Management - PDM\PLM). Для обеспечения регулярного автоматизированного контроля технического состояния изделия, своевременной приостановки эксплуатации и объективной оценки показателей надежности, эта технология позволяет хранить и использовать информацию в виде полного электронного описания изделия (ПЭОИ). Пример структуры ПЭОИ показан на рис. 1. Фиксировать большое количество информации и наиболее полно представлять историю эксплуатации изделия возможно путем организации информационной среды - единого информационного пространства - ЕИП на базе PDM-систем.

Достоинством создания ЕИП является возможность в любой момент времени получать актуальную и полную информацию об изделии и его составных частях, находящихся в ремонте или эксплуатации (включая сборочные единицы, детали, инструменты, приспособления, расходные материалы и др.). Любая рабочая информация может автоматически фиксироваться в базе данных изделия.

Для описания объектов в системной среде PDM используются инвариантные классы: ДОКУМЕНТЫ, ПРО-

ЦЕССЫ и ПРОЕКТЫ [2]. Механизмы PDM-системы позволяют фиксировать во времени все состояния изделия с указанием работ и их конкретных исполнителей. Это дает возможность исключить или существенно сократить появление ошибок или неточностей, которые характерны для создания и ведения сопроводительной документации на бумажных носителях.

Все участники электронного документооборота в ЕИП взаимодействуют с единой базой данных описания изделия. Эксплуатант для этого использует электронный формуляр изделия [3], являющимся основным эксплуатационным документом, удостоверяющим исходное и текущее техническое состояние изделия.

Формуляр объединяет объекты класса ДОКУМЕНТЫ и является неотъемлемой частью изделия. Он предназначен для учета:

- всех изменений, происшедших в составе двигателя и его оборудования;
- основных эксплуатационных параметров двигателя, контролируемых в процессе эксплуатации;
- параметров наработки и выработки ресурса двигателя;
- сроков службы двигателя и отметок об их продлении в процессе эксплуатации;
- записей о проведении регламентных работ, ремонтов и доработок, предусмотренных действующими руководствами по технической эксплуатации, бюллетенями и указаниями.

Присоединенные к объектам - ДОКУМЕНТАМ файлы описания содержат информацию, необходимую для принятия решения в процессе проведения технического обслуживания в соответствии с принятым документооборотом. При этом PDM-система

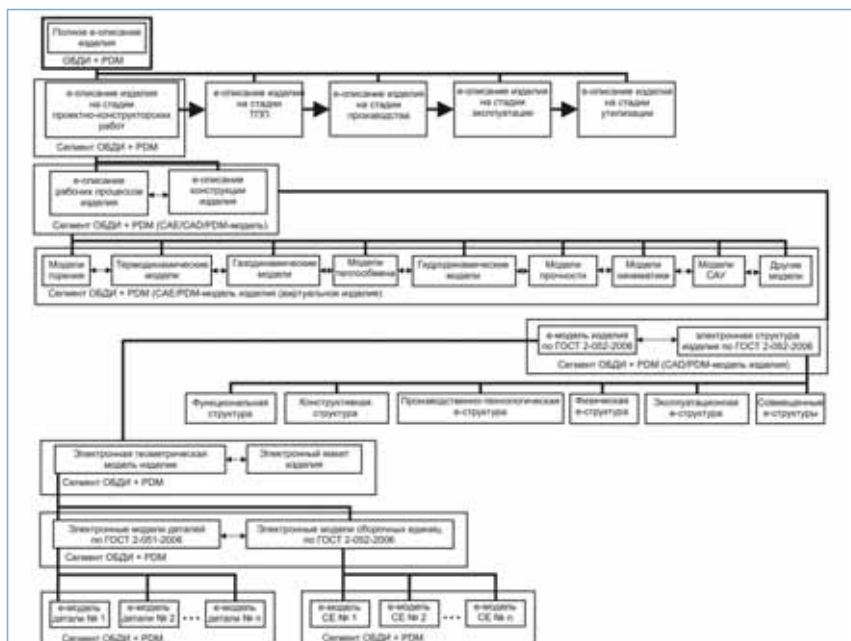


Рис. 1 Структура полного электронного описания изделия

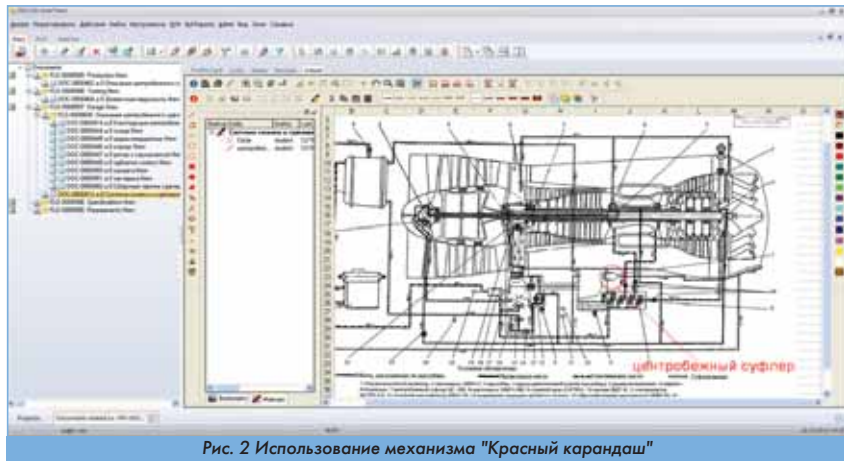


Рис. 2 Использование механизма "Красный карандаш"

живания, обеспечивающие высокое качество при минимальных трудозатратах. Формуляр, созданный на этапе проектирования изделия, дополняется изготовителем на стадии производства и позволяет эксплуатанту фиксировать состояния изделия за весь срок эксплуатации. При этом информация, полученная в ходе эксплуатации и ремонта, позволяет обоснованно внедрять правила взаимодействия между участниками жизненного цикла изделия.

Полученные процедуры выполнения потоков работ могут быть внесены в алгоритмы информационной системы поддержки ИИДС.

В этом случае информационную PDM-среду ЕИП можно рассматривать как полигон для отработки моделей процессов ЖЦ изделия на этапе послепродажного обслуживания.

предоставляет возможность внесения дополнительной информации в виде пояснений и указаний с помощью инструмента "Красный карандаш". Например, указание места расположения агрегата на схеме или указания положения дефекта с необходимостью выполнения операций (рис. 2, 3).

В электронном документообороте регламенты и технологии выполнения работ жестко фиксируются и контролируются во времени в описании класса ПРОЦЕСС. Выполнение ПРОЦЕССОВ настраивается и может быть многократно реализовано в виде задания на выполнение работ (рис. 4).

В рассматриваемом примере в процессе выполнения операции обнаружен дефект - повреждение резьбы выходного патрубка. Местонахождение дефекта показываем с помощью функции "красный карандаш" (рис. 3).

Таким образом, организация надежного описания изделия и его документооборота позволяет планировать выполнение работ в рамках проектной деятельности предприятия. Фиксация информации о процессах и документах, создаваемых в рамках этой деятельности в среде ЕИП, осуществляется с помощью объектов класса ПРОЕКТ.

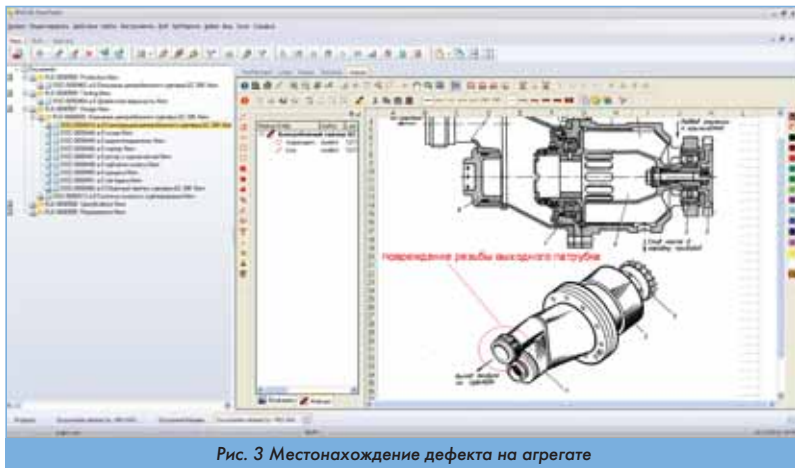


Рис. 3 Местонахождение дефекта на агрегате

ЛИТЕРАТУРА

1. Зрелов В.А., Проданов М.Е., Шустов С.А. Модель взаимодействия организаций авиа-двигателестроения России. - Вестник СГАУ: Проблемы и перспективы развития авиа-двигателестроения. - Самара, 2006. № 2. - С. 331-333.
2. Проданов М.Е. Организация обучения в едином информационном пространстве данных об изделии / М.Е. Проданов// Сб. тр. междунар. науч.-техн. конф. "Проблемы и перспективы развития двигателестроения" 28-30 июня 2011 г., посвященной 100-летию со дня рождения Генерального конструктора аэрокосмической техники академика Н.Д. Кузнецова. Самара: СГАУ, 2011. - №3. - С. 374 - 379.
3. ЕСКД "Электронный формуляр". Проект ГОСТ 2.612-2009, Межгосударственный совет по стандартам, метрологии и сертификации. Минск, 2009.

Связь с авторами: zrellov07@mail.ru

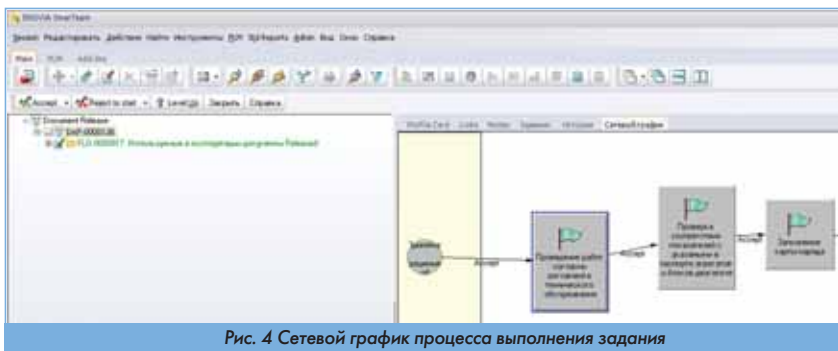


Рис. 4 Сетевой график процесса выполнения задания

Число участников документооборота и их местонахождение не ограничено. Каждый участник документооборота имеет свои права доступа к информации и поэтому "видит" только ту информацию об изделии, с которой связана его деятельность.

Разрабатываемая информационная система должна обеспечивать прохождение информационных потоков при сервисном обслуживании (СО) изделия как на площадке эксплуатанта, так и на площадке завода-изготовителя изделия (рис. 5). Эта работа регламентируется договорами на ППО и технологией проведения ППО. Входными информационными потоками ЕИП в рамках ПЭОИ являются "Электронное описание изделия" и "Планируемая наработка изделия Эксплуатантом", а выходным информационным потоком является "Электронное описание обслуженного изделия". Система ИИДС формирует поток "Данные автоматизированной системы диагностики (АСД)". Обратные связи в системе осуществляются в виде потока "Рекомендации по эксплуатации".

Наличие электронного формуляра изделия, как части ПЭОИ позволяет перейти на современные технологии обслу-

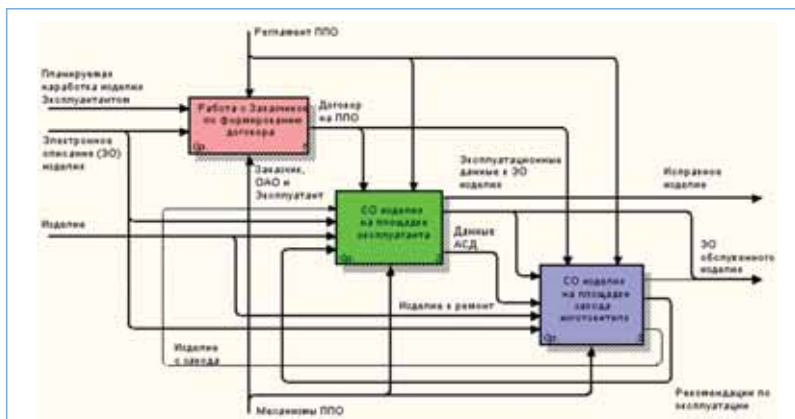


Рис. 5 Взаимодействие участников послепродажного обслуживания изделия

К 80-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ Е.А. ГРИЦЕНКО



7 августа 2014 г.

исполнилось бы 80 лет Евгению Александровичу Гриценко.

После защиты диплома в Куйбышевском авиационном институте в 1958 году он был приглашён на работу лично Николаем Дмитриевичем Кузнецовым, который уже в те годы оценил знания и большой творческий потенциал молодого специалиста. Быть приглашённым на работу самим знаменитым Генеральным конструктором было весьма почётно и лестно, и Евге-

ний Александрович, не долго думая, дал своё согласие.

Впрочем, как он мне рассказывал, тем не менее, его всё же одолевали сомнения: на чём остановить свой выбор. Дело в том, что в те годы он почти профессионально играл с большим удовольствием в футбол, защищая цвета сначала куйбышевского "Локомотива", а затем "Крыльев Советов". Тяга к спорту была огромной. Но, поборов в себе это увлечение, он пришёл работать в конструкторский отдел ОКБ, где прошёл последовательно все ступени роста, отдав предприятию почти полвека жизни. И где он стал Генеральным конструктором, доктором технических наук, профессором. И главное - учеником и продолжателем дела великого Генерального конструктора Николая Дмитриевича Кузнецова.

Евгений Александрович непосредственно участвовал во всех разработках двигателей для самолётов дальней авиации: Ту-95, Ту-22МЗ, Ту-160 и гражданских дальнемагистральных самолётов, а в течение последних 10 лет руководил всем этим сложным механизмом. Именно в эти годы коллектив СНТК активно работал над доводкой нового исключительно перспективного двигателя НК-93, демонстрация которого на выставках вызывала восхищение отечественных и иностранных специалистов. Евгений Александрович сумел сохранить наработки никак не внедрявшегося в серию НК-93, создав на базе его газогенератора приводы для малых электростанций и газоперекачивающих станций, необходимых народному хозяйству. В то же самое время проектировался газотурбовоз для железной дороги. Всё это делалось на базе самарских двигателей.

В 90-е годы прошлого столетия, во времена полного отсутствия централизованного финансирования, Евгений Александрович фактически спас СНТК им. Н.Д. Кузнецова от банкротства, получив благодаря своей настойчивости разрешение тогдашнего премьер-министра В.С. Черномырдина на продажу американской стороне ракетных ЖРД, в которых США очень нуждались, не имея собственного двигателя такого класса. И только полученная от продажи валюта позволила обеспечить жизнедеятельность предприятия и продолжение научных исследований в СНТК.

...Но всё это в одночасье оказалось забыто. В 2004 году достигшему семидесятилетия, полному энергии и планов на будущее маститому творцу авиационных двигателей, Генеральному конструктору самарского научно-технического комплекса им. Н.Д. Кузнецова - Е.А. Гриценко - было отказано в продлении трудового контракта. Как показали последующие за этим диким решением годы, отставка Е.А. Гриценко привела к последовавшей за этим чехарде руководителей СНТК.

Впрочем, как говорил герой кинофильма "Мимино": "Такие специалисты на дороге не валяются". Евгения Александровича тут же пригласили на работу в совместное Российско-Украинское предприятие ЗАО "Двигатели "Владимир Климов - Мотор Сич", находящееся в Москве. Это предприятие было создано по взаимной договорённости тогдашнего генерального конструктора петербургского завода им. В.Я. Климova Александра Александровича Саркисова и генерального директора запорожского завода "Мотор Сич" Вячеслава Александровича Богуслаева в Москве в 2000 году для

Виктор Иосифович Пейсахович, ЗАО "ВК-МС"

координации работ по обеспечению продвижения на рынок нового ТВД ВК-1500.

Так разработчик и серийный изготовитель на условиях самофинансирования договорились оперативно решать многие возникающие вопросы технического и организационного характера с ЦИАМ, ГосНИИ ГА, АР МАК, смежниками. Чтобы усилить и активизировать деятельность этого предприятия и был приглашён в августе 2004 года для работы генеральным конструктором Евгений Александрович. Так я познакомился с Евгением Александровичем, восемь лет проработав под его руководством заместителем главного конструктора.

Помимо группы конструкторов, работавших с ним в Москве, ему было подчинено КБ, базировавшееся при филиале ЗАО "ВК-МС" в Санкт-Петербурге. Как раз в то время нам было поручено заниматься вопросом сертификации двигателя ТВЗ-117В серии 02. Был проделан большой объём работы именно конструкторского направления. Основу петербургского филиала составляли бывшие конструкторы завода им. В.Я. Климova, хорошо знакомые с конструктивными особенностями подлежащего сертификации двигателя. Помимо этого, с целью расширения финансовых возможностей КБ выполняло на договорной основе некоторые проекты по заданию НТЦ им. А.М. Люльки для двигателя АЛ-55И. Через наше КБ проходило большое количество доказательной документации, в окончательной редакции которой мы непосредственно участвовали. Нам довелось поддерживать постоянную связь с НИИ отрасли и эксплуатирующих организаций.

В работе Евгений Александрович строго следовал принципам, унаследованным от бесконечно уважаемого им Н.Д. Кузнецова. А они были просты: работы должны выполняться качественно и в срок, к работе необходимо относиться с полной отдачей, при этом всегда должна соблюдаться дисциплина.

У Евгения Александровича был и свой принцип: "Не откладывай на завтра то, что ты можешь сделать прямо сейчас". Иногда бывало так, что, вызывая к себе в конце рабочего дня, он давал какое-то поручение. И на ответ работника: "Хорошо, завтра с утра я этим займусь", тут же возражал: "До конца работы есть ещё 15 минут, это можно успеть сделать сейчас".

Новый импульс получила наша организация в 2007 году, когда ЗАО "ВК-МС" возглавил бывший начальник вооружения российской армии генерал-полковник А.П. Ситнов, высокоэрудированный и грамотный специалист. Под его началом коллектив КБ брался за более серьёзные вопросы. Евгений Александрович очень подошёл своему новому руководителю по взглядам, единому пониманию поставленных задач. Оба они - убеждённые государственники, видели своё предназначение в посильном вкладе в повышение обороноспособности страны и отдавали этому все свои знания, опыт и настойчивость. Помимо этого этих людей сближала такая черта характера как человеколюбие. Они относились к своим подчинённым с вниманием и уважением. Так, эти два человека организовали и возглавили работы по участию в конкурсе на создание двигателя нового поколения для пассажирского самолёта МС-21.

В последние годы своей жизни Евгений Александрович стоял во главе продвижения на российский рынок нового современного турбовального двигателя разработки запорожского АО "Мотор Сич" ТВЗ-117ВМА-СБМ1В для вертолётов "Ми" и "Ка".

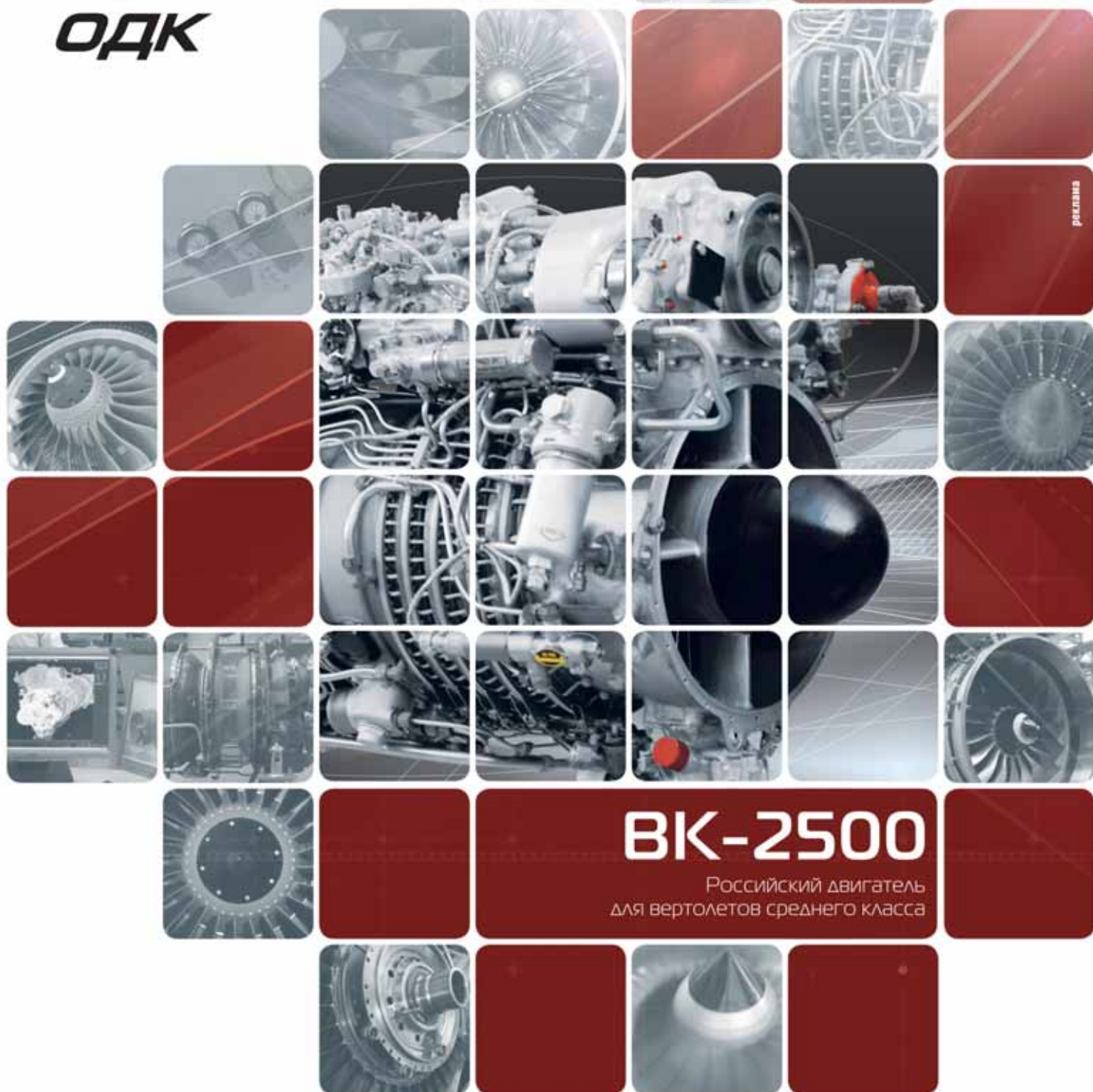
Евгений Александрович был исключительно скромным и обаятельным человеком, он никогда не выпивал своё "Я". Все его поручения, считай приказы, начинались со слова "Прошу". За всё время совместной работы я никогда не слышал, чтобы он на кого-то повысил голос.

Это был вежливый, доброжелательный человек. Он никогда не чурался коллектива, постоянно принимал активное участие в его делах и на работе, и на отдыхе, пользовался большим, заслуженным уважением как у руководства, так и у подчинённых. Его скоростной уход из жизни 14 июня 2012 года был ударом для всех, кто его знал. Пожалуй, только сегодня, вспоминая этого выдающегося конструктора и организатора, мы начинаем более полно оценивать то, что он успел сделать в своей жизни.





**ЕДИНСТВО
ВО МНОЖЕСТВЕ**



BK-2500

Российский двигатель
для вертолетов среднего класса

ОАО «Объединенная двигателестроительная корпорация»
Россия, 121357, г. Москва, ул. Вере́йская, д. 29, стр. 141
Тел./факс: (499) 558-01-26
www.uecrus.com





УЧЁНЫЙ, ВИДЕВШИЙ БУДУЩЕЕ

К 70-ЛЕТИЮ со дня рождения ИГОРЯ ВАСИЛЬЕВИЧА ЕГОРОВА

Александр Леонидович Абасов, ведущий научный сотрудник ФГУП "ЦИАМ им. П.И. Баранова", к.т.н.

В этом году Игорю Васильевичу Егорову - известному учёному в области систем диагностики авиадвигателей и ГТУ наземного применения - исполнилось бы 70 лет. Очень рано ушёл из жизни такой замечательный человек, прекрасный товарищ. Интеллигент, умница, трудоголик. Мне довелось работать и дружить с ним. К большому сожалению, многое из того, что им было задумано, не успело осуществиться.

В ЦИАМ Игорь Васильевич пришёл после окончания в 1967 г. МАИ. Попал сразу в подразделение прочности, которое в то время возглавлял крупный учёный И.А. Биргер. Это сказалось на дальнейшей его судьбе, как учёного. Работая в институте, Игорь Васильевич проявил себя как прекрасным расчётчиком, так и отличным экспериментатором. Круг его научных интересов был широк. На каком-то этапе своей работы он серьёзно заинтересовался вопросами диагностики технического состояния авиационных ГТД. Это направление стало основным в его дальнейшей научной деятельности.

Увлекался спортом. Прекрасно катался на горных лыжах, играл в большой теннис. К горным лыжам и меня приобщил. Бассейн и сауна, а после этого любил выпить несколько чашек чая, настоящего на горных кавказских травах. Любил литературу, искусство. Любил готовить вкусные блюда. Понимал толк в хорошем вине. Господь Бог и родители одарили его разнообразными талантами. Но было у него ещё одно увлечение, которому он посвятил многие годы своей жизни - наука. В ней он состоялся как учёный, как личность.

У него были прекрасная семья, любимая работа, уважение коллег и любовь товарищей. В друзьях у него были люди, с которыми он дружил не один десяток лет. А с некоторыми - с детства. Это говорит о многом. Но, прежде всего, как о человеке, который никогда не предавал. Главное - о его порядочности во всём. Таким он нам всем, кто его знал, запомнился навсегда.

Игорь Васильевич Егоров - учёный и специалист широкого профиля, идеолог и организатор научных исследований и практических работ в области контроля и диагностики технического состояния ГТД летательных аппаратов и газотурбинных установок наземного применения. Он занимался вопросами динамической прочности рабочих лопаток турбомашин, активно участвовал в оказании технической помощи ОКБ, сотрудничая с отделами прочности конструкторских организаций. Уже в то время обратил внимание на вопросы диагностики ГТД. В 1974 г. совместно с В.А. Карасёвым им была опубликована работа "Диагностика состояния элементов ГТД по комплексу признаков с применением методов распознавания образов".

Игорь Васильевич в качестве диссертационной темы взял для себя решение одной из наиболее актуальных и сложных задач - прогнозирование вибрационных напряжений в рабочих лопатках турбин, и в 1978 г. блестяще защитил кандидатскую диссертацию. Выполненная им работа была оригинальной и не имела аналогов в отечественной и известной зарубежной литературе. Им были разработаны методики прогнозирования вибрационных напряжений в рабочих лопатках турбин ГТД, идентификации параметров колебаний лопаточных венцов турбомашин по результатам спектрального анализа тензомагнитограмм колебаний, составлена динамико-статистическая модель связанных колебаний лопаток турбомашин и на ее основе - методология оценки многоциклового повреждения лопаток по регистрируемым в полете параметрам, характеризующим режимы работы двигателя.

В 1983 г. он переходит в Двигательное отделение, отдел надёжности, на должность начальника сектора диагностики двигателей. Следует заметить, что руководство отделения Прочности с сожалением



отпускало такого специалиста в другое подразделение. С выделением отдела надёжности в 1987 г. в самостоятельное подразделение Игорь Васильевич возглавил сектор "Бортовые и наземные системы контроля и диагностики ГТД" (в последние годы он работал заместителем начальника отдела по направлению "Диагностика ГТД"). К этому времени начальник отдела А.А. Морозов (ученик В.М. Акимова) сформировал в отделе мощную триаду диагностов, отдельные направления которой возглавили ведущие специалисты не только института, но и авиационной отрасли: И.В. Егоров - параметрическая диагностика, В.А. Карасёв - вибродиагностика, В.А. Степанов - трибодиагностика. Они были молоды: плодотворные идеи

генерировались постоянно. К сожалению, с финансами были проблемы. Впрочем, всегда находился выход из сложных ситуаций. Результатом одного из таких стала разработка совместно с зарубежной фирмой "Виброметр" интегрального виброанализатора (IVAN), который демонстрировался на многочисленных выставках. В.А. Карасёв разработал метод вибродиагностики состояния подшипников, что позволило реализовать рациональную эксплуатацию двигателя Д-18 на самолёте Ан-124. Довольно много оригинальных решений по трибодиагностике было предложено В.А. Степановым. Эта дружная троица работала с таким вдохновением, так продуктивно, что вызывало восхищение у их коллег, уважение у руководства института.

Одной из многих его плодотворных идей, доведенных до реализации "в железе", явилось создание твердотельного бортового накопителя. В начале 90-х годов идея применения энергонезависимых модулей памяти в информационных системах воздушного судна выглядела очень прогрессивной, если не сказать, фантастичной. Однако, невзирая на все сложности, небольшой коллектив разработчиков во главе с Игорем Васильевичем выполнил необходимый объем исследований и, заручившись поддержкой предприятия ОАО "Техприбор", создал компактный цифровой регистратор полетных данных (т.н. "черный ящик") СДК-8 для вертолетов Ми-8. В 2003 г. Решением ИКАО было запрещено использование ленточных регистраторов на воздушных судах. И уже в 2006 - 2007 гг. цифровые регистраторы, разработки коллектива И.В. Егорова (которых к тому времени ни у кого не было), были установлены на вертолётах России, которые ООН арендовала для миротворческих сил в Афганистане и Ираке. В настоящее время эта система эксплуатируется более чем на 500 вертолётах России. Воистину гениальное предвидение.

Во второй половине 80-х на одной из конференций по вопросам диагностики авиационных двигателей в п. Рыбачий выступил И.А. Биргер. Он изложил свои знаменитые тезисы по данной проблеме. Один из них Игорь Васильевич взял на вооружение, развил и довёл до докторской диссертации, которую успешно защитил в 2006 г. Им была разработана теория информационного состояния, используемого в качестве критерия для распознавания отказов и неисправностей при ограниченном числе измерений. Под его руководством создано и внедрено алгоритмическое и программное обеспечение для нового поколения наземно-бортовых систем мониторинга технического состояния двигателей, базирующегося на удаленной их диагностике. Игорь Васильевич с удовольствием демонстрировал мне своё детище. По мобильнику входил в эту систему и выводил на дисплей телефона в реальном масштабе времени параметры ГТУ, эксплуатирующейся за рубежом. По ним он мог оценить её техническое состояние.

Следует отметить одну из важных черт его научного подхода к проблеме диагностики состояния двигателей - комплексирование

методов, базирующихся на различных физических принципах. Он часто повторял: "Качество системы диагностики зависит от того, насколько удачно для решения конкретных задач мы подберём различные методы диагностики и насколько успешно мы проведём их согласование".

В первой половине 2000-х им были проведены исследования по созданию комплексной системы диагностирования и контроля технического состояния двигателей, нейросетевых методов трендового анализа параметров

двигателей для прогнозирования их технического состояния, экспериментальные исследования радиолокационной диагностики для оценки состояния деталей газозводного тракта ГТУ.

Прогресс в формах технического обслуживания напрямую связан с достижениями технической диагностики. Эксплуатация по техническому состоянию, когда решение о снятии двигателя с эксплуатации принимается по результатам объективного контроля его деталей и узлов, потребовала внедрения развитых методов диагностирования, в частности, трендового анализа диагностических признаков. Игорем Васильевичем была разработана высокоэффективная технология трендового анализа в многомерном пространстве контролируемых параметров двигателя, обеспечивающая выявление на ранней стадии дефекта или повреждения.

Одним из первых он обратил внимание на то, что за рубежом начинает внедряться новая форма обслуживания Reliability Centered Maintenance (RCM), основанная на прогнозировании надежности конкретного экземпляра двигателя. Но для перехода к этой форме обслуживания необходимы разработка и внедрение новых методов диагностирования, обеспечивающих прогноз технического состояния двигателя, его надёжности на значительный период времени. Такие работы им были организованы и выполнены.

Существенное внимание в своих работах уделял диагностике модульных двигателей при их эксплуатации по состоянию. Им были разработаны диагностические модели ГТД, позволяющие осуществлять прогнозирование технического состояния двигателей, а также локализацию отказов с глубиной до съемного модуля.

Разработанные им методы и модели, реализованные в аппаратно-программных комплексах, верифицированы с использованием результатов экспериментальных исследований.

Значительное место в его работах занимали исследования в обеспечение разработки и внедрения нового поколения систем диагностирования авиационных двигателей на базе комплексных сетевых решений. Высокая стоимость технического обслуживания и ремонта двигателей ориентирует эксплуатанта на сокращение количества ремонтов. Это можно обеспечить не только путем повышения ресурсов основных деталей двигателя, но и оптимизацией выработки ими ресурсов. Для этого нужны более совершенные системы диагностики технического состояния ГТД. Поэтому Игорь Васильевич в последние годы существенное внимание уделял сетевым системам диагностики. Были разработаны ТТ и методические базы на комплексную сетевую систему ранней диагностики технического состояния ГТД-110 в обеспечение безотказности и ресурсов её ос-



И.В. Егоров с автором статьи в Красной поляне

новых деталей и узлов. Разработан проект комплексной сетевой системы диагностирования авиодвигателей (КССД).

Большое внимание он уделял вопросам дальнейшего повышения эффективности и достоверности диагностирования. С этой целью им разрабатывались специальные устройства и способы. Как правило, все они защищены авторскими свидетельствами и патентами.

Игорь Васильевич Егоров относится к тому поколению учёных, которые всегда нацелены на полезный эффект

своей деятельности. "Чистая наука" его интересовала при формировании задачи, с точки зрения применения её результатов в своих целях. Дальнейшая работа была направлена на практическую реализацию идеи, которая его заинтересовала. Будущее они видели как полезный для дела эффект научных разработок.


Игорь Васильевич был не только участником, но часто и организатором многих научных конференций по данной проблематике. Например, ещё в 1990 г. им была организована конференция по диагностике авиадвигателей с участием учёных и специалистов из США, Англии, Польши, Швейцарии и других стран. На конференциях он всегда был в окружении коллег. Вниманием и уважением специалистов он пользовался заслуженно, не случайно был избран заместителем председателя межотраслевого Совета разработчиков и эксплуатантов средств диагностики авиационных двигателей. Егоров был экспертом-аудитором Межгосударственного авиационного комитета Авиационного регистра с инженерной специализацией (контролепригодность и диагностика двигателя, программное обеспечение систем двигателя, внешние воздействия), руководителем научно-методического Совета ЦИАМ по вопросам диагностики технического состояния двигателей и энергоустановок.

Неоднократно читал курсы лекций по проблемам диагностики двигателей на зарубежных фирмах и авиапредприятиях (Швейцария, Китай, Польша, Чехия). Являлся членом Российского общества по неразрушающему контролю и технической диагностике (РОНКТД). И.В. Егоров постоянно участвовал в работах по непосредственной технической помощи промышленности. Автор нескольких, эксплуатируемых в промышленности, программных продуктов по диагностике двигателей и газотурбинных установок. Много лет преподавал в Институте повышения квалификации кадров.

Под руководством И.В. Егорова и при его непосредственном участии созданы стандарты по контролепригодности и бортовым системам диагностики двигателей.

Опубликовано более 60 печатных работ и три монографии (в соавторстве), сделано большое число докладов на российских и международных конференциях, автор 7 изобретений.


В 2008 г. по линии АССАД Игорю Васильевичу была присуждена премия имени А.А. Микулина.

Рассказывая о творческом пути И.В. Егорова, о результатах его научной деятельности следует отметить, что он умел создавать активные творческие коллективы. Организовывать их эффективную работу Игорь Васильевич подготовил себе хорошего молодого помощника, который сейчас продолжает его дело. 

ПОПРАВКА

В номере 3 журнала "Двигатель" за этот год на странице 18, в статье, посвящённой 100-летию В.Н. Челомея, вместо фотографии молодого Владимира Николаевича Челомея по недосмотру редакции опубликовано фото Георгия Николаевича Бабакина, Главного конструктора всех наших автоматических космических станций. Приносим свои изменения всем

читателям нашего журнала и особенно людям, близко знакомым с деятельностью обоих конструкторов.

Вот та фотография В.Н. Челомея в студенческие годы, которая должна была быть помещена в статью прошлого номера. 



ТУРБУЛЕНТНОСТЬ.

ТОРСИОННЫЕ ЖГУТЫ

Юрий Михайлович Кочетков, д.т.н.

Установлен новый газодинамический эффект, заключающийся в экспериментальном получении торсионных жгутов. Дано объяснение появления торсионных жгутов как результата деформации вихрей Тейлора-Гёртлера при переходе течения в безградиентное.

A new gas-dynamic effect, which consists in. experimental obtaining of torsion bundles is found. The explanation of appearance of torsional twists as a result of deformation of Taylor-Görtler vortices at the transition in gradientless flow.

Ключевые слова: турбулентность, вихрь, волна, торсионный жгут.

Keywords: turbulence, vortices, waves, torsion twists.

В предыдущей работе [1] были разобраны причины возникновения и области устойчивости газодинамических конфигураций, проявляющихся в виде вихрей Тейлора-Гёртлера. Была показана причина появления таких, всегда парных вихрей, заключающаяся в образовании при определённых условиях бифуркаций при торцевом натекании на стенку сопла. Было показано, что от отношения величины положительного градиента давления и центробежной силы, порождаемой кривизной вогнутой стенки, зависит размер и количество продольных вихрей вблизи максимальной величины деформации контура, в частном случае вблизи максимального разгара в процессе работы уносимого сопла. Говоря о парности вихрей, необходимо добавить и мысль о том, что при расположении их вдоль окружности формируется такая плотная упаковка (в виде замкнутой цепочки), при которой следует уже говорить о чётности одиночных вихрей. Более того, забегая вперёд, отметим, что в будущем разговор будет идти не только о чётности единичных вихрей, но и о чётности парных вихрей. То есть условиями равновесия торсионных жгутов, как будет показано далее, будут условия именно чётности парных вихрей.

Экспериментально уже было показано [1], что зарождению вихрей Тейлора-Гёртлера предшествует некий удар о поверхность с последующей бифуркацией течения. На рис. 1 [2] чётко видны



Рис. 1

седловые особые точки, полученные в экспериментах при исследовании обтекания уступов. Распространяясь в разные стороны от них, поток формируется в продольные вихри, винтообразно закрученные. Эти вихри представляют собой весьма устойчивые конфигурации, и они не меняют местоположения даже при повторных запусках, включающих переборку конструкции с изменениями угловых координат вставных деталей относительно первоначальных. Более того, случайная установка, например, уносимого фторопластового сопла с цилиндрической обечайкой, относительно фиксирующего станка, не приводит к размыванию и сглаживанию первоначальных структур. Повторные запуски делают эти структуры более крупными и рельефными, повторяющими в точности исходные.

Такая устойчивая картина на поверхности существует до тех пор, пока в потоке фиксируется положительный градиент давления $dp/dx > 0$.

В случае если градиент давления отсутствует, то есть dp/dx становится равным нулю, устойчивость вихрей Тейлора-Гёртлера нарушается. Это возможно при условии, когда контур канала становится либо цилиндрическим, либо плоским. В этом случае стати-

ческое давление вблизи стенки не изменяется $p = \text{const}$. При этом новым устойчивым состоянием становятся формирующиеся на базе вихрей Тейлора-Гёртлера торсионные жгуты. Этот новый эффект обнаруживается при экспериментальных исследованиях в диапазоне областей названных выше параметров ($dp/dx = 0$).

В литературе отсутствует описание подобных устойчивых структур и, тем более, их математическая интерпретация. Это - вновь открытые конфигурации, которые являются логическим продолжением описанной ранее цепочки устойчивых формообразований, объясняющих постепенный последовательный переход от ламинарного течения к турбулентному. Ранее [3] автор уже упоминал о таких образованиях. Была качественно на основании проведённых экспериментов воспроизведена картина течения в этих условиях (рис. 3 - 6 в работе [3]). Она представляла собой некую когерентную структуру, состоящую из туго свитых продольных вихревых трубок Тейлора-Гёртлера, попарно расположенных вдоль стенок сопла.

Описание эффекта. Новые конфигурации потока

Первоначально эффект торсионного жгута удалось зафиксировать вследствие глубокого анализа отпечатков после экспериментов, которые оставлял высокотемпературный поток продуктов сгорания на стенках выгораемых фторопластовых сопел. Если до определённого времени о волнах Толмина-Шлихтинга и о вихрях Тейлора-Гёртлера было хоть что-то известно, и было ясно, что соответствующие следы на стенке остаются в виде волновых поверхностей и продольных цилиндрических углублений, то про ячеистую структуру не было известно ничего.

Вглядываясь в эту структуру, можно было точно сказать, что:

- структура очень устойчивая и от запуска к запуску только увеличивается в размерах, практически не меняя своей формы;
- форма ячеек, расположенных в шахматном порядке, представляла собой фрагмент жгута, вдавленный в податливую поверхность;
- направление (скрутка) жгута было противоположно такому же жгуту, расположенному рядом, а максимумы, то есть выступающие части, касались друг друга;
- картина, состоящая из таких плотно расположенных следов от жгутов на поверхности стенки, представлялась весьма циклической, возможно было выделить условную длину цикла.

При рассмотрении данной структуры после экспериментов сразу приходит в голову, что, действительно, огневая поверхность сопла тщательно уложена набором жгутов в виде домотканной циновки. Но! Ведь известно, что если взять два гибких прутка, например, из упругой вакуумной резиновой трубки и попробовать их скрутить как электрические провода, то как только мы перестанем их держать, они раскрутятся. То есть такая система не будет устойчива, и не поддерживает заданную ей первоначально форму. Упругие силы после снятия с системы внешних связей исчезнут, а прутки не смогут остаться в заданном положении.

Далее вспомним, как изготавливается законцовка пастушьего кнута (хлыстик). Внешне она тоже похожа на скрутку из двух электрических проводов. Но! При её изготовлении используется в отли-

чие от скрутки древнее русское ремесло - витьё. В последнем случае упругие прутки (а точнее - пучки конских волос) подвергаются кручению. Каждый из двух пучков скручивается в направлении навстречу друг другу. При этом концы зафиксированы. Такое кручение равносильно локальному вращению в каждом сечении, и поэтому векторы их угловых скоростей направлены в разные стороны, а касательные скорости - навстречу друг другу. Пастух это делает двумя большими пальцами рук, фиксируя двумя указательными пальцами нижние волоски. После чего делается поворот одного скрученного жгута относительно другого. Далее процесс повторяется. Жгуты при этом сильно прижимаются друг к другу и благодаря силам трения удерживаются от раскручивания, приобретая равновесие. Если теперь попробовать раскрутить образовавшийся жгут, то для этого понадобится значительное усилие, а после снятия нагрузки пучок вернётся в первоначальное закрученное положение. Опыт исследования таких конских хлыстиков для функционального завершения конструкции пастушьего кнута положительно показал себя на практике и постоянно демонстрирует прочность подобного соединения. Даже при многократных оглушительных ударах кнута хлыстик не рассыпается на отдельные конские волоски, а долго и надёжно обеспечивает работоспособное состояние кнута.

Но сказанное выше - лишь близкие аналогии к рассматриваемому в данной работе вопросу. Для использования этих аналогий применительно к рассматриваемой задаче потребуется понять сходство их с процессами, происходящими при вихревых течениях в каналах. Для этого воспользуемся универсальностью законов механики сплошных сред. Прежде всего, представим себе линию тока в газе или жидкости, как некий упругий твёрдый элемент (по сути дела - аналог рассмотренного выше конского волоса).

Действительно, принимая такую концепцию, мы гарантируем себя от нарушения однозначности; мы отвергаем случайность в газодинамических процессах и всегда можем быть уверены в том, что задавая в расчётных исследованиях однозначные граничные и начальные условия, получим однозначные решения. Всякую случайность отнесём к суетливости человеческого мышления или, как говорил великий Лаплас, к несовершенству измерений в экспериментах.

Итак, считаем турбулентное течение прядью запутанных конских волос, которые можно ещё больше запутать, повышая градиент давления $dp/dx > 0$, и совсем распутать, расширяя поток и снижая его давление $dp/dx < 0$.

Диапазон устойчивых состояний торсионных жгутов

Переходя к исследованию механизма образования турбулентных течений в виде торсионных жгутов, исследуем процесс преобразования течения Тейлора-Гёртлера при условии постоянного градиента давления. Как было сказано ранее, продольные вихри Тейлора-Гёртлера (вихревые трубки) существуют лишь в случае положительного градиента давления в потоке. Только при наличии нормальных к стенке течений, чему способствует $dp/dx > 0$, возникают продольные кратные вихри, у которых естественно имеются свои вращательные моменты количества движения. Эти моменты сбалансированы между собой вдоль окружности. Они подчиняются закону сохранения момента количества движения, из которого следует [4], что изменение суммарного момента количества движения относительно выбранной оси равно сумме моментов импульсов всех сил, приложенных к телу относительно той же оси

$$d \sum m \cdot (V_x \cdot Z - V_z \cdot X) = M_y \cdot dt.$$

Это означает, что если на систему воздействует постоянная нагрузка в виде системы моментов, то эта нагрузка не изменяется. То есть вихри Тейлора-Гёртлера будут оставаться всегда стабильными и по размеру не изменятся. Если же, что имеет место в нашем случае, градиент давления dp/dx станет равным нулю, то есть момент количества движения исчезнет, то возникнет продольный профиль моментов. На границе вихревых трубок он будет максимальным, а в области, перешедшей к условиям $dp/dx = 0$, он будет нулевым. Из-за этого перехода между двумя парными вихревыми трубками возникает кручение. Две крайние соседние вихревые

трубки начинают под действием силы кручения скручиваться. То же самое происходит и с остальными вихревыми трубками. Тогда становится очевидным, что количество вихрей должно быть четырёхкратным. В противном случае не установится равновесие между кручением и вязким трением, которое удерживает систему в балансе.

Диапазоны устойчивых состояний образовавшихся торсионных жгутов, будут зависеть, безусловно, не только от наличия $dp/dx = 0$ в потоке, но и от других условий, приводящих систему к аналогичному случаю. Так, например, эквивалентные условия dp/dx можно воспроизвести, регулируя течение формой проточного канала, либо подбором шероховатости стенки. Полученные устойчивые образования напрямую связаны с процессами кручения потока. Это наиболее высокодифференцированное образование, которое в математической интерпретации в соответствии с теоремой 1 [5] может быть представлено в самом общем виде так

$$\vec{\Omega} = \frac{1}{4} \text{rotrot} \vec{V}.$$

И, действительно, если рассмотреть ситуацию с геометрической стороны, то сразу станет понятным, что первый ротор от вектора скорости даёт физически привычную величину, угловую скорость вращения. Это - тоже вектор, $\vec{\omega}$, а точнее целое поле векторов угловых скоростей. Но если взять от этого вектора второй ротор $\text{rot} \vec{\omega}$, то мы получаем уже кручение. Ранее неоднократно автором было показано, что любое воздействие оператора ротор на вектор скорости \vec{V} приводит к изменению его направления строго на 90° . То есть $\vec{V} \perp \text{rot} \vec{V}$. Тогда по аналогии $\vec{V} \parallel \text{rotrot} \vec{V}$. Это означает, что вектор кручения потока совпадает по направлению с вектором скорости. Вот почему вихри Тейлора-Гёртлера перпендикулярны торсионным векторам. Этот факт для газовой динамики имеет принципиальное значение. Он объясняет внутреннюю взаимосвязь всех четырёх элементарных движений: поступательного, волнового, вихревого и торсионного.

Экспериментальные факты, полученные на модельных РДТТ

Эксперименты с применением фторопласта (ФП), как уникального материала и модельного РДТТ, выбраны неслучайно, поэтому они были выделены в отдельный раздел. Дело в том, что только такое сочетание, как ФП + РДТТ даёт возможность получить чёткое изображение тонких структур турбулентности. Все возможные сглаживания, связанные с догоранием, последующим расплавлением материала и прочими нюансами исключаются при таком уникальном сочетании причины и следствия.

Приведём два наиболее характерных экспериментальных результата:

1. Полученные в динамике ($\tau = 1,25$ с; $2,5$ с и $3,75$ с) отпечатки на внутренней поверхности газоведа, работающего на продуктах сгорания твёрдого топлива (рис. 2);

2. Результаты разгара в закритической части и за уступом разрезного управляющего сопла (РУС) РДТТ (рис. 3).

Первая серия экспериментов характерна тем, что газовод имел достаточно протяжённую поверхность в области критического сечения сопла, близкую к цилиндрической. Такие конструкции часто используются в авиационной промышленности. Сделано это было для того, чтобы умышленно растянуть зону безградиентного течения.

Анализ результатов, полученных в ходе испытаний, показал наличие чётко сформировавшихся двух зон. Закритическая часть (здесь фторопласт стоял за тугоплавким сплавом) сформировалась в виде, так называемой, "закритической ямы". Она имела характерную для этой области поверхность с сильно развитой кривизной. Не случайно вдоль оси этой осесимметричной поверхности сформировались вихри Тейлора-Гёртлера. Эти вихри по размерам весьма близки к величине максимальной глубины "ямы". Вихри - практически цилиндрические, что говорит о выполнении закона о моменте количества движения. Здесь следует отметить, что количество вихрей, как показали их обмеры, является кратным, и все они укладываются на окружности газоведа равномерно. Было также установлено,

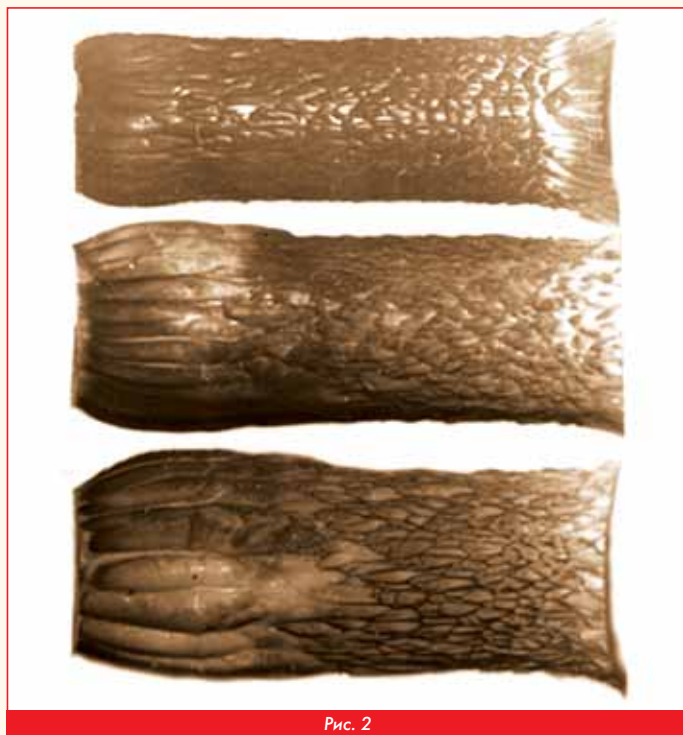


Рис. 2

что диаметр вихрей увеличивается пропорционально времени работы двигателя, что говорит о практически постоянной скорости уноса материала в этой области.

В зоне, где профиль газовада становился практически цилиндрическим, на внутренней поверхности имеются следы в виде отпечатков торсионных жгутов. Конечно, получить идеальную картину отпечатков жгутов, где можно было бы разложить все периоды и длины волн, как правило, не удаётся, но качественная картина, которая в достаточной для анализа мере отражает объясняемый эффект, была получена. На уносимой поверхности чётко видны чередующиеся практически в шахматном порядке ячеистые образования, по размеру совпадающие с диаметрами исходных вихрей Тейлора-Гёртлера. Продолжительный участок на цилиндрической поверхности подтверждает высокую стабильность торсионных жгутов.



Рис. 3

При этом совершенно очевидно, что их природа и динамика изменения по длине одна и та же для различных времён фиксации.

Аналогичная картина была получена на поверхности разрезного управляющего сопла (рис. 3). Кроме того, что явилось совершенно неожиданным, были отмечены следы вихрей Тейлора-Гёртлера и торсионных жгутов. Особенно следует отметить следы Тейлора-Гёртлера за уступом данного сопла. Несмотря на то, что эти вихри следовали прямо за торсионными жгутами, они не изменили своей формы по отношению к характерной для этих условий тече-

ния. Это говорит о том, что главной причиной является сформировавшаяся кривизна линии тока непосредственно за уступом, которая всегда преобладает над условиями течения перед уступом. Поток как бы заново сформировался и приспособился к условиям расширения в донной области с последующими условиями сжатия при ударе после отрыва за уступом.

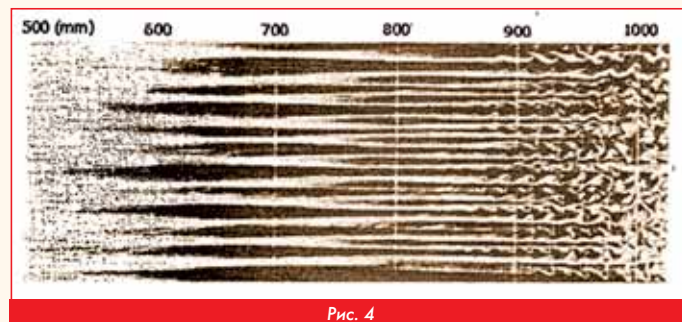


Рис. 4

Дополнительные факты, подтверждающие эффект

Всегда, когда появляется возможность доказать тот или иной факт, зафиксированный либо путём умозаключения, либо полученный экспериментально, хочется это подтвердить дополнительно экспериментами из другой области знаний. В данном случае представилась такая возможность, и её можно было констатировать как независимое доказательство утверждаемого факта. Это - два уникальных события, которые были зафиксированы независимо:

1. При исследовании Накаямой [6] воздушных вихрей Тейлора-Гёртлера на криволинейной поверхности (рис. 4);
2. Превосходная фотография в виде жгута из облаков, представленная фирмой Microsoft (рис. 5).


По рис. 4 следует дополнительно сделать следующие комментарии. Интерпретация, данная автором Накаямой, точно лишь до участка сопряжения с плоскостью в том месте, где чётко прочерчиваются продольные борозды. Непосредственно после этих борозд уже на плоскости наблюдаются переплетающиеся структуры - торсионные жгуты. Это - практически единственный, имеющийся в настоящее время в литературе экспериментальный факт, иллюстрирующий объёмное изображение торсионных жгутов. 



Рис. 5

Литература

1. Ю.М. Кочетков. Турбулентность. Вихри Тейлора-Гёртлера. // Двигатель № 3, 2014 г.
2. Г.Ф. Готов. Аэротермодинамика летательных аппаратов в фотографиях. г. Жуковский, ЦАГИ, 2003 г.
3. Ю.М. Кочетков. Турбулентность, вихри и жгуты. // Двигатель № 4, 2005 г.
4. Г.Н. Абрамович. Прикладная газовая динамика. М. Государственное издательство технико-технической литературы, 1953 г.
5. Ю.М. Кочетков. Турбулентность. Торсионно-волновая парадигма. // Двигатель № 4, 2011 г.
6. Y. Nakayama. Visualized Flow, Pergamon, Oxford, 1988.

Связь с автором: swgeorgiy@gmail.com

Полный вперед!

с 2,5 тоннами в 5 осях



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

www.hermle-vostok.ru

Представительство «Хермле ВВЗ АГ» в Москве - ул. Полковая д.1, стр. 6 - 127018 Москва, Россия - Тел.: +7 495 221 83 68 - info@hermle-vostok.ru



ПРОБЛЕМАТИЧНОЕ НАЧАЛО И ДРАМАТИЧЕСКИЙ КОНЕЦ РАЗРАБОТКИ РАКЕТЫ-НОСИТЕЛЯ Н1

Вячеслав Фёдорович Рахманин,

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

(Окончание. Начало в № 6 - 2011, 1-6 - 2012, 1-6 - 2013, 1-3 - 2014)

"Вторая жизнь" двигателя НК-33 началась с заключения в 1993 году между ОКБ Кузнецова и компанией Аэроджет контракта на экспорт в США 37 двигателей НК-33. Американские двигателистроители надеялись быстро и успешно интегрировать двигатель, намного превосходящий по техническим и эксплуатационным характеристикам любой из находящихся в эксплуатации или разработке американский ЖРД, в одну из космических ракет США. И начали они совместно с ОКБ Кузнецова с участия в конкурсе на замену двигателя в РН "Атлас", но компания Локхид Мартин выбрала двигатель РД180. Других предложений на использование двигателей НК-33 в США не последовало. Эту ситуацию, как и поражение в конкурсе, компания Аэроджет и ОКБ Кузнецова сочли следствием недоверия к надёжности двигателей, изготовленных более 20 лет назад. С целью развеять это недоверие и показать ракетно-космическим компаниям США сохранившуюся высокую работоспособность двигателей НК-33, в течение 1998 г. на стенде Аэроджет был проведён ряд успешных демонстрационных огневых испытаний. К уже имеющейся статистике наработки в октябре-ноябре 1995 г. на одном экземпляре двигателя НК-33, составившей 493 с (4 демонстрационных испытания в США и предыдущие 2 контрольно-технологические испытания в 1973 г. в СССР), добавились огневые испытания двух двигателей: 6 испытаний суммарной продолжительностью 524 с и 3 испытания продолжительностью 280 с.

Продемонстрированная работоспособность двигателей, наличие их достаточного количества и, главным образом, возможность многократного использования каждого экземпляра, привлекли внимание частной компании "Кистлер", которая приняла решение использовать двигатель НК-33 в разрабатываемом многоэтажном носителе "К-1". Для адаптации двигателя в этом носителе компания Аэроджет совместно с ОКБ Кузнецова провела его доработку. Разработанные две модификации двигателей в американской системе получили обозначение AJ 26-58 и AJ 26-59. Стендовые испытания начались в марте 1998 г., всего было проведено 10 огневых испытаний, из них 5 - в исполнении НК-33, и 5 - в модифицированном варианте. Все испытания прошли успешно. Однако дальнейшие работы по созданию РН "К-1" из-за разразившегося мирового финансового кризиса были прекращены. Предпринятая в 2006 г. попытка компании "Кистлер" возродить этот многообещающий по прогнозам американских специалистов проект, заключив контракт с НАСА на выполнение

космических пусков, не имела успеха из-за недостатка финансового обеспечения.

Следующая попытка использовать двигатель НК-33 в американской космической ракете оказалась успешной. В 2007 г. компания Orbital Sciences Corporation (аббревиатура на кириллице - ОСК) взялась за разработку РН среднего класса "Таурес-2", способную выводить в космос полезную нагрузку до 5,7 т. Ракета должна была заменить снимаемую с эксплуатации РН "Дельта-2". В феврале 2008 г. проект РН "Таурес-2" победил в конкурсе с РН "Фалькон-9" на проведение демонстрационных

пусков, а в декабре того же года компания ОСК заключила контракт с НАСА на выполнение 8 транспортных полётов к МКС с целью доставки грузов для обеспечения работы и жизнедеятельности американских астронавтов. Продолжительность действия контракта: с января 2009 г. по декабрь 2016 г. Главной особенностью нового носителя было требование сохранения рентабельности его производства при относительно низкой частоте пусков - 2-3 в год. В связи с этим основная концепция проекта заключалась в максимальном использовании во вновь создаваемой ракете уже имеющихся хорошо отработанных ракетных систем. Реализуя эту концепцию, разработчики РН "Таурес-2" для установки на первую ступень выбрали модифицированный российско-американский двигатель НК-33/AJ26, а разработку и изготовление всей ступени поручили украинским ГKB "Южное" и ПО "Южмаш" с целью использования их опыта разработки и имеющегося оборудования для изготовления первой ступени РН "Зенит". Так что эта ракета является продуктом совместной деятельности трёх космических государств - США, России и Украины. Для работы в составе РН "Таурес-2", получившей в декабре 2011 г. в процессе её разработки новое наименование - "Антарес", двигатель был форсирован по тяге до 108 %, а также претерпел ряд конструкторских изменений. Из наиболее значимых следует указать следующие: установка двигателя в карданный шарнирный подвес, что привело к перекомпоновке ряда трубопроводов; замена приводов управления агрегатами автоматики и органами регулирования режима работы двигателя; установка новых датчиков измерения параметров работы; замена пороха в пусковой турбине и зажигательном устройстве для запуска двигателя.



Подготовка НК-33 к испытаниям



Отработка автоматической посадки первой ступени "К-1" по программе обеспечения её многоэтажности



Установка AJ26-62 - модернизированного варианта НК-33 - на РН "Антарес"

Модернизированный двигатель получил обозначение AJ26-62. Тестирование его работоспособности стендовыми испытаниями началось 1 октября 2009 г. Первое огневое испытание прошло успешно, при проведении второго испытания 6 октября 2009 г. в магистрали окислителя возникли пульсации давления, и двигатель был отключён на 160-й секунде работы. Испытания возобновились в марте 2010 г., двигатель отработал без замечаний 3 испытания суммарной продолжительностью 617 с, что более чем в 2,5 раза превышает номинальное время работы в составе ракеты "Антарес" - 230 с.

Последующие испытания двигателей AJ26-62 проводились с целью определения технической пригодности экземпляров двигателей, предназначенных для работы в составе РН "Антарес" в процессе лётной эксплуатации. В период с 10 ноября 2010 г. по 7 февраля 2011 г. было проведено по два технологических испытания двух двигателей, после чего они были направлены для сборки первой ступени ракеты (первая ступень РН "Антарес" комплектуется двумя двигателями). Эта ступень предназначалась для сборки первой РН "Антарес", которая должна была пройти по всей штатной технологической линейке с наземным испытанием двигателей в составе ступени ракеты. Проведение многократных стендовых испытаний двигателей до их штатной работы в составе ракеты является использованием хорошо зарекомендовавшей себя методики многократной предстартовой проверки пригодности двигателей, отработанной для РН "Сатурн-5".

К первому полёту готовилась РН "Антарес" № 2. Её двигатели, изготовленные в 1973 г., прошли полный цикл тестирования по вышеизложенной методике подготовки к пуску. Эта методика позволила выявить непригодность одного из двигателей, отобранного для установки в ракету: в июне 2011 г. при его автономном испытании обнаружилась утечка керосина из коллектора камеры. Причиной утечки определили коррозионное растрескивание металла "от старости". Выбранный для замены двигатель успешно прошёл тестирование в конце сентября 2011 г. и был отправлен для сборки ступени. Дальнейшие работы по сборке ракеты прошли без замечаний, и она была отправлена на стартовую позицию. Однако дата первого пуска РН "Антарес" не зависела от готовности ракеты. С момента вывоза ракеты для старта в Космический центр им. Стенниса 17 апреля 2012 г до её пуска 22 апреля 2013 г. прошёл календарный



Старт РН "Антарес"

год. Столь продолжительная задержка даты пуска была вызвана неготовностью к лётным пускам стартового хозяйства и другими причинами, среди которых, в частности, отмечается плохая погода в районе старта. Такое отношение к срокам начала лётной эксплуатации новой ракеты показывает, какое значение придаётся тщательности подготовки к пуску, исключению риска получить аварию из-за спешки и потерять ракету, что приведёт не только к материальным и финансовым потерям, но и нанесёт серьёзный удар по имиджу фирмы. А имидж в условиях конкуренции считается превыше всего.

Первый пуск РН "Антарес" имел экспериментально-технологическое назначение, её полезную нагрузку составляли габаритно-весовой макет будущего грузового корабля и 4 спутника, созданных на основе нанотехнологий. О каких-либо существенных замечаниях к работе двигателей не сообщалось.

Второй пуск РН "Антарес" по программе коммерческих услуг по снабжению МКС состоялся 18 сентября 2013 г. Это был также экспериментальный полёт, отработывалось сближение и стыковка грузового корабля с МКС.

При третьем пуске РН "Антарес" 9 января 2014 г. транспортно-грузовой корабль доставил на МКС приборы и расходные материалы. Для этого пуска характерны его неоднократные переносы. Первоначально намеченная дата пуска 14 декабря 2013 г. по различным причинам переносилась 4 раза.

Четвёртый пуск состоялся 13 июля 2014 г., РН "Антарес" выполнила программу доставки на МКС запланированных грузов.

В процессе этих полётов РН "Антарес" двигатели работали в штатном режиме, каких-либо замечаний не отмечено.

Первые успешные полёты РН "Антарес" стали началом лётной эксплуатации, пусть и в модернизированном варианте, двигателя НК-33, о чём, как пишут в своих статьях самарские авторы, страстно мечтал Н.Д. Кузнецов. Но такая оценка события - из области человеческих чувств. В историческом плане успешная лётная эксплуатация двигателей подтвердила правильность сделанной 20 лет назад ставки компании "Аэроджет" на использование российских двигателей для комплектации американских ракет-носителей. Однако при перспективном планировании использования имеющегося запаса двигателей НК-33 всплыла изначально существующая проблема. Ограниченное количество и "преклонный возраст" имеющихся у компании "Аэроджет" двигателей НК-33 вызывал беспокойство у руководства компании ОСК. Стендовая авария двигателя в июне 2011 г. из-за старения металла у одной из деталей двигателя насторожила руководителей компании ОСК и по их требованию была проведена дефектация всего запаса двигателей для определения возможности их дальнейшего использования. В результате было обнаружено, что на некоторых из хранящихся двигателей имеется проступившая сквозь заводскую окраску коррозия металла. Всё в мире стареет, время неминуемо оказывает своё разрушающее воздействие. Годными для эксплуатации признали 23 двигателя. Для выполнения имеющегося у компании ОСК контракта с НАСА на пуски РН "Антарес" к МКС этого запаса двигате-



Двигатели РН «Сатурн 5» у входа в Космический центр им. Стенниса



Всё готово. Теперь на старт

лей достаточно, но в случае продления контракта, а также для использования РН "Антарес" в других космических программах потребуется дополнительное количество двигателей. Да и до окончания имеющегося контракта оставалось ещё 4 года. А как это время скажется на материалах двигателей, признанных годными? Не придётся ли снова вести их отбраковку? И как тогда обеспечить дальнейшую эксплуатацию РН "Антарес"? Так что если стендовую аварию в 2011 г. можно было посчитать за первый тревожный сигнал, то появление коррозии и последующая отбраковка двигателей стали пожарной сиреной. Таким образом, для продолжения эксплуатации РН "Антарес" появилась острая необходимость возобновления производства двигателей НК-33 в варианте AJ26-62.

На этом прервём изложение истории использования российского двигателя НК-33 в американской РН "Антарес" и рассмотрим его применение в отечественной космической ракете "Союз-2.1В".

Переход России на рыночную экономику коренным образом изменил условия и методы работы в космической отрасли. Оказали своё влияние и современные научно-технические достижения. Миниатюризация электронных приборов и использование новейших нанотехнологий позволяют создавать малые КА, которые при сохранении эффективности выполнения ими космических программ в десятки раз меньше и легче КА конца XX века. Это позволяет для их выведения на космические орбиты использовать ракеты лёгкого класса, простые и дешёвые в производстве благодаря их разработке и изготовлению на базе конструкции ракет, находящихся в серийном производстве. Учитывая конструктивную преемственность с серийными ракетами, эксплуатация новых ракет не требует проведения существенных изменений наземной инфраструктуры на имеющихся космодромах.

В отечественной истории космической техники к ракетам лёгкого класса относились РН "Космос-2", "Космос-3М", "Циклон-2" и "Циклон-3". Все эти ракеты были разработаны и успешно эксплуатировались, но после развала Советского Союза ни одна из них не изготавливалась, оставшееся некоторое количество ракет использовалось относительно редко и, в большей мере, для выведения коммерческих КА.

Новая Россия, объявившая себя политическим наследником СССР и претендовавшая на неофициальное, но по существу соответствующее действительному положению дел звание Великой космической державы, не могла долго мириться с наличием в её космическом флоте всего двух ракет: среднего класса РН "Союз" и тяжёлого класса РН "Протон". Использование для запуска КА РН "Зенит" украинского производства накладывало на реализацию российских космических программ зависимость от другого государства. В связи с этим в конце 90-х годов правительство РФ приняло предложение ГКНПЦ им. М.В. Хруничева приступить к разработке семейства космических ракет "Ангара", включаю-

щее РН лёгкого класса "Ангара-1.2", среднего класса "Ангара-3" и тяжёлого класса "Ангара-5".

Идея разработки этого семейства ракет заключается в восполнении отсутствующего производства ракет лёгкого класса, в замене морально устаревших ракет "Союз" и замене работающих на токсичном топливе ракет "Протон". При проектировании семейства РН "Ангара" использовался метод рационального формирования. Первые ступени всех ракет "Ангара" комплектуются по модульному принципу однокамерными двигателями РД 191 тягой 196 тс, разработанными в НПО Энергомаш на базе двигателя РД 180. На вторых ступенях устанавливается двигатель РД-0124 (14Д23), разработанный в КБХА. Для обеспечения необходимой тяги на первой ступени РН "Ангара-1.2" устанавливается один модульный двигатель РД 191, на РН "Ангара-3" - три таких двигателя, на РН "Ангара-5" - пять двигателей.



Семейство РН "Ангара"

Ограниченное финансирование и, скажем прямо, отсутствие острой необходимости в эксплуатации новых ракет в связи с дефицитом полезных грузов привели к тому, что разработка РН "Ангара" растянулась почти на 15 лет.

Благодаря высокой преемственности конструкции двигателей РД 191 и РД 180 разработка нового двигателя не требовала чрезмерных финансовых затрат и в первые годы велась, в основном, с частичным использованием средств, получаемых от продаж РД 180. Это позволило существенно опередить разработку других ракетных систем для РН "Ангара". Двигатель РД 191 в течение 2002-2010 годов прошёл стендовую отработку по методике, предусматривающей многократные огневые испытания одного экземпляра двигателя. Стендовая отработка завершилась проведением в 2010-2011 годах межведомственных испытаний, а в 2011 году двигатель успешно отработал 4 стендовых испытания в составе ступени. Работоспособность двигателя РД 191 дополнительно получила косвенное подтверждение при проведении в 2009-2013 годах трёх лётных испытаний двигателя аналогичной конструкции РД 151 в составе первой ступени южнокорейской космической ракеты "KSLV-1". Так уж случилось, что пусками южнокорейских ракет был полностью реализован принцип отработки модульного двигателя, предложенный в 70-х годах В.П. Глушко: после стендовой отработки двигатель проходит первые лётные испытания в составе ракеты, выполняющей вспомогательную роль по отношению к РН, для которой модульный двигатель разрабатывается.



ЖРД РД 191 на стенде НПО Энергомаш



Подготовка южнокорейской ракеты KSLV-1 к пуску...



...и её старт

В июле 2014 г. первая лётная ракета "Ангара-1.2" была вывезена на космодром Плесецк и 9 июля она с габаритно-массовым макетом полезного груза успешно стартовала. Этот пуск стал началом лётных испытаний первой космической ракеты, полностью разработанной и изготовленной в Российской Федерации.



Установка РН "Ангара" на старт

Затянувшаяся пауза в изготовлении российских ракет лёгкого класса была заполнена пусками ракет, унаследованных от Советского Союза. Кроме уже упомянутых РН "Космос-3М" и семейства "Циклон" для пусков КА лёгкого класса на низкие орбиты успешно использовались конверсионные ракеты "Днепр" (в "боевом" исполнении - РС-20) и "Рокот" (РС-18).



РН "Днепр"

К достоинству конверсионного использования снятых с вооружения боевых ракет относится относительно низкая стоимость пуска, включающая установку КА, замену головного обтекателя, оплату используемого топлива и т.д. Имеется,



РН "Рокот"

разумеется, и оборотная сторона применения этих ракет для запуска КА: использование шахтных сооружений, токсичное топливо, чрезмерно высокие перегрузки на аппаратуру КА при минимальном старте РН "Днепр" и ряд других. Но это не помешало в период с апреля 1999 г. по июль 2014 г. осуществить 20 пусков ракет "Днепр" и с мая 2000 г. - 21 пуск ракет "Рокот".

Не остались в стороне от заполнения свободной ниши и самарские разработчики ракет-носителей. В 2004 г. в ГНПРКЦ "ЦСКБ - Прогресс" началась разработка носителя лёгкого класса, в котором по замыслу проектантов в соответствии с реалиями текущего времени максимально использовались элементы конструкции ракет, находящиеся в производстве, а также обеспе-

чивалась привязка к существующим стартовым сооружениям на космодроме, что должно было обеспечить дешевизну изготовления носителя и короткие сроки, не более трёх лет, реализации всего проекта.

Поиски оптимальной конструкции завершились в 2008 г. выпуском эскизного проекта. Новая ракета стала продолжением ряда, основанного на базовой ракете "Союз-2". К ранее разработанным РН "Союз-2.1А" (первый пуск в 2004 г.) и "Союз-2.1Б" (первый пуск в 2006 г.) добавилась ракета "Союз-2.1В". На первой ступени ракеты в соответствии с избранной концепцией разработки использовался доработанный под установку в эту ракету двигатель НК-33А (по официальной классификации 14Д15) и четырёхкамерный рулевой двигатель РД-0110Р (14Д24), созданный на базе разработанного КБХА серийного двигателя 11Д55. Суммарная тяга первой ступени у земли (в пустоте) составляла 178,8 тс (199,8 тс), на второй ступени, полностью заимствованной с РН "Союз-2.1Б", двигатель РД-0124 имел тягу 30 тс. Ракета обеспечит доставку на низкую околоземную орбиту с космодрома Плесецк и, в перспективе, с Восточного полезного груза массой до 2,8 т.



Старт РН "Союз-2.1В"



Рулевой двигатель РД-0110Р

Министерство обороны РФ поддержало инициативную разработку новой ракеты. Это послужило основанием для принятия в 2009 г. решения о начале работ по её изготовлению.

ЛКИ ракеты "Союз-2.1В" планировалось начать осенью 2011 г., однако задержки с изготовлением ступени и модернизацией огневого стенда для испытаний ступени сместили начало ЛКИ на более поздние сроки. В октябре 2011 г. были проведены автономные стендовые испытания доработанного двигателя НК-33А, подтвердившие его технические характеристики и работоспособность после почти 40 лет хранения на складе. В итоге первое испытание первой ступени состоялось 16 августа 2012 г. на стенде в г. Пересвет (бывший посёлок Новостройка Загорского района). Испытание прервалось аварийным отключением двигателя, ступень получила серьёзные повреждения. Ремонтные работы на стенде и восстановление ступени с заменой маршевого и рулевого двигателей растянулись на 10 месяцев.

Второе испытание ступени состоялось 3 июня 2013 г. И опять аварийное выключение двигателя НК-33А на 150-й секунде работы (плановое время испытания 200 с). На этот раз выявился дефект в работе системы наддува бака горючего с использованием генераторного газа рулевого двигателя РД-0110Р. Поскольку материальная часть ступени повреждений не имела, дефект был однозначно установлен и конструктивно устранён, а к работе маршевого двигателя НК-33А замечаний не имелось, межведомственная комиссия сочла возможным признать испытание зачётным и дала "зелёный свет" проведению первого лётного пуска РН "Союз-2.1В".

Но на этом злоключения с подготовкой и проведением этого пуска не закончились. Как будто злой рок преследовал организацию полёта двигателя НК-33 на родной земле. Дату пуска, первоначально назначенную на 23 декабря 2013 г., несколько раз переносили на более поздние сроки для устранения выявленных замечаний к работе элементов ракеты и наземных систем. Вновь назначенные даты пуска укладываются в период с 23 декабря по 28 декабря 2013 г., два переноса сопровождались сливом топлива из заправленной ракеты - самой нелюбимой членами пусковой команды технологической операции. Перенос даты пуска на день два указывает на незначительность замечаний, требующих столь короткого времени на их устранение, но Госкомиссия принимала решение об их устранении. Такое отношение к пуску указывает

на тщательность его подготовки с целью минимизировать риск аварийного исхода первого лётного испытания новой ракеты. В день пуска 28 декабря также не обошлось без возникновения нештатной ситуации - в процессе набора стартовой циклограммы произошёл её сброс. По сложившейся практике подготовки этого пуска следовало ожидать очередной его перенос, на этот раз на 2014 г. Но перенос свершения события на следующий календарный год всегда неприятен и Госкомиссия приняла волевое решение повторить набор циклограммы. Решение оказалось правильным, ракета благополучно ушла со старта, полётное задание было выполнено. А оно состояло не только в проверке функционирования всех ракетных систем в условиях полёта, но и в выведении на орбиты КА "Аист" и двух малых спутников, выполняющих полётную программу в интересах Минобороны РФ.

В связи с тем, что все основные ракетные системы, использованные в РН "Союз-2.1В", серийно изготавливаются или являются модификациями хорошо отработанных ракетных элементов, программой лётно-конструкторских испытаний (ЛКИ) новой ракеты предусматривалось проведение пяти пусков. Первый пуск прошёл успешно, следующие пуски по программе ЛКИ планировалось также совмещать с выведением на орбиты КА. Фактически уже на стадии проведения ЛКИ российская космическая отрасль получала новую ракету лёгкого класса. Теперь её эксплуатация зависела только от наличия задач и космических аппаратов для их решения. А вот с этим в настоящее время "напряжёнка". После проведения пуска в печати сообщалось о запланированном на весну 2014 г. второго пуска, приводилось и название КА - "Михайло Ломоносов". Эти строки пишутся в первой половине августа 2014 г., но пуска не было и о сроках его проведения информации не имеется. В перспективе использование РН "Союз-2.1В" для пуска отечественных КА весьма ограничено: планируются один пуск в 2015 г. и два - в 2017 г. Хочется надеяться, что это связано с тем, что прошло лишь полгода, как РН "Союз-2.1В" появилась на рынке космических услуг. Однако для нового космического "извозчика" место на этом рынке в ближайшие годы найти будет не просто. Хотя маркетинг РН "Союз-2.1В" среди потенциальных отечественных и зарубежных заказчиков коммерческих пусков вёл с середины 2012 г., но имеющимся перспективными планами использовать в ближайшие годы этот носитель не предусматривается. Надежда на государственные заказы, в первую очередь Минобороны, а также на переориентацию заказчиков коммерческих пусков с РН "Днепр" и "Рокот" на "Союз-2.1В". Но и в этом случае выбор носителя не однозначен, т.к. определяется не только техническими характеристиками РН, но и в значительной мере стоимостью пуска, а она у конверсионных РН не велика.

Тем не менее изготовители РН "Союз-2.1В" с оптимизмом смотрят на перспективы востребованности своего носителя. Их не смущает дефицит полезных нагрузок, видимо, рассчитывают на развитие событий в соответствии с народной мудростью: "Была бы шея, хомут найдётся". Беспокойство вызывает ограниченное количество имеющегося запаса двигателей НК-33. И в этом интересе изготовителей российских РН "Союз-2.1В" и американских РН "Антарес" совпадают.

Напомним: проведено 4 успешных пусков РН "Антарес", с третьего полёта по контракту с НАСА началась доставка на МКС различных грузов. Это послужило основанием для перспективного планирования использования новой ракеты. Конъюнктура на американском рынке космических услуг в ближайшей перспективе складывается так, что появляется возможность дальнейшей эксплуатации РН "Антарес", а для этого потребуется большее количество двигателей AJ26-62, чем их имеется у компании "Аэроджет".

В сложившейся ситуации задача дальнейшего обеспечения РН "Антарес" двигателями I степени имела три варианта решения:

- поставщик двигателей AJ26-62 - компания "Аэроджет", имеющая российскую лицензию на производство базового двигателя НК-33, организует его производство в США;

- компания "Аэроджет", в соответствии со своими обещаниями при закупке российских двигателей в 90-х годах, примет участие

в восстановлении производства двигателей в России;

- компания ОСК изыщет эквивалентную замену двигателям AJ26-62.

Рассмотрим, как эти варианты решения претворялись в жизнь.

По имеющимся сведениям целесообразность производства двигателей НК-33 в США исследовалась американскими специалистами, которые определили, что на подготовку производства и освоение новых для американской промышленности конструкций и технологий потребуется 2 года и сумма около \$500 млн. Сравнение этого прогноза с результатами оценки проведения аналогичных работ применительно к двигателю РД180, сделанной специалистами другой американской компании, показывает, что требуемое время и затраты заметно занижены.

Не являясь специалистом в области финансов и экономики, не могу прокомментировать указанные финансовые затраты. Что же касается технической стороны постановки на производство ЖРД на новом заводе, то в этом имею достаточный личный опыт, чтобы сделать собственную оценку требуемого времени.

Изготовление ракетного двигателя на американских заводах напрямую по российской технической документации невозможно. Адаптация комплекта конструкторской документации и массива технологий к американской системе измерений (перевод мм в дюймы, кг в фунты и т.д., особенно в наиболее чувствительной области размеров допусков и посадок) может отрицательно сказаться на функционировании агрегатов двигателя и повлиять на его надёжность. К этому следует добавить необходимость выполнения требований ссылочной документации: российских ГОСТ, ОСТ, ТУ и других нормативно-технических документов (НТД). Известно, что американские и российские НТД имеют существенные отличия. А как быть с материалами, аналогов которых в США не производится? Сколько времени потребуется для освоения ранее не известной в США технологии изготовления камеры? Предстоит также переработка российских технологий для их "привязки" к американскому оборудованию. И это только поверхностный слой возникающих вопросов, в совокупности перерастающих в проблему. Нет, за 2 года американцам не освоить производство двигателя НК-33, созданного в СССР 40 лет назад.

Проверить правильность или ошибочность прогноза американских специалистов не представилось возможным, т.к. руководители компании "Аэроджет" отказались от воспроизводства двигателей НК-33 в США. Они сочли, что восстановить производство в России проще и дешевле, чем в США и в июне 2013 г. обратились с этим предложением в ОАО "Кузнецов" (так стало называться ранее акционированное ОКБ Кузнецова после присоединения к нему в апреле 2010 г. двух акционерных обществ). Предложение легло на хорошо подготовленную почву.

Напомним, что отдельные попытки использовать имеющееся готовые двигатели НК-33 в составе новых или модернизируемых РН велись в СССР в период со второй половины 70-х до конца 80-х годов, однако успеха не имели. Вторая волна использовать эти двигатели пришла в конце 90-х годов. Однако надежда на успешное решение этой задачи появилась только с началом работ по использованию этих двигателей в составе РН "Союз-2.1В". Успешный полёт РН "Антарес" существенно обострил ситуацию в этой затянувшейся на десятилетия истории. Отмечая значение этого пуска, генеральный директор Объединённой двигателестроительной корпорации (ОДК), в состав которой входит ОАО "Кузнецов", сказал: *"Российский НК-33 в модифицированной версии нашёл своего заказчика в США. В ближайшей перспективе он будет установлен и на российскую ракету лёгкого класса. [...] Мы стремимся не только использовать имеющиеся двигатели, но и воссоздать их производство на новом технологическом уровне. Наши конструкторско-инженерные кадры, которые сейчас работают над этой темой, способны выполнить эту задачу".* Заявление о перспективах развития одного из направлений в российском ракетном двигателестроении основывалось на включении работ ОАО "Кузнецов" по воспроизводству двигателей НК-33А и НК-33-1 в Феде-

ральную целевую программу "Развитие оборонно-промышленного комплекса Российской Федерации на 2011-2015 годы и на период до 2020 года". Имеются сведения, что на работы по воспроизводству двигателей планируется затратить около 5 млрд руб. (по другим источникам - до 8 млрд руб.) при долевым участии госбюжета и коммерческих инвестиций.

Некоторые авторы статей анализируют перспективы использования вновь изготовленных двигателей. В одной из таких статей приводится их стоимость в 30...40 млн руб. за один двигатель, правда, с оговоркой - "при крупносерийном производстве". (По нынешнему курсу доллара в России это соответствует \$1 млн. Прошло 40 лет после продажи двигателей НК-33, а цена не меняется. Прямо наваждение какое-то!). Поскольку рыночная стоимость двигателя в настоящее время является одной из характеристик, оказывающих существенное влияние на его конкурентоспособность, попробуем разобраться в реальности цены двигателя, прогнозируемой автором статьи.

По планам ОАО "ОДК" поставка первых товарных двигателей должна состояться в 2017 г. До этого момента ракетостроители и в России, и в США должны обходиться имеющимися у них запасами "старых" двигателей. Начиная с 2017 г., следует ожидать ежегодных заказов от России на 4-5 двигателей и от США - на 6-8 двигателей. Изготовление 10-13 двигателей в год к крупносерийному производству никак не отнесёшь, и это снимает сделанную оговорку о существенном снижении стоимости серийно изготавливаемого двигателя. А теперь вернёмся к указанным затратам в 5 (или 8) млрд руб. на восстановление производства. По законам коммерческой экономики все затраты на подготовку товарного производства должны быть "отбиты" в течение определённого срока при продаже продукции через её стоимость. В нашем случае, если основным акционером ОАО "Кузнецов" является государство, то бюджетные деньги могут быть засчитаны в качестве безвозвратного вклада в государственную собственность. Однако наличие коммерческих инвестиций приведёт к необходимости повышать рыночную стоимость двигателя для постепенного погашения средств, вложенных в организацию производства. Сомневаюсь, что такое положение дел, постоянно растущая стоимость материалов и комплектующих изделий, ежегодно увеличивающаяся инфляция позволят вести безубыточное изготовление двигателя с рыночной ценой на уровне 40 млн руб. Автор статьи явно не знаком с сегодняшними рыночными ценами на космическую технику.

На этом завершим наше отступление в область экономики и вернёмся к истории восстановления производства двигателей в Самаре. Упомянутое выше обращение компании "Аэроджет" в ОАО "Кузнецов" и последующие переговоры завершились подписанием опционного соглашения на поставку до 2024 г. 50 двигателей в варианте AJ26-62. Имеются сведения, что в развитие этого соглашения подписан контракт на гарантированную закупку США 20 указанных двигателей и что наличие этого контракта усилило позиции апологетов воспроизводства двигателей, лоббирующих принятие такого правительственного решения. Странники воспроизводства заверяют, что совокупная потребность двигателей для российских и американских ракет при правильной ценовой политике выведет производство двигателей в сферу рентабельности.

Для восстановления изготовления двигателей запланирована основательная реконструкция цехов основного производства с их капитальным техническим перевооружением. Будут построены новые корпуса, установлено современное высокопроизводительное оборудование, модернизирована заводская инфраструктура, реконструированы испытательные стенды. На месте устаревшей производственной базы создаётся современное промышленное производство ракетных и авиационных двигателей. Учитывая объём предстоящих работ, указанная сумма затрат в 5 и даже 8 млрд руб. уже не кажется неоправданно завышенной для восстановления производства двигателей.

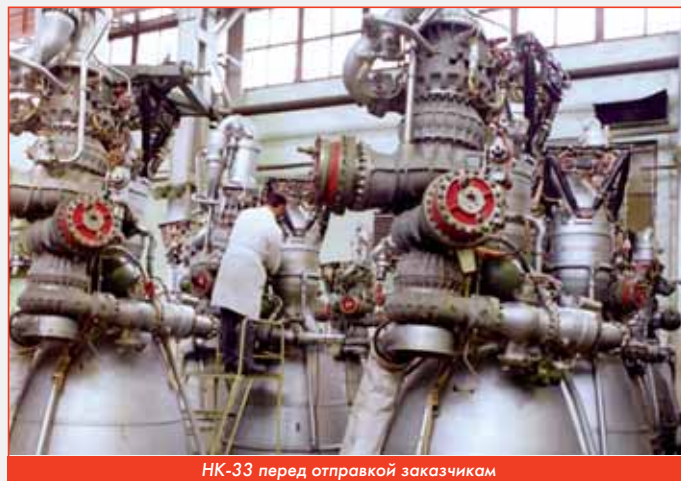
Принятые решения и ведущиеся работы позволяют считать, что вопрос изготовления двигателей на базе конструкции НК-33

на сегодняшний день решён положительно. Но это не значит, что далее остаётся только ждать, когда первый товарный двигатель будет отправлен для установки в ракету-носитель. Предстоит длительный, требующий аккуратности процесс адаптации конструкторской и технологической документации к сегодняшним реалиям. Прошло более 40 лет с момента завершения изготовления двигателей по оформленным в соответствии с требованиями того времени конструкторским и технологическим документам. Для приведения их в рабочее состояние придётся организовать сверку требований и провести уточнение ссылок на действующую в настоящее время НТД, весьма вероятно необходимость внесения изменений в конструкцию и технологию изготовления ряда деталей в связи использованием нового оборудования и применением прогрессивных технологий. Не исключена и замена некоторых ранее применяемых материалов в связи с прекращением их производства. Приступив к подготовке воспроизводства двигателей, конструкторы и технологи найдут ещё немало веских причин для внесения изменений в документацию.

Перерыв в изготовлении двигателей оказывает воздействие не только на КД и ТД, но и на качество изготовления продукции. За прошедшие 40 лет обновился кадровый состав работников, пришедшие на смену высококвалифицированным ветеранам сегодняшние рабочие не имеют опыта и навыков изготовления двигателей НК-33. Это понимают специалисты ОАО "Кузнецов" и в августе 2013 г. были проведены трёхкратные испытания двигателя НК-33, собранного с рядом вновь изготовленных элементов конструкции. Испытания суммарной длительностью 616 с прошли без замечаний.

Начатые в ОАО "Кузнецов" работы по восстановлению производства двигателей на базе НК-33 положительно закрывают вопрос обеспечения перспективных планов эксплуатации РН "Антарес". Формально это давало возможность компании ОСК не заниматься поиском эквивалентного двигателя для замены AJ26-62. Но эти поиски были начаты задолго до принятия решения о восстановлении производства двигателей НК-33 в России и фактически стали одним из основных направлений в обеспечении перспектив эксплуатации РН "Антарес".

Сохраняющаяся длительное время неопределённость с восстановлением производства двигателей в России заставила руководство компании ОСК искать резервный вариант - эквивалентную замену двигателю первой ступени. Вице-президент компании ОСК, директор программы "Антарес" Ф. Колбертсон так охарактеризовал позицию компании: *"Как только старые русские двигатели закончатся, ОСК планирует найти им замену, что позволит продолжить полёты РН "Антарес". Мы рассматриваем предложения всех компаний, у которых есть двигатели, доступные и совместимые с нашей ракетой, с учётом того, сколько времени займёт разработка или заказ двигателей. Таким образом, мы проводим очень эффективный поиск. Эта работа включает в себя переговоры со всеми, кто делает двигатели. Мы знаем, что через некоторое время после 2016 г. нам придётся рассмотреть и другие альтернативы"*.



НК-33 перед отправкой заказчиком

А искать замену долго и далеко не требовалось. Для замены наиболее пригодным во всех отношениях был всё тот же двигатель РД 180. (Поразительно, прошло без малого 20 лет, а эти двигатели вновь стали конкурентами). Двигатели работают на одинаковом топливе, вместо двух однокамерных двигателей требуется установить один двухкамерный, причём имеющий большую тягу. Схема его приобретения в России и доставки в США хорошо отлажена. Но именно последнее "удобство" оказалось острым подводным камнем. На пути движения двигателя РД 180 от его производителя - НПО Энергомаш, до конечного потребителя - компании "Локхид Мартин" имеется два "перевалочных пункта". Первый - уже упоминавшееся совместное предприятие НПО Энергомаш и Пратт-Уитни - СП "РД АМРОСС", осуществляющее первичную закупку и транспортировку двигателей в США. Второй - совместное предприятие американских компаний Боинг и Локхид Мартин - United Launch Alliance ("Объединённый пусковой альянс", используемая далее аббревиатура - ЮЛА), занимается перекупкой двигателей и обеспечением их эксплуатации в составе РН "Атлас-5". Попытка компании ОСК заключить контракт на приобретение двигателей РД 180 не увенчалась успехом. СП "РД АМРОСС", имеющее исключительное право на маркетинг и продажу двигателей РД 180 во всём мире, исключая использование двигателей в российских государственных космических программах, отказалось заключать контракт с ОСК, ссылаясь на эксклюзивное соглашение с ЮЛА о поставках двигателей РД 180 в США только для их использования в составе РН "Атлас-5".

Отказ получить доступ к российским двигателям РД 180 компания ОСК расценила как нарушение американского антимонопольного законодательства и в июне 2013 г. подала жалобу в Федеральную торговую комиссию США на СП ЮЛА, которое фактически монополизировало приобретение импортного товара. Арбитражная комиссия приняла решение в пользу ОСК, но СП ЮЛА с ним не согласилось и подало апелляцию во вторую инстанцию. Сведений о результатах рассмотрения теперь уже обращения СП ЮЛА не имеется. Последующие события отвлекли внимание от юридической тяжбы между двумя американскими компаниями, тем более что дополнительных заказов на изготовление двигателей в НПО Энергомаш не последовало.

Потерпев неудачу в попытке использовать двигатель РД 180, компания ОСК не отказалась от поиска альтернативного двигателя. И, видимо, устав от неопределённости в обстановке отсутствия конкретных, документально подтверждённых решений, руководство ОСК сделало заявление в ультимативном тоне: *"Если в течение двух месяцев Объединённая двигателестроительная корпорация не примет решение о возобновлении экспорта в США двигателей НК-33, компания ОСК не будет больше рассчитывать на этот двигатель и начнёт рассматривать альтернативные варианты"*.

В поисках альтернативного двигателя компания ОСК обратилась по уже известному ей адресу - в НПО Энергомаш. При посещении осенью 2013 года делегация компании ОСК предложила рассмотреть возможность разработать двигатель взамен используемого в РН "Антарес" АЖ26-62. Согласие НПО Энергомаш было получено и для идентификации предмета дальнейшего обсуждения было предложено его рабочее обозначение - РД 181. Предполагается, что этот двигатель в однокамерном исполнении будет дальнейшим продолжением конструкторского ряда РД 171М - РД 180 - РД 181. Ранее разработанный в НПО Энергомаш однокамерный двигатель РД 191 предназначается для внутрироссийского потребления - для семейства РН "Ангара" и для его установки и эксплуатации в составе РН "Антарес" потребуются конструкторские изменения, что, собственно, и вызывает необходимость разработки близкого по конструкции двигателя с другим обозначением. Принципиальное согласие разработать двигатель с новым обозначением - не скуден ли итог встречи российского и американского предприятий? Дело в том, что без специального правительственного разрешения НПО Энергомаш не имело права обсуждать конкретные технические вопросы и характеристики двигателя. Для продолжения взаимоотношений с

компанией ОСК с российской стороны подключилась корпорация Рособоронэкспорт, которая получила такое разрешение. В инициативном порядке НПО Энергомаш выпустило технико-экономические предложения на разработку двигателя РД 181, из которых ряд технических характеристик: конфигурация гидравлических и силовых стыков двигателя со ступенью, источники надува топливных баков, скорость набора тяги при запуске, пределы регулирования режима работы двигателя и ряд других - корпорация Рособоронэкспорт с разрешения российских органов, контролирующих научно-технический экспорт, передала компании ОСК. Использование двигателя РД 181 в РН "Антарес" взамен двигателя АЖ26-62 имеет ряд преимуществ: минимальная подготовка производства позволяет приступить к его изготовлению и стендовому тестированию практически сразу же после заключения контракта, не ожидая реконструкции, технического перевооружения и основательной подготовки производства в случае продолжения использования двигателя типа НК-33. Преемственность конструкции основных агрегатов и элементов двигателя РД 181 с их прототипами в двигателях РД 171М и РД 180, изготовление всех этих двигателей на одной производственной базе теми же рабочими кадрами обеспечит ту же высокую надёжность, которую имеют указанные двигатели. Для организации доставки двигателей РД 181 в США, или в Днепропетровск, где изготавливается первая ступень РН "Антарес", может быть использован опыт доставки двигателей РД 180 (в США) или РД 171М (в Днепропетровск).

Вероятность ориентации компании ОСК на двигатель РД 181 усилилась после стеновой аварии двигателя АЖ 26-62, произошедшей в Космическом центре им. Стенниса 22 мая 2014 г. Причины и технические подробности этой аварии в печати не опубликованы, авария квалифицируется как взрыв двигателя с разрушением стендового оборудования. Связаны ли причины аварии с "возрастом" двигателя, не известно, но этот вопрос для компании ОСК является постоянно действующим фактором и произошедшая авария усиливает беспокойство о ближайшей перспективе эксплуатации РН "Антарес".

На этой волне в начале июня 2014 г. делегация компании ОСК в сопровождении представителей Рособоронэкспорта посетила НПО Энергомаш и подтвердила свою заинтересованность в поставках двигателей РД 181. По имеющимся сведениям компания ОСК во второй половине июля 2014 г. определилась с выбором двигателя для дальнейшей эксплуатации РН "Антарес". Выбран двигатель РД 181. Казалось бы, теперь дело только за заключением контракта на проведение подготовительных работ, изготовление и поставку двигателей в США. Но это - лишь заключительный акт, подводящий итог длительному и многотрудному процессу оформления документов, предшествующих подписанию контракта. И первыми из этих документов являющиеся решения вышших государственных органов: Государственного департамента США, разрешающего компании ОСК закупать и использовать в составе РН "Антарес" российские ракетные двигатели и Правительства РФ, разрешающего ОАО "НПО Энергомаш" вести изготовление и поставку в США ракетных двигателей РД 181. Такие решения являются фундаментальной основой для крупных международных проектов и, как правило, их выпуск определяется не только экономической стороной, но, главным образом, политическими взаимоотношениями между государствами, компании которых участвуют в проекте.

В настоящее время получение требуемых для дальнейшего развития работ разрешений от государственных структур США и РФ следует оценивать как весьма проблематичное. Напомним, что контракт на поставку в США двигателя РД 180 с момента его заключения подвергается критике, как в США, так и в РФ. Эта критика имеет экономические и политические аспекты и основывается на разногласиях между США и РФ по современному устареванию.

В течение многих лет после развала СССР новая Россия не рассматривалась ведущими мировыми державами, в первую очередь их политическим лидером США, конкурентом в международ-

ных делах. Лишь унаследованное от СССР "право вето" в Совете Безопасности ООН напоминало о былом могуществе и вынуждало обращать внимание на Россию как постоянного члена Совбеза. Однако международные события последних лет, начиная с военного конфликта с Грузией в августе 2008 г. и последующего образования самостоятельных Южной Осетии и Абхазии показали, что Россия "встала с колен" и превратилась в одну из значимых политических сил в мире. Её активная политическая позиция в отношении событий в Ираке, Ливии и особенно в Сирии, а также "дело Сноудена" вызвали недовольствие и поток негативной риторики в политических и правительственных кругах США в адрес России. Дальше - больше. Ненасильственное возвращение Крыма в марте 2014 г. в состав РФ и последующие события на Украине привели к обострению политических отношений США и Евросоюза с Россией. США объявили о принятии санкций к России, к ним присоединилось ещё несколько государств, не остался в стороне и Евросоюз, главы ведущих государств которого безропотно плывут в кильватере политики США. Первый тур санкций носил политический характер, последующие санкции распространяются и на финансово-экономическую сферу. Но объявленные США санкции не касаются совместных работ и проектов в области космонавтики, в которых заинтересована американская сторона. Не распространяются санкции, по крайней мере, по состоянию на начало августа 2014 г., и на коммерческие проекты, в частности на закупку американцами двигателей РД 180. Однако не охваченная санкциями сфера взаимоотношений РФ и США не осталась без внимания, нашлись другие силы, проявившие свою контрпродуктивную деятельность. И не только в США. Российская сторона тоже внесла свой вклад в создание напряжения в области поставок и использования космической техники. Казалось бы, Россия должна гордиться, что мировой научно-технический лидер - США покупает российскую наукоёмкую продукцию и использует её для осуществления государственных программ. Конечно, поступающая от этого контракта валюта не соизмерима с финансовыми потоками от продажи российской нефти и газа, но производство двигателей и их продажа в США позволяют поддерживать рабочие места и высокие технологии в российской ракетно-космической отрасли. В то же время в течение всех 15 лет товарного производства и поставок двигателей РД 180 возникали инспирированные чиновниками различных ведомств обстоятельства, приводившие к задержке получения ежегодной лицензии и временному срыву сроков поставки двигателей, дважды продолжение работ по контракту выносилось на решение Президента РФ.

Степень политической напряжённости между РФ и США чётко прослеживается в отношении к экономически выгодному для российских предприятий контракту на поставку двигателей РД 180. Об этом свидетельствуют события последних лет. В ответ на различные обвинения со стороны американских генералов, политиков и президента США в России дважды, в июле 2013 г. и феврале 2014 г., на Совете Безопасности РФ обсуждался вопрос принятия в одностороннем порядке решения о прекращении поставок в США ракетных двигателей - в текущем времени РД 180 и, в перспективе, НК-33. Это, пожалуй, одна из немногих, если не единственная возможность у России создать для США некоторые затруднения в осуществлении перспективных планов пусков КА по государственным космическим программам. Одним из поводов для обсуждения прекращения поставок РД 180 стало использование РН "Атлас-5" с двигателями РД 180 для запуска КА по программам ВВС США. Однако возражать против таких пусков у России нет оснований, т.к. в правительственном Распоряжении от 25.03.96 г. дано согласие на установку двигателей РД 180 в американские ракеты-носители, используемые в интересах коммерческих и правительственных запусков и без каких-либо ограничений. Так какие могут быть возражения? Если есть желание хоть как-то "ущипнуть" США, то нужно придумать другую причину для прекращения поставок двигателей, не противоречащую решению, ранее принятому Правительством РФ. А нужно ли вообще это делать? Ответить на этот вопрос представляется самому читателю, я же приведу своё видение ситуации.

Прекращение поставок двигателей создаст некоторые трудности в выполнении государственных программ пусков КА, но не остановит их проведения. Во-первых, в связи со свёртыванием рынка пусков коммерческих КА в США образовался запас около 20 не использованных двигателей РД 180. Этого количества достаточно для проведения пусков РН "Атлас-5" течение 2-2,5 лет. Во-вторых, для выведения КА в интересах Минобороны США могут быть использованы американские РН "Дельта-4" и "Фалькон". Хотя планы использования этих ракет на ближайшие годы свёртаны, а увеличить их производство в короткие сроки практически невозможно, в экстремальных ситуациях планы могут быть пересмотрены, и пуски КА по государственным программам получат приоритет.

А что же получит Россия от "громкого" заявления о прекращении поставок двигателей? Ничего положительного, все дивиденды имеют знак "минус". Россия лишится не только экономически выгодного для её предприятий контракта, но и потеряет имидж надёжного партнёра в международном сотрудничестве, а такой имидж, как уже отмечалось, дороже и выше всякой прибыли. Есть ещё одно обстоятельство. Много лет назад американцы приняли закон, запрещающий без согласования с США использовать американские приборы и технологии в КА, запускаемых с космодромов, расположенных вне территории США. С начала 90-х годов американцы "закрывали" глаза на многочисленные запуски зарубежных коммерческих КА российскими РН "Союз" и "Протон". В случае прекращения поставок двигателей американцы могли бы "вспомнить" о нарушении их закона и в качестве ответной меры запретить иностранным фирмам запускать КА российскими средствами выведения. В итоге Россия "выпала" бы из рядов международных космических "извозчиков". А это экономические и политические потери.

Вот такой мой поверхностный анализ последствий принятия решения прекратить поставку двигателей РД 180 в США. А как шло обсуждение этого вопроса на заседаниях Совбеза РФ, в подробностях неизвестно, но главное решение известно по факту - поставки двигателей РД 180 в 2014 г. продолжают.

Информация о возможности прекращения поставок ракетных двигателей из России не осталась без внимания в военных и политических кругах США. По этому поводу была развязана политическая кампания под лозунгом избавления американской зависимости от поставок российских двигателей в сфере гарантированного доступа США в космос в интересах национальной безопасности. Идеологи прекращения использования российских двигателей предлагают либо воспроизводить на заводах США двигатели РД 180, либо приступить к разработке собственного двигателя, способного заменить двигатели РД 180 и AJ 26-62. Это направление работ считается более перспективным, для его реализации Комитет по вооружённым силам Палаты представителей Конгресса США в мае 2014 г. одобрил план разработки нового ракетного двигателя. Для реализации этого решения выделены финансовые средства, позволяющие начать работы уже в 2014 г., и планируется дальнейшее выделение \$220 млн на 2015 г. Определены и сроки: начало лётных испытаний - 2019 г., сдача в эксплуатацию - не позднее 2020 г. По прогнозам независимой комиссии советников, курирующих расходы на оборону, разработка нового ракетного двигателя может обойтись США в сумму более \$1,5 млрд. На условиях проведения конкурса на разработку и изготовление ЖРД нового поколения взамен РД 180 СП ЮЛА заключило контракты с несколькими американскими компаниями.

Наконец-то время излагаемых событий совпало с текущим календарным временем. А это означает, что появилась возможность естественным путём завершить цикл статей и поставить точку. Однако оказалось не так-то просто в одночасье отказаться от ставшего привычным сбора материалов по истории ракетно-космической технике и последующего их изложения на страницах журнала. Поэтому сделаю ещё одну, на этот раз уже точно последнюю зацепочку перед тем, как окончательно поставить точку.

В одной из литературных форм - эпистолярном жанре - у ав-

тора существует возможность и после поставленной точки продолжить изложение своих мыслей. Этот литературный приём имеет своё литературное обозначение P.S. - постскриптум. Воспользуемся им.

P.S. По первоначальному замыслу планировалось написать под общим заголовком 2-3 журнальные статьи, в которых на документальной основе (правительственные Постановления, приказы министра, протоколы заседаний СГК, переписка главных конструкторов) изложить, почему и как случилось, что ОКБ под руководством В.П. Глушко не участвовало в престижнейшем ракетно-космическом проекте того времени - не разрабатывало двигатели для РН Н1 и к чему это привело. Однако в процессе изучения архивных документов и их сопоставления с мемуарной литературой, выявились серьёзные разночтения в изложении фактов, их трактовки и последовательности свершения ряда интересующих меня событий. Искажение исторических фактов в газетных и журнальных статьях и даже в книгах известных и авторитетных ветеранов ракетно-космической отрасли стало для меня откровением и послужило мотивацией для более широкого и углублённого исследования истории разработки РН Н1 по архивным документам, что и привело к расширению темы первоначального замысла. Действенным стимулом для продолжения публикаций стала поддержка редакции журнала "Двигатель", а также отзывы ветеранов ракетно-космической отрасли на первые публикации.

Растянувшийся на три года цикл статей под общим заголовком "Проблематичное начало и драматический конец разработки ракеты-носителя Н1" позволил в процессе его публикаций получать отклики читателей. За 55 лет работы в ракетной отрасли, из них с 1978 г. по 1991 г. в должности заместителя главного конструктора КБЭМ, а с 1991 г. по 1999 г. - заместителя генерального конструктора НПО Энергомаш по серийному производству ЖРД, у меня сложились доброжелательные отношения со многими работниками смежных предприятий, НИИ, МОМ и МО. В настоящее время, встречаясь со мной, а это происходит главным образом на различных чтениях, научно-технических конференциях, юбилейных и, к великому сожалению, на траурных мероприятиях, они положительно отзываются о моём изложении исторических событий и высказывают пожелания продолжить исследования в области истории отечественной ракетной техники. В редакцию журнала "Двигатель" также поступают положительные

отзывы на публикацию цикла статей. Я понимаю, что имеются и не согласные с моими выводами и трактовкой произошедших событий, но о таких критических отзывах мне не известно.

Доброжелательные отзывы сопровождаются советами обобщить статьи и опубликовать книгу. Такое желание периодически возникало и у меня, особенно в те моменты, когда при сборе материалов для очередной статьи в мои руки попадали ранее не известные мне архивные документы или цитирование их фрагментов в мемуарной литературе о событиях, уже мною изложенных в ранее опубликованных статьях.

Книга, написанная на базе цикла статей, с некоторым изменением последовательности их публикаций в журнале и включением дополнительно собранных исторически достоверных материалов, стала бы завершением добровольно взятого на себя обязательства изложить хотя бы фрагментарно историю создания РН Н1 с точки зрения непредвзятого исследователя. Удастся или нет выпустить такую книгу, зависит от ряда причин, одной из основных является изыскание источника финансирования её издания. И, если издать книгу не представится возможным, то и в этом случае материалы исследований сохранятся в публикациях журнала "Двигатель".

В заключение считаю обязательным выразить искреннюю благодарность всем, кто способствовал написанию цикла статей: работникам архива НПО Энергомаш, своим друзьям и коллегам, оказавшим помощь в сборе мемуарной литературы, ветеранам, поделившимся своими личными воспоминаниями об участии в создании РН Н1 и ряду читателей журнала, своими положительными оценками мотивирующими меня на продолжение публикаций. Отдельная благодарность редакции журнала "Двигатель", которая взяла на себя нелёгкий труд подбора иллюстраций и терпимо относилась к предлагаемому размеру журнальной статьи. **П**

Дорогая редакция журнала "Двигатель"! Примите уверения в совершеннейшем к Вам почтении. Наконец-то я с лёгким сердцем говорю "До свидания". Я понимаю, что Вы с облегчением восприняли окончание моего излишне затянувшегося фонтана словоизлияния. Прошу простить и строго не судить, а если и осудите, то строго не наказывать.

Подпись автора не разборчива.



А завтра новые старты, новые ракеты, новые двигатели...

КАТОРГИНУ БОРИСУ ИВАНОВИЧУ 80 ЛЕТ!

Борис Иванович Каторгин родился 13 октября 1934 г. в Солнечногорске Московской области в семье потомственного крестьянина Тамбовской губернии. Отец после службы в армии работал на Высших стрелково-тактических курсах "Выстрел" в качестве вольнонаемного. После окончания школы в 1952 г. Борис поступил в МВТУ имени Н.Э. Баумана, а в 1958 году, получив красный диплом, пришел на работу в НПО Энергомаш (Химки). Именно здесь он прошел путь от инженера-конструктора до генерального директора и генерального конструктора, академика РАН. Он начал работу в отделе, проектировавшем камеры сгорания и газогенераторы, а затем был отобран для работы в отделе перспективных разработок, где через некоторое время стал руководителем конструкторской бригады, зам. начальника отдела. С декабря 1985 г. он возглавил работы на предприятии по непрерывным химическим лазерам, став зам. главного конструктора.

Б.И. Каторгин активно занимался научными исследованиями, в результате чего ему в 1968 г. присвоена степень кандидата технических наук, в 1973 г. - звание доцента по кафедре "Энергетические машины и установки", в 1983 г. - ученая степень доктора технических наук, в 1993 г. - ученое звание профессора по кафедре теории специальных двигателей и энергетических установок летательных аппаратов. В 2000 г. Каторгин был избран членом-корреспондентом РАН по Отделению физико-технических проблем энергетики, а в 2003 г. - академиком РАН.

В 1989-1991 гг. Борис Иванович был депутатом 1-го Съезда народных депутатов, председателем комиссии по гражданству при президенте.



Б.И. Каторгин - известный всему миру ученый, у него более 320 научных трудов, среди них более 180 изобретений. Эти работы в основном связаны с разработкой жидкостных ракетных двигателей, непрерывных химических лазеров, отдельных вопросов энергетики.

В 1991 г. Каторгин стал руководителем НПО Энергомаш и внес большой вклад в дело сохранения предприятия в сложнейших экономических условиях 90-х годов. Именно под его руководством удалось установить международные контакты с ведущими компаниями мира, что привело к работам по программе разработки и серийных поставок ЖРД РД-180 для семейства американских РН "Атлас". Под его руководством началась разработка ЖРД РД-191 для семейства российских РН "Ангара". Б.И. Каторгин был генеральным директором и генеральным конструктором НПО Энергомаш до 2005 г., генеральным конструктором - до 2008 г. и продолжал работать в НПО Энергомаш до 2010 г.

За свой плодотворный труд Б.И. Каторгин удостоен званий лауреата Государственной премии РФ и двух премий Правительства РФ, премии им. Ф.А. Цандера (РАН), международной премии "Глобальная энергия", он награжден орденами "Знак Почета", "За заслуги перед Отечеством" III степени, "Ярослав Мудрый" V ст. (Украина), многочисленными ведомственными медалями и знаками. Б.И. Каторгин - Заслуженный деятель науки РФ, Почетный доктор Российского научного центра "Прикладная химия", Самарского государственного аэрокосмического университета им. С.П. Королева, Московского авиационно-технологического университета. Он почетный гражданин Московской области, почетный гражданин города Химки, мастер спорта по борьбе самбо, член Попечительского совета Российской Федерации "Самбо".

В настоящее время Борис Иванович продолжает активно работать в структурах Российской Академии наук, он также является руководителем Научно-образовательного центра "Энергофизические системы" Московского авиационного института, зав. кафедрой МАИ. **П**

Редакция журнала "Двигатель" с большим удовольствием присоединяется к поздравлениям Борису Ивановичу Каторгину в связи с его восьмидесятилетием.

АВТОЭКВИДИСТАНТАЛЬНОЕ РОТОРНО-ПОРШНЕВОЕ УСТРОЙСТВО К ВОЗМОЖНОСТИ ПОСТРОЕНИЯ

Александр Фроимович Равич, к. ф.-м. н.,
Сергей Николаевич Богданов, профессор, д. т. н., Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет, (МАДИ)

Предложена альтернатива известному роторно-поршневому двигателю Ванкеля. Приведены результаты анализа кинематики и динамики предлагаемого устройства.

Proposed alternative to the known rotary-piston engine of the Wankel. The results of the analysis of the kinematics and dynamics of the proposed device.

Ключевые слова: роторно-поршневое устройство, эквидистанта, автоэквидистанта, кинематика, динамика.
Keywords: rotary-piston device, equidistant, autoequidistant, kinematics, dynamics

Предлагается альтернатива известному [1, стр. 253-259] циклоидальному роторно-поршневому устройству двигателя Ванкеля. Стратегически важными для конкурентоспособности этого двигателя считаются проблемы неблагоприятной динамики и недостаточной надёжности взаимодействия радиальных пластин уплотнения с радиальной рабочей поверхностью статора [1,2], приводящие к необходимости применения специальных износостойких материалов и ограничению максимально возможного рабочего давления, и, как следствие, номинальной мощности двигателя. До настоящего времени данные проблемы не имеют удовлетворительного решения.

Предлагаемое [6] автоэквидистантальное (далее АЭД) роторно-поршневое устройство (далее РПУ) представляет собой плоский механизм, включающий корпус-статор, поршень-ротор, механизм герметизирующего уплотнения между статором и ротором и механизм позиционирования ротора относительно статора.

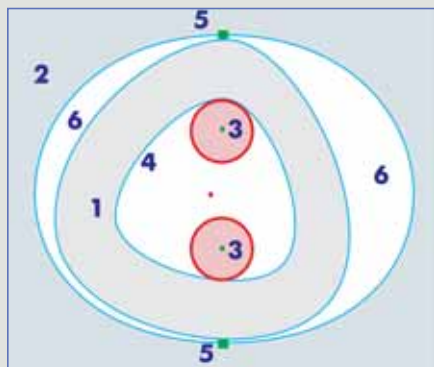


Рис.1. Принципиальная схема автоэквидистантального РПУ.

ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВА

Ротор (1), статор (2) и механизм герметизирующего уплотнения (5) обеспечивают кинематический синтез двух замкнутых рабочих полостей (6) с синхронно циклически непрерывно монотонно изменяемыми рабочими объемами при постоянном суммарном объеме, при этом:

равно монотонно изменяемыми рабочими объемами при постоянном суммарном объеме, при этом:

- рабочие полости ограничены внутренней рабочей поверхностью статора и радиальной внешней рабочей поверхностью ротора;
- рабочая поверхность статора включает радиальную поверхность и две торцовые плоские поверхности, параллельные плоскости движения ротора;
- рабочие контуры ротора в любом сечении радиальной поверхности плоскостью движения являются автоэквидистантами, т.е. эквидистантными [3] самим себе плоскими кривыми,
- радиальная рабочая поверхность статора является кинематической огибающей рабочей поверхности ротора.

Механизм позиционирования (3,4) ротора относительно статора включает несущий обод ротора с опорными дорожками и

опорные катки, свободно вращающиеся на неподвижных осях. Опорные дорожки (4) располагаются на внутренней поверхности обода, рабочие контуры опорных дорожек в любом сечении плоскостью движения эквидистантны вовнутрь рабочей контуру ротора в этой же плоскости. Опорные катки (3) устанавливаются попарно в распор изнутри обода ротора касательно сопряжённо опорным дорожкам; неподвижные оси вращения катков располагаются в диаметральной плоскости, проходящей через центральную ось устройства перпендикулярно плоскости движения. Позиционирование ротора относительно статора в процессе движения осуществляется путём обкатывания опорных катков опорными дорожками несущего обода, при этом радиусы окружностей рабочих контуров опорных катков должны быть меньше наименьшего радиуса кривизны сопряжённого рабочего контура опорной дорожки.

Механизм герметизирующего уплотнения между рабочими поверхностями ротора и статора включает радиальные и торцовые пластины уплотнения, устанавливаемые в пазах на рабочих поверхностях ротора и статора; радиальные пластины уплотнения (5) располагаются на статоре перпендикулярно плоскости движения ротора, вокруг диаметральной плоскости, проходящей через ось парных опорных катков; торцовые пластины уплотнения располагаются на торцовых плоскостях ротора эквидистантно периметрам радиальной рабочей поверхности ротора.

Способы геометрического синтеза рабочих контуров ротора предлагаемого автоэквидистантального роторно-поршневого устройства (далее АЭДРПУ) приведены ниже в разделе АВТОЭКВИДИСТАНТЫ. Автоэквидистанта - это плоская простая замкнутая регулярная выпуклая кривая, эквидистантная ([3], стр. 53) самой себе.

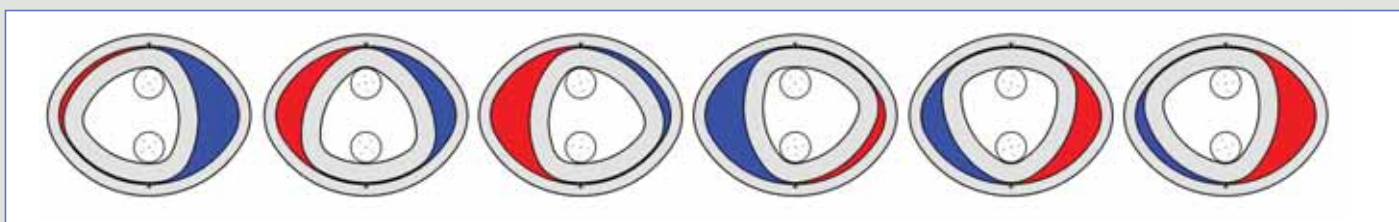
Преимущества предлагаемого устройства:

- 1) исключение избыточных контактных давлений и обеспечение надёжности радиальных пластин герметизирующего уплотнения между рабочими поверхностями статора и ротора;
- 2) большой крутящий момент ротора.

Условия, при которых достигаются эти преимущества, определены ниже.

Отметим, что здесь не рассматриваются возможные и оптимальные варианты (которых много) механизмов уравнивания, отбора мощности и систем газообмена, необходимых для превращения данного устройства в двигатель. Предполагается, что это - тема для отдельной статьи.

Циклограмма с $k=3$



**АВТОЭКВИДИСТАНТЫ.
ПРАВИЛЬНЫЕ АВТОЭКВИДИСТАНТЫ.
ПРАВИЛЬНЫЕ АВТОЭКВИДИСТАНТЫ С НЕПРЕРЫВНОЙ
КРИВИЗНОЙ.
ПРАВИЛЬНЫЕ ПОЛИОКРУЖНОСТИ**

Выбор формы автоэквилистанты в качестве рабочего контура предлагаемого устройства обусловлен определёнными требованиями, предъявляемыми к кинематике и динамике ротора. Необходимый выбор обеспечивают правильные автоэквилистанты.

Синтез правильных автоэквилистант осуществляют путём эвольвентной развёртки заданной эволюты с определёнными ниже свойствами. Возможные варианты, представляющие практический интерес, - правильные автоэквилистанты с непрерывной кривизной и правильные полиокружности.

3) Эволюта правильной автоэквилистанты с непрерывной кривизной имеет вид правильной звезды с нечетным числом вершин, в которой каждая вершина соединена с двумя смежными противоположащими вершинами, при этом форма соединяющих дуг (ветвей) обусловлена тремя факторами:

- вогнутость к геометрическому центру,
- соприкосновение в точке схождения (точка возврата эволюты),
- конгруэнтная инвариантность звезды при любой (в прямом и обратном порядке) последовательной перенумерации вершин.

Эвольвентную развёртку производят, последовательно "обкатывая" ветви эволюты прямым отрезком с длиной D , большей длины ветви d ; при этом средняя точка отрезка в процессе "обкатки" должна пройти через срединную точку ветви.

На рис.2 показан первый шаг построения треугольной "гипоциклоидной" автоэквилистанты; исходная эволюта - гипоциклоида ([3], стр. 81-83) с отношением производящих радиусов $R/r = 3/1$; $D = r + R = r + d + r$, $r > 0$; 1, 2 - результат эвольвентной развёртки ветви гипоциклоиды; на рис. 3 показан конечный результат.

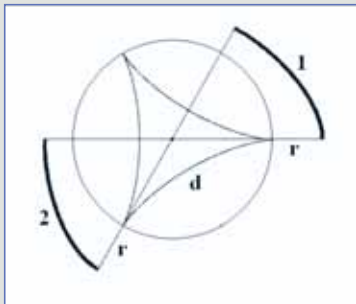


Рис. 2.

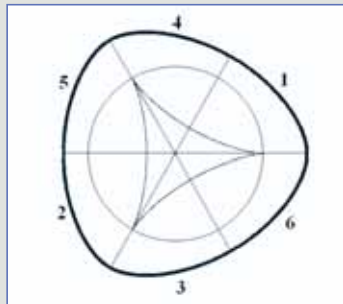


Рис. 3.

Синтез треугольной "гипоциклоидной" автоэквилистанты.

4) Правильная полиокружность является правильной автоэквилистантой с "вырожденной" эволютой, представленной совокупностью изолированных центров кривизны, расположенных в вершинах правильного многоугольника с нечётным числом сторон. Синтез правильной полиокружности аналогичен вышеописанному синтезу правильной автоэквилистанты с непрерывной функцией кривизны. Результирующая полиокружность представляет собой последовательность чётного числа сопряжённых дуг окружностей с производящими радиусами r (малый радиус) и R (большой радиус); причём, в этой последовательности радиусы сопряжённых составляющих чередуются (r, R, r, R, \dots).

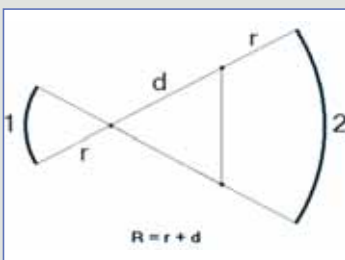


Рис. 4.

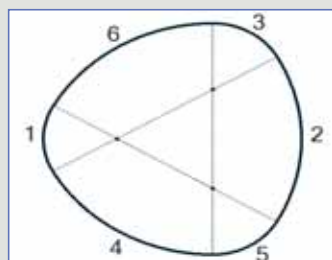


Рис. 5.

Синтез треугольной полиокружности (обозначения аналогичны обозначениям на рис.2, 3).

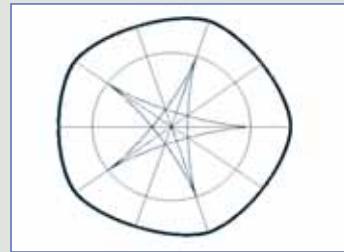


Рис. 6.

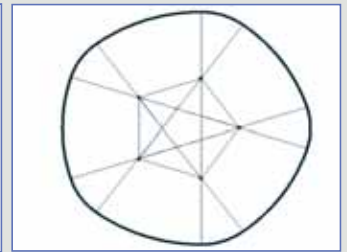


Рис. 7.

Синтез пятиугольных автоэквилистант гипоциклоидной автоэквилистанты (рис. 6) и полиокружности (рис. 7).

АНАЛИЗ КИНЕМАТИКИ И ДИНАМИКИ АВТОЭКВИДИСТАНТАЛЬНОГО РОТОРНО-ПОРШНЕВОГО УСТРОЙСТВА.

Ниже приведены основные расчётные характеристики устройства:

- функция мгновенного центра вращения ротора,
- функция рабочего объёма,
- число рабочих тактов за один оборот ротора,
- функция крутящего момента.

Данные характеристики рассчитаны для устройств с цилиндрической радиальной рабочей поверхностью ротора и с рабочими контурами - правильными полиокружностями.

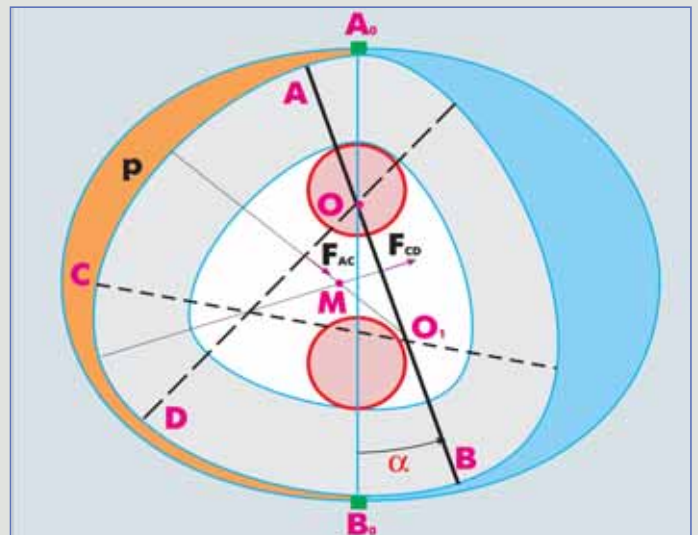


Рис. 8. Анализ кинематики и динамики автоэквилистантного РПУ с деталями расчёта.

1) Поведение мгновенного центра вращения.

На схеме (рис. 8) видно, что мгновенный центр вращения O , совпадающий в данный момент с одним из центров кривизны правильной полиокружности, неподвижен в течение такта изменения рабочего объёма и находится на диаметральной линии A_0B_0 , соединяющей точки контакта ротора с радиальными пластинами уплотнения, на расстоянии производящего радиуса r от одной из этих точек контакта (в данном случае от точки A_0). Полный такт осуществляется при изменении угла поворота ротора от 0 до π/k (здесь и далее k - число "углов" полиокружности). При этом, объёмы двух рабочих полостей непрерывно монотонно изменяются синхронно в противофазе: один - возрастая от V_{min} до V_{max} , другой - убывая от V_{max} до V_{min} , где V_{min} , V_{max} - соответственно, минимальный, максимальный рабочие объёмы. В следующем такте характер изменения рабочих объёмов меняется на противоположный.

В момент завершения такта мгновенный центр вращения ротора "скачком" перемещается в противоположную позицию (в данном случае на диаметральной линии A_0B_0 , на расстоянии r от точки B_0).

Такое скачкообразное изменение положения мгновенной оси вращения ротора характерно для предлагаемых устройств, в которых рабочие контуры ротора являются правильными полиокружностями; в устройствах с непрерывной кривизной рабочих

контуров ротора мгновенная ось вращения ротора перемещается непрерывно между двумя противоположными позициями на диаметральной линии, соединяющей точки контакта ротора с радиальными пластинами уплотнения.



Циклограмма с $k=5$

2) Рабочие объёмы.

Из схемы на рис. 8 видно, что приращение площади рабочей контура рабочей полости между точками контакта ротора с радиальными пластинами уплотнения при повороте ротора на угол равно разности площадей секторов B_0OB и A_0OA . Отсюда следует:

$$V_+ = H \cdot (R^2 - r^2) \cdot \alpha / 2, \quad V_- = H \cdot (R^2 - r^2) \cdot (\pi/k - \alpha) / 2, \text{ где}$$

V_+, V_- - соответственно, возрастающая, убывающая функции рабочего объёма при изменении α от 0 до π/k ,

H - ширина рабочего пространства (между замыкающими торцовыми плоскостями);

Таким образом, рабочие объёмы изменяются пропорционально углу поворота ротора;

$$b) V_{\max} = V_{\min} + H \cdot (R^2 - r^2) \cdot \pi / (2 \cdot k).$$

3) Число тактов за полный оборот ротора,

определяется угловой длиной π/k одного такта и числом 2 рабочих полостей: $j = 4 \cdot k$

Для $k=3, j=12$, также как в двигателе Ванкеля с треугольным ротором.

4) Крутящий момент.

Из схемы на рис. 8 очевидно, что величина M крутящего момента ротора относительно центра вращения O равна сумме двух величин M_{AC} и M_{CD} крутящих моментов, порождаемых силами, соответственно F_{AC} и F_{CD} . Обозначенные силы resultируют действие давления p рабочего тела на соответствующие участки рабочей цилиндрической поверхности ротора, ограниченные образующими в точках A, C, D .

Линия действия силы F_{AC} проходит по биссектрисе угла AO_1C , $|F_{AC}| = p \cdot H \cdot |AC| = p \cdot H \cdot R \cdot \pi / 3$,

"плечо" F_{AC} относительно O равно

$$OO_2 / 2 = (R - r) / 2 \Rightarrow MAC = p \cdot H \cdot (R - r) \cdot R \cdot \pi / 6.$$

Аналогично, линия действия силы F_{CD} проходит по биссектрисе угла CO_2D ,

$|F_{CD}| = p \cdot H \cdot |CD| = p \cdot H \cdot r \cdot \pi / 3$, "плечо" F_{CD} относительно O равно:

$$OO_1 / 2 = (R - r) / 2 \Rightarrow M_{CD} = p \cdot H \cdot (R - r) \cdot r \cdot \pi / 6.$$

Для полноты картины следует отметить, что $M_{AA_0} = M_{DB_0} = 0$, т.к. линии действия соответствующих resultирующих сил F_{AA_0} и F_{DB_0} проходят через центр вращения O .

Из предыдущего следует

$$M = M_{AC} + M_{CD} = p \cdot H \cdot (R^2 - r^2) \cdot \pi / 6 = p \cdot (V_{\max} - V_{\min}).$$

Полученный результат действителен для всех $k = 3, 5, 7 \dots$

СРАВНЕНИЕ КРУТЯЩИХ МОМЕНТОВ АЭДРПУ И ПРОТОТИПОВ

Далее представлены результаты сравнительного анализа величины крутящего момента (к.м.) исследуемого устройства, обычного поршневого двигателя внутреннего сгорания (ПДВС) с кривошипно-шатунным механизмом (КШМ) отбора мощности и двигателя Ванкеля. При этом предполагается идентичность исходных условий генерации рабочего тела и, в частности, рабочих объёмов $V = V_{\max} - V_{\min}$ и динамики давлений p .

1) Для ПДВС $V = \pi \cdot R^2 \cdot S$, к.м. $M_{\Pi} = p \cdot \pi \cdot R^2 \cdot r_k \cdot \sin(\alpha + \beta) / \cos \beta$ [4, 5] где

R_{Π} - рабочий радиус поршня, r_k - радиус кривошипа КШМ, S - ход поршня,

p - рабочее давление,

α, β - углы между линией хода поршня и, соответственно, кривошипом, шатуном.

Из выражений V и $S = 2 \cdot r_k$ следует $M_{\Pi} = p \cdot V \cdot (1/2) \cdot \sin(\alpha + \beta) / \cos \beta$

Найдём $\max M_{\Pi} = p \cdot V \cdot (1/2) \cdot \max \sigma$, где $\sigma = \sin(\alpha + \beta) / \cos \beta$.

$\max \sigma$ достигается, когда $\alpha + \beta = \pi / 2$; тогда $(L_{\text{ш}} - \text{длина шатуна})$

$\sin(\alpha + \beta) = 1, \cos \beta = \sin(\alpha - L_{\text{ш}} / \sqrt{L_{\text{ш}}^2 + r_k^2})$, откуда следует

$$\max \sigma = \sqrt{(L_{\text{ш}}^2 + r_k^2) / L_{\text{ш}}^2} = \sqrt{1 + (r_k / L_{\text{ш}})^2}$$

$$\max M_{\Pi} = p \cdot V \cdot (1/2) \cdot \sqrt{1 + (r_k / L_{\text{ш}})^2} = p \cdot V \cdot (1/2) \cdot \sqrt{1 + (1 + \lambda^2)}, \text{ где}$$

$$\lambda = r_k / L_{\text{ш}}.$$

В современных ПДВС величина λ варьируется в пределах 0.23...0.3 [4, 5],

соответственно, $\max M_{\Pi} \cong p \cdot V \cdot 0.51454 \dots p \cdot V \cdot 0.52$.

Из вышеизложенного следует $M / M_{\Pi} > 1.923 \dots 1.9434$.

Таким образом, крутящий момент АЭДРПУ почти в два раза превосходит крутящий момент обычного ПДВС.

2) Для двигателя Ванкеля с треугольным ротором [1, 2]

$$V = \sqrt{3} \cdot a \cdot R \cdot H = \sqrt{3} \cdot c \cdot R \cdot H,$$

$$\text{к.м. } M_B = p \cdot \sqrt{3} \cdot a \cdot H \cdot r \cdot |\sin 2\phi| = p \cdot \sqrt{3} \cdot c \cdot R \cdot H \cdot r \cdot |\sin 2\phi| =$$

$$= p \cdot \sqrt{3} \cdot V \cdot (r/R) \cdot |\sin 2\phi|, \text{ где}$$

R, r - радиусы, соответственно, обкатывающей, обкатываемой окружностей в процедуре синтеза эпитрохоиды рабочего контура статора (ЭРКС);

c - коэффициент удлинения ЭРКС;

$a = c \cdot R$ - производящий радиус ЭРКС;

H - ширина (по образующей цилиндра) ротора,

ϕ - угол между линией действия resultирующей движущей силы давления рабочего тела и кривошипом эксцентрикового вала.

При этом, т.к. $r/R = 2/3$, то $M_B = p \cdot V \cdot (2/3) \cdot |\sin 2\phi|$,

откуда следует:

$$\max M_B = p \cdot V \cdot (2/3) \text{ и } M / M_B = 1.5.$$

Таким образом, крутящий момент АЭДРПУ в полтора раза превосходит крутящий момент двигателя Ванкеля.

ВЫВОДЫ

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы, имея ввиду обозначенные во введении проблемы двигателя Ванкеля.

1. Для АЭДРПУ проблемы избыточного контактного давления радиальных пластин уплотнения на радиальную рабочую поверхность статора не существует.

2. Конструкция АЭДРПУ допускает возможность использования многорядных радиальных пластин уплотнения, что существенно повышает надёжность герметизации рабочих полостей.

3. Крутящий момент АЭДРПУ существенно больше крутящего момента традиционного поршневого двигателя внутреннего сгорания и двигателя Ванкеля при одинаковых исходных условиях генерации и динамики давлений рабочего тела. **□**

Литература

1. В.П.Алексеев, В.Ф. Воронин и др. Двигатели внутреннего сгорания. Устройство и работа поршневых и комбинированных двигателей. М.: Машиностроение. 1990., стр. 253-260.

2. Бениович В.С., Гостев В.Б., К расчёту кинематики и рабочих объёмов роторпоршневого двигателя. "Тракторы и сельхозмашины". 1961. №11.

3. Шикин Е.В., Франк-Каменецкий М.М., Кривые на плоскости и в пространстве, М., ФАЗИС, 1997.

4. М.Г.Шатров, И.В.Алексеев, С.Н.Богданов и др. Автомобильные двигатели: Курсовое проектирование. М.: Издательский центр "Академия", 2011.

5. А.И.Колчин, В.П.Демидов. Расчёт автомобильных и тракторных двигателей. М.: Высшая школа. 2008.

6. А.Ф.Равич. Автоэксцентрикаторное роторно-поршневое устройство. Патент RU 75 219 U1.

Связь с автором: ravichaf@mail.ru



7-я международная специализированная выставка

Авиа
Космические
Технологии, современные
Оборудование материалы и



Казань

12-15
августа, 2014

12+



Выставочный центр "Казанская ярмарка",
Россия, 420059, г. Казань, Оренбургский тракт, 8
Тел./факс: (843) 570-51-16, 570-51-11, 570-51-23
E-mail: pdv@expokazan.ru, www.aktokazan.ru

СОЦИАЛЬНАЯ ПОДДЕРЖКА СЕМЬИ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ. СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Андрей Сергеевич Иванов, аспирант кафедры Теории и истории социологии МПГУ

Данная статья посвящена положения социально незащищенных семей в постсоветской России. В ней рассматривается нынешнее состояние системы социальной поддержки семей находящихся, по тем или иным причинам, в сложном положении. Основное внимание в статье уделяется вопросам государственной социальной политики и различным способам поддержки нуждающихся семей.

This article focuses on the situation of socially vulnerable families in post-Soviet Russia. It examines the current state of the system of social support for families which are, for whatever reason, in a difficult position. The main attention is paid to issues of state social policy and the various ways to support families in need.

Ключевые слова: социальная поддержка, социальные выплаты, социальная политика, межпоколенные конфликты, семья, государство, экономика.

Keywords: social support, social benefits, social policy, transgenerational conflicts, family, state, economics.

Происходящие в российском общества трансформационные процессы непосредственно затрагивают институт семьи и определяют так называемую демографическую модернизацию (А.Г. Вишневецкий, 2006), для которой характерно, что "все помыслы человека сосредоточены на самореализации, свободе выбора, личном развитии и индивидуальном стиле жизни, эмансипации, и это находит отражение в формировании семьи, установках в отношении регулирования рождений и мотивах родительства" (С. Захаров, 2005). Кризисные явления в семье характерны для большинства стран мира, поэтому необходимо рассматривать это явление в широком смысле, то есть как в зарубежных странах, так и в России. Для описания данного феномена, ученые используют различные термины: кризис, эволюция, модернизация, трансформация. С нашей точки зрения, нужно говорить о плачевном состоянии не только института семьи, но и брака. Поэтому необходимо более тщательно проанализировать ситуацию в области семейного устройства в современных условиях. Изменения, которые претерпело российское общество на прямую коснулись института семьи. Поэтому профилактика межпоколенных конфликтов в семье является важной задачей, на современном этапе развития нашей страны.

Несмотря на то, что юридически последнее приравняется к кровному родству, фактически таковым не является. Поэтому, с позиций конфликта поколений, кровное родство или усыновление (удочерение) может иметь большее значение так как его наличие, либо отсутствие играет важную роль в выборе подходов к разрешению конфликтной ситуации.

Важнейшее место в обеспечении жизнедеятельности семей занимает государственная экономическая и социальная политика, так как именно от нее зависят занятость населения и меры социальной поддержки, а следовательно, благосостояние и доходы семей. В Конституции РФ сказано, что "в Российской Федерации... обеспечивается государственная поддержка семьи, материнства, отцовства и детства... развивается система социальных служб, устанавливаются государственные пенсии, пособия и иные гарантии социальной защиты". Что коррелирует со ст. 23 Международного пакта "О гражданских и политических правах", где говорится, что семья является естественной и основной ячейкой общества и имеет право на защиту со стороны общества и государства [1].

В настоящее время наиболее распространенными стали четыре формы государственной помощи семьям, имеющим детей:

- ♦ денежные выплаты семье на детей и в связи с рождением, содержанием и воспитанием детей (пособия и пенсии);
- ♦ трудовые, налоговые, жилищные, кредитные, медицинские и другие льготы семьям с детьми, родителям и детям;
- ♦ бесплатные выдачи семье и детям (детское питание, лекарства, одежда и обувь, питание беременным женщинам и др.);

- ♦ социальное обслуживание семей (оказание конкретной психологической; юридической, педагогической помощи, консультирование и т.д.).

Все большее число семей России нуждаются в государственной поддержке. Наблюдаемые в последние годы, тенденции к увеличению числа неполных семей, расширению масштабов социального сиротства, преступности, алкоголизма, наркомании грозят стране тяжелыми демографическими и социальными последствиями. В этой связи важнейшими задачами органов социальной защиты являются: реализация установленных законом социальных гарантий гражданам прежде всего в, сфере социального обслуживания и материальной поддержки семей с детьми и др.; адаптация системы социальной защиты к изменяющимся социально-экономическим условиям, включая развитие сети учреждений социального обслуживания, расширение перечня предоставляемых населению социальных услуг, поддержку негосударственных форм социальной помощи, подготовку кадров социальных работников; совершенствование организации социальной защиты на основе формирования законченных социальных технологий, дифференцированного подхода к различным категориям населения и типам семей, адресной социальной помощи, непосредственно связанной с конкретными потребностями получателя; широкое использование активных форм социальной поддержки населения (социальная и психологическая реабилитация и адаптация населения, содействие самореализации и самообеспечению, профессиональной ориентации и т.д.).



Скульптурная композиция "Семья"

Огромное значение в данном вопросе имеет совершенствование соответствующей нормативно-правовой базы. Разработаны и приняты следующие законы: "О государственных пособиях гражданам, имеющим детей" [2], "О порядке назначения и выплаты ежемесячных компенсаций женщинам, имеющим детей в возрасте до трех лет, уволенным в связи с ликвидацией предприятий, учреждений, организации" [3], "О совершенствовании системы государственных социальных пособий и компенсационных выплат семьям, имеющим детей, и повышении их размеров" [4], "О компенсационных выплатах семьям с детьми, обучающимся и другим категориям лиц" [5], "О государственной системе профилактики безнадзорности и правонарушений несовершеннолетних, защите их прав" [6] и др.



Сирота

В целях решения задачи регулирования межпоколенных отношений и адресной социальной поддержке семьи более широкое распространение получил программно-целевой метод. В рамках данного подхода была разработана федеральная программа "Дети России", включающая в себя шесть целевых программ: "Дети-инвалиды", "Дети-сироты", "Дети Чернобыля", "Дети Севера", "Развитие индустрии детского питания", "Планирование семьи", все они, в настоящее время, приняты к исполнению. Многие субъекты Российской Федерации могут похвастаться и своими собственными программами социальной помощи семьям. Так, в Пермском крае имеющие детей малоимущие сельские семьи включаются в следующие целевые программы адресной помощи "От пособия к зарплате" и "Развитие личного подсобного хозяйства", что способствует преодолению бедности и стимулирует их трудовой и имущественный потенциал.

Одной из основных задач семейной политики является обеспечение условий для реализации семьей ее экономической, воспроизводственной, воспитательной и культурно-психологической функций, повышение уровня жизни семей. Это отражается в Концепции демографического развития Российской Федерации на период до 2015 года, одобренной Распоряжением Правительства РФ от 24.09.2001 г. № 1270-р, где говорится о всестороннем укреплении института семьи как формы гармоничной жизнедеятельности личности, закрепляется обязанность государства по оказанию адресной социальной помощи семье и созданию предпосылок для повышения рождаемости. Анализ ряда источников по вопросам семьи показывает, что разные государства устанавливают различные цели семейной политики. Например во Франции, основная цель - повышение рождаемости, в странах Северной Европы основной упор делается на вопросы гендерного равенства, в то время как южноевропейские страны занимают, в основном, поддержкой молодых семей (Г.И. Климантова, 2004). А вот Правительства США и Великобритании вообще не включают социальную защиту семей в сферу своей ответственности. В Китае с 1979 г. проводилась "политика однодетной семьи", с целью ее реализации была разработана система льгот (лучшее обеспечение жилплощадью, бесплатное образование и медицинское обслуживание) для семей имеющих одного ребенка. Такой тип семьи, по мнению правительства КНР, должен был стать нормой для городских жителей, в сельской же местности разрешалось обзаводиться вторым ребенком, однако иметь третьего большинству жителей было запрещено. За нарушение граждане подвергались денежным штрафам, и мерам административного воздействия, а в случае рождение третьего ребенка родителям и вовсе снижали зарплату.

В мае 1996 г. указом президента страны были утверждены "основные направления государственной семейной политики". В этом документе дается определение государственной семейной политики, являющейся составной частью государственной политики и представляющей собой целостную систему принципов, оценок и мер организационного, экономического, правового, научного, информационного и кадрового характера, направленную на улучшение условий и качества жизни семей.

Стремительное возвращение семейных форм замещающей заботы о детях в большой мере стало возможно благодаря активности и готовности помочь со стороны зарубежных исследователей и практиков. Благодаря поддержке Министерства образования и науки РФ, благотворительной организацией "Христианская солидарность по всему миру" и Фонду Бакнера в ряде регионов формируется модель патронатной семьи на основе зарубежного опыта (Москва, Владимирская область, Калининградская область и др.).

В 2002 г. завершилась инвестиционная программа "Помощь детям-сиротам в России", инициированная американским Агентством международного развития. Главная цель проектной деятельности Фонда - разработка региональных моделей системного решения проблемы сиротства.

Кроме зарубежных благотворительных фондов, ориентированных на развитие замещающей заботы, в России также осуществляют свою деятельность различные организации, занимающиеся устройством российских социальных сирот. Внимание на брошенных родителями детей в России обратила Генеральная прокуратура РФ, что было чрезвычайно важно, учитывая, что в настоящее время, по международным данным, около трети всех детей-сирот в мире, проживающих в сиротских учреждениях, приходится на долю России (Л.М. Шипицина, 2005).

В 2006 г. российские семьи приняли на воспитание 160 тыс. детей. Правительство России к 2010 г. запланировало на треть сократить число детских домов "советского образца". По предварительным данным государственной статистики, в России было отменено более 1000 решений о помещении ребенка на воспитание в семью по причине невыполнения приемными родителями обязанностей по содержанию и воспитанию детей. В том числе по причине жестокого обращения с детьми. Свыше 2,5 тысяч решений об устройстве ребенка в семью отменено по инициативе усыновителей, опекунов, приемных родителей. Более 80 усыновителей, опекунов, приемных родителей привлечено к уголовной ответственности за совершение преступлений в отношении детей, принятых ими на воспитание в семью. Таким образом, только принципиальные изменения в идеологии семейного устройства замещающей заботы о детях-сиротах и развитие системы социальной и психолого-педагогической поддержки семьи, принимающей ребенка, лишенного попечения биологических родителей, может стать основой успешного развития семейных форм замещающей заботы о детях в России.

В России в более десяти регионах существуют негосударственные образовательные учреждения для детей, лишенных родительского попечения. Всего, согласно статистике неправительственных организаций, в них воспитывается 762 ребенка, что составляет 0,13 % от общего числа детей-сирот. Так, в Москве находится 175 детей, в Московской области - 165, Красноярском крае - 113, Белгородской области - 50, Мурманской области - 40, Новосибирской области - 50, Орловской области - 92, Ярославской области - 28 и т.д. (Росстат, 2008).



Макаренко и дети



Молодая семья

Как правило, в негосударственных учреждениях создаются условия жизнедеятельности и воспитания, приближенные к семейным (отдельные коттеджи, условия для общения с родственниками, подсобные хозяйства, постинтернатные блоки, комнаты для выпускников). Кроме того, ряд российских неправительственных организаций проводят работу с проблемными семьями, направленную на предотвращение социального сиротства (например, Институт раннего вмешательства и Корчаковский центр, Санкт-Петербург).

В настоящее время социальная поддержка семьи это разноплановая деятельность, дифференцированная с учетом тех групп населения, на которые направляется

и подведомственная разным министерствам и ведомствам, общественным организациям и учреждениям. Нынешние социально-экономические условия требуют изменения, методов и форм социальной помощи молодой семье.

Анализ современной ситуации показывает необходимость государственной поддержки семьи как первичной ячейки общества. При этом речь не идет о поддержке семейного иждивенчества, речь идет о создании благоприятного пространства для функционирования семьи, условий для самореализации ее интересов. Необходим закон "О государственной поддержке молодой семьи в РФ". В нем

должны быть заложены действующие механизмы, позволяющие молодой семье самостоятельно решать жилищные, социальные, финансовые и другие проблемы. Успешный опыт в стране есть, достаточно вспомнить МЖК (молодежные жилищные кооперативы).

На основании всего вышеизложенного можно сделать вывод о том, что необходимо как можно быстрее разработать и ввести в действие новые государственные стандарты социального обслуживания семьи и детей для обеспечения воспроизводства достойных членов общества. **▲**

Литература

1. <http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=LA;w;n=5531> Международный Пакт от 16.12.1966 "О гражданских и политических правах"
2. <http://www.consultant.ru/popular/posobie/> Федеральный закон "О государственных пособиях гражданам, имеющим детей" от 19 мая 1995 г. N 81-ФЗ (действующая редакция от 03.07.2013)
3. <http://base.garant.ru/100279/> Письмо Минсоцзащиты РФ, Минфина РФ и Минтруда РФ от 18, 26 февраля 1993 г. NN 25/2-190/12-05-01/322-ВК "О порядке назначения и выплаты ежемесячных компенсаций женщинам, имеющим детей в возрасте до трех лет, уволенным в связи с ликвидацией предприятий, учреждений, организаций"
4. http://www.businessuchet.ru/pravo/DocumShow_DocumID_65226.html Указ президента РФ от 10 декабря 1993 г. N 2122 (РВ 93-243)" о совершенствовании системы государственных социальных пособий и компенсационных выплат семьям, имеющим детей, и повышении их размеров"
5. http://www.businessuchet.ru/pravo/DocumShow_DocumID_42461.html Указ Президента Российской Федерации от 23 февраля 1995 г. N 198 "О компенсационных выплатах семьям с детьми, обучающимся и другим категориям лиц"
6. Федеральный закон от 24 июня 1999 г. N 120-ФЗ "Об основах системы профилактики безнадзорности и правонарушений несовершеннолетних".

Связь с автором: enwalker@bk.ru

XIII МЕЖДУНАРОДНЫЙ ПРОМЫШЛЕННЫЙ ФОРУМ – 2014

МЕЖДУНАРОДНЫЕ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ ВЫСТАВКИ И КОНФЕРЕНЦИИ

18 - 21
НОЯБРЯ

ОРГАНИЗАТОР
Международный выставочный центр

ПРИ ПОДДЕРЖКЕ:
Министерства промышленной политики Украины
Украинской Национальной Компании "Укрстанкоинструмент"

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

КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ ЦВЕТОВЫХ РЕШЕНИЙ ПРИ ОФОРМЛЕНИИ УЧЕБНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

Светлана Васильевна Потапова, аспирант ФГБОУ ВПО МГТУ "Станкин"

Комплексирование цветовых решений при оформлении учебно-производственных помещений в образовательных организациях способствует не только разностороннему эмоциональному воздействию цвета на обучающихся и работников, но и влияет на результативность их практической деятельности, отношение к работе; при том, что взаимодействие цветовых составляющих является информационным контентом производственной эстетики.
Integration of colour solutions for the design of training and production premises in educational institutions contributes not only various emotional impact of colour on students and workers, but also have an influence on the effectiveness of their practices, attitude to work, despite the fact that the interaction of the colour components is the information content production aesthetics.

Ключевые слова: комплексирование, цвет, видеоколеристическое наблюдение, производственное помещение.
Keywords: Integration, colour, video coloristic observation, training and production premise.

Комплексирование цветовых решений - это совокупность процессов объединения информации от нескольких цветов в одно более информативное, включающих в себя не только синтез цветов, получение первичных оттенков, но и их предварительную обработку, оценку информационного содержания (в психологическом, этнокультурном и др. аспектах), выбор измерительных методов, их цветное сочетание.

Основная сложность при комплексировании (от существ. комплекс и от лат. complexus - связь, сочетание) цветовых решений возникает вследствие эмоционального воздействия цвета на человека (см. исследования психологов, социологов [6], [7] и др.), высокой степени избыточности информации, и, как следствие, большого объема данных, которые подлежат обработке. Среди инновационных методов, позволяющих представить полученную информацию об использовании различных аспектов цветовых решений - метод мозаики [8], видеоколеристического наблюдения [10] и др. Данные знания применимы, в т.ч. в области изучения комплексирования цветовых решений при оформлении производственных помещений.

В силу того, что цвет определяется как реальность, существующая, например, в конструкциях и отделке материалов, дорожных знаках, упаковках товаров, окраске производственных помещений, элементов оборудования и т.д., становится возможным его использование в качестве абстрактной системы, так называемой цветовой среды [5, с.34]. В подсознании человека эта масса цветовых элементов окружающей среды отображается как сложная знаковая система, которая взаимодействует с человеком, и не может функционировать без его возможности эмоционально реагировать на действие определенных цветов или оттенков [12, с.47].

Комплексирование предусматривает наличие системного подхода, который, в свою очередь, позволяет классифицировать цветовые решения. Фильтром для поиска исходных элементов (соотношение объемов, цвета, света, тона и формы) для комплексирования цветовых решений служат законы композиционного сочетания цветов, в соответствии с которыми формируются цветовые группы, обозначаются или меняется намеренное ранее цветное решение и т.д.

С целью создания определенной цветовой среды, необходим учет взаимодействия цветовых составляющих (пример: сочетание окраски стен и мебели). Анализ и обобщенное заключение данных, полученных при изучении биологии, этнопсихологии, физиологической оптики, этноколеристики позволяют сформировать комплексный характер цветового воздействия и физиологическую, психологическую и социально-культурную реакцию человека на цветовую среду.

В процессе проектирования цветовой среды для отдельно взятого помещения следует учитывать данные, которые способствуют созданию условий для комфортной, продуктивной жизнедеятельности и важны при осуществлении 4-х типов отношений между цветовой сре-

дой и человеком: экспрессивный (отношения субъекта к цвету), поэтический (определяется ассоциациями, вызываемыми определенным цветом), метаязыковой (включает предупреждающие и сигнальные цвета), апеллятивный (предполагает уменьшение утомительности глаз и повышение работоспособности). [5]

С точки зрения трудовой эстетики цветовые решения призваны:

- внести художественное начало в трудовую деятельность человека, ибо все, что окружает в процессе труда, способствует достижению положительных эмоций. Следовательно, производственная обстановка становится эмоциональным побуждением для повышения работоспособности и производительности труда;

- стимулировать повышение продуктивности труда, что, в частности установлено государственными нормативными требованиями охраны труда [1], локальными актами, направленными на сохранение жизни и здоровья работников. Так, в строительных нормах 181-70 [2] отмечается, что "...цветовая отделка интерьера должна проектироваться на основе общего архитектурно-композиционного решения интерьера с учетом физиологического воздействия цвета и способствовать улучшению гигиенических условий труда в производственных помещениях, снижению утомляемости, повышению производительности труда, обеспечению безопасности производственных процессов".

Обоснованием для соблюдения определенных норм, связанных с цветовым оформлением производственного интерьера, является:

- получение человеком 90 % всей информации из внешнего мира, чему способствуют органы зрения, а 10 % приходится на другие органы чувств [3, с.27];



Учебно-лабораторный комплекс "Технология сварочного производства" в Иркутском ОГБОУ СПО ИТАС

- учет особенностей климата, технологического назначения помещений, условий визуальной работы, характера освещения помещения, требований охраны труда и др.;

- изменение цвета предметов, поверхностей при смене характера отраженного потока света (табл. 1).

В качестве нормативных показателей оформления производственного интерьера выступают: цветовая гамма и контраст, количество цвета, коэффициенты отражения поверхностей и распределение яркостей в поле зрения работающих людей.

Как показали результаты видеокolorистического наблюдения с целью выявления цветовых решений при оформлении помещений, в которых проходили учебные занятия по дисциплине Охрана труда в российских профессиональных образовательных организациях (ГБОУ СПО КАС № 7 г. Москвы, Смоленское ОГБОУ СПО Политехнический колледж, Иркутское ОГБОУ СПО ИТАС), представленные в табл. 2, в каждом из них подбор цветовой отделки производственных поверхностей соответствует требованиям СН 181-70. Однако в качестве рекомендаций следует отметить следующее.

А) При окраске потолков и стен (учебно-)производственных помещений следует избегать темных оттенков цвета с целью нивелирования нежелательных контрастов с ярко освещенным рабочим местом и светло-окрашенным оборудованием, которое в противном случае могло бы поглощать много света, быстро вызывать общее и зрительное утомление и т.д.

Б) В качестве цветового решения при оформлении стен, потолка, пола и мебели рекомендуется учитывать: использование светлых цветов / оттенков, что способствует реализации оптимизма, а темных - развитию состояния угнетенности, подавленности (реже - депрессии) [12].

В) Цветовое решение потолка должно соответствовать (см. [2]) высоте учебного помещения, при этом, например, их светлый (светло-голубой или зеленовато-голубой) цвет зрительно увеличивает высоту помещения (в случае, если цвет стен более темный и теплый). Отметим, что немецкие психоаналитики Г. Фрилинг и К. Ауэр, в соответствии с естественным восприятием пространства человеком, рекомендуют окрашивать пол в темный цвет, а потолок - в светлый.

Г) При умственной или физической нагрузке, которая требует

повышенного внимания и точности, рекомендуется применять "холодные цвета" - зеленый, голубой и некоторые тона, находящиеся между ними, т.е. зелено-голубой. Кроме того, в российских профессиональных образовательных организациях эти оттенки в производственных мастерских представлены светлыми, слабонасыщенными и малоконтрастными. Примечательно, что исследования, проведенные российским социологом А. Т-Г. Землянской, свидетельствуют, что лишь временная работа, связанная с большой умственной и физической нагрузками, может выполняться в помещениях, окрашенных в оттенки желтых и оранжево-желтых цветов [6].

Д) В помещениях, окрашенных в оливково-зеленый, болотно-зеленый и темно-коричневый цвета (коридоры, фойе и т.д.), где обучающиеся сосредоточены на интеллектуальной деятельности, например, в лаборатории, велика частотность использования серого цвета (эффективность этой рекомендации экспериментально подтверждена М. Люшером, отмечавшим целесообразность использования серого цвета в помещениях, где издается громкий шум). Там, где они заняты однообразной и рутинной работой (мастерская для графических работ, кабинет черчения), рекомендуется выбирать яркие цвета, стимулирующие, активизирующие студентов.

Е) Использование салатного цвета, который М. Люшер называл "уникальным" [12], способствует сохранению работоспособности, что позволяет использовать его не только в учебных классах, но и производственных помещениях. Результаты видеокolorистического наблюдения свидетельствуют о том, что сине-зеленая гамма цветов обостряет слух.

Ж) С целью уменьшения коэффициента отражения излучения коротковолновых участков спектра, который не должен превышать 40...50 % [2], для внутренней отделки производственных помещений и индивидуальных кабин, где обучающиеся получают профессиональные навыки по профессии электросварщик, рекомендуется использовать оранжево-желтый, зелено-желтый и желтый цвета. Дело в том, что при электросварке происходит значительное выделение ультрафиолетовых лучей, что представляет опасность из-за пагубного влияния ультрафиолетовых лучей на зрительно-нервный аппарат человека, а при больших дозах - на состоянии кожных покровов.

Таблица 1

Изменение цвета поверхностей при искусственном освещении [11]						
Цвет поверхности при солнечном свете	Цвета поверхности при освещении					
	лампами накаливания	лампами дневного цвета	лампами белого цвета	лампами тепло-белого цвета	лампами холодно-белого цвета	дугowymi ртутно люминесцентными лампами
Красный	красный с большей насыщенностью	красный	красный светлый	красный яркий	более красный с синим оттенком, темнеет	оранжево-красный, более насыщенный
Оранжевый	оранжево-красный, светлый	оранжевый	желтеет	оранжевый, более яркий	оранжевый, грязнеет и темнеет	желтый, более насыщенный
Желтый	желтый, более светлый, более чистый	желтый	желтый	желтый, более светлый, менее чистый	желтый, светлый, приобретает зеленый оттенок	зеленовато-желтый
Желто-зеленый	желтеет	желто-зеленый	желто-зеленый, более светлый	желтеет	желто-зеленый	зеленовато-желтый, светлый
Зеленый	зелено-желтый	зеленый	зеленый	зеленый с оливковым оттенком	зеленый темный	желто-зеленый
Голубовато-зеленый	становится серым	голубовато-зеленый	голубовато-зеленый, темнеет	желтеет и блекнет	сине-зеленый	-
Голубой	синеет	голубой	синеет	темнеет, синеватый оттенок	серо-голубой	серо-синий
Синий	синий с красноватым оттенком	синий	синий с пурпурным оттенком	синий, светлый с синеватым оттенком	слегка красноватый оттенок	серовато-фиолетовый, более насыщенный
Фиолетовый	краснеет	фиолетовый	розовеет	фиолетовый с розовым оттенком	серый	фиолетовый
Серый	серый с желто-оранжевым оттенком	серый	серый	слегка краснеет	серый	розовеет

Таблица 2

Варианты цветовой отделки поверхностей производственных помещений профессиональных образовательных организаций					
Наименование помещения	Внутренний режим помещений	Потолок	Верх стен	Панель	Пол
Учебные классы	Для работ, связанных с сосредоточенной и интеллектуальной деятельностью при наличии естественной освещенности	Белый	Белый	Салатовый	Светло-желтый, светло-зеленый
Производственные мастерские	С выделением пыли и отходов производства, загрязняющих помещение	Белый	Белый	Светло-желтый, светло-зеленый	Серый, темно-серый
Лаборатории	Помещение с незначительным выделением пыли	Белый	Белый	Салатовый, кремовый	Светло-коричневый
Творческие мастерские	Помещения для работ особо точных и высокоточных с наличием естественной освещенности	Белый	Белый	Желтый	Светло-коричневый
Лаборатория поваров	Выделяющее значительное тепловыделение	Белый	Белый	Светло-зеленый, голубой	Серый, темно-серый

3) Цветовое решение внутренней отделки помещения должно соответствовать как климатической зоне, так и ориентации по сторонам света, особенностям технологического процесса и др. (табл. 3).

Таблица 3

Рекомендации по выбору цветовой отделки производственных помещений [2]	
Цветовой тон	Характеристика помещений
Холодные тона	Производственные помещения, расположенные в южных районах России; помещения производственных зданий в центральных областях (окна при этом ориентированы на юг); помещения с большими тепловыделениями
Теплые тона	Производственные помещения, расположенные в северных и центральных областях страны; помещения без естественного света
Нейтральные тона	Производственные помещения с высокими требованиями к цветопередаче



Видеоколористические примеры цветового решения учебно-производственных помещений помогают понять окружающую среду и обоснованность художественного конструирования кабинетов охраны труда, учебно-производственных мастерских, рабочих мест обучающихся, понять особенности выделения цветовыми элементами проходов, складских помещений, зон отдыха т.п. в соответствии с общим архитектурно-композиционным решением, а также с учетом физиологических воздействий цвета, особенностей выполняемых работ и географического расположения профессиональной образовательной организации (табл. 4)

При выборе цвета для оформления и оборудования производственных помещений следует учитывать отражение падающего света в соответствии с СН 181-70, т.е. использовать те цвета, которые отражают не менее 40...50 % падающего на них света, что не только усиливает освещенность, уменьшает зрительное напряжение, но и экономит электроэнергию при окрашивании:

- потолков железобетонных перекрытий, металлоконструкций - в белый и светло-лимонный;
- стен и перегородок - в светлые тона (белый, бирюзовый, светло-зеленый, голубой др.);
- движущегося оборудования (кабины кранов, тележки, электрокары и т.п.) в производственных помещениях в красный цвет с черными или желтый с черными полосами;
- в цвета техники безопасности (основной цвет - красный), соответствующие ГОСТу 12.4.026-2001 (противопожарное оборудование, кнопки, опасные части машин и агрегатов, рукоятки управления и др.);
- идентичными цветами опорные столбы, колонны и балки.

Таблица 4

Психологический контент влияния цвета на человека в производственных помещениях [4]					
Цвет / оттенок			Влияние цвета на человека при его использовании в помещении		
			Сверху	Сбоку	Внизу
Бежевый	Розовый	Светло-желтый	Возбуждает	Создает ощущение тепла, зрительно сужает пространство	Рождает чувство зыбкости, хрупкости и ненадежности
Красный	Коричневый	Желто-зеленый	Угнетает, вызывает желание замкнуться в себе	Сужает пространство, создает ощущение приближенности	Рождает чувство устойчивости и безопасности
Голубой	Светло-зеленый	Светло-серый	Принесит ощущение света и высоты	Создает иллюзию простора и прохлады	Вызывает тревогу, неуверенность, выглядит скользким и неустойчивым
Серый	Синий	Темно-зеленый	Удручает	Способствует отчуждению и охлаждает эмоции	Создает ощущение устойчивости и холода

Значения цветов закреплены государственным стандартом ГОСТ Р 12.4.026-2001 [1] (табл. 5):

Таблица 5

Семантика сигнальных цветов в соответствии с ГОСТом [1]			
Сигнальный цвет	Основное смысловое значение сигнального цвета	Контрастный цвет	Пример
Красный	Запрещение, непосредственная опасность, обозначение противопожарной техники	Белый	Средства пожаротушения
Желтый	Предупреждение, возможная опасность	Черный	Сигнал светофора
Синий	Предписание, информация, указание	Белый	Синий прямоугольник с белым квадратом в середине
Зеленый	Безопасность, предписание	Белый	Знак "Выход здесь"

Комплексование цветовых решений при оформлении учебно-производственных помещений в сочетании с технологичностью производственных конструкций и оборудования, находящихся в них, способствует не только разностороннему эмоциональному воздействию цвета на человека, но и влияет на результативность практической деятельности, отношение к работе. При этом эстетическая функция цвета дополняется информационной составляющей, которая используется при маркировке коммуникаций, организации производственной информации, безопасности труда и др.

Литература

- ГОСТ Р 12.4.026-2001 ССБТ. Цвета сигнальные, знаки безопасности и разметка сигнальная. Назначение и правила применения. Общие технические требования и характеристики. Методы испытаний. - М.: ИПК Изда-во стандартов, 2001. - 72 с.
- СН 181-70 Указания по проектированию цветовой отделки интерьеров производственных зданий промышленных предприятий. - М.: Стройиздат, 1972. - 32 с.
- Клюев М.Ю. Колористика: учебник. - СПб.: Питер, 2007. - 168 с.
- Фрилинг Г., Ауэр К. Человек-цвет-пространство. - М.: Стройиздат, 1973. - 112 с.
- Пономарева Е.С. Цвет в интерьере. - Минск: Выс. шк., 1984. - 167 с.
- Землянская А. Т-Г. Цвет и реклама: уч.-практ. пособие. - М.: Граница, 2012. - 208 с.
- Невмержицкая Е.В. Теория и практика этнокультурного образования в условиях среднего профессионального образования: монография. - М.: Граница, 2011. - 382 с.
- Потапова С.В. Детерминанты социологических методов: от традиций к инновациям. // Неформальное образование. - № 11. - 2015.
- Невмержицкая Е.В. Этноколористическое интервью: уч.-практ. пособие. - М.: Граница. 128 с.
- Невмержицкая Е.В. Видеоколористическое наблюдение: уч.-практ. пособие. - М.: Граница, 2014. - 136 с.
- Дальневосточный государственный университет путей сообщения [Электронный ресурс] / Центр дистанционного образования. - 2014. - Режим доступа: <http://edu.dvgups.ru>
- Luscher M. The Luscher Color Test / transl. and ed. by Ian A. Scott. - N.Y.: Pocket Books, 1971. - 187 p.

Связь с автором: nmr53@mail.ru



ЛЕДОКОЛЫ РОССИИ

АТОМНЫЙ ЛЕДОКОЛ

“АРКТИКА”

Виктор Сергеевич Шитарёв,
капитан дальнего плавания

(Продолжение. Начало в 1-3 - 2014)

В настоящее время, несмотря на некоторые просчёты и ошибки, Россия имеет достаточно мощный и совершенный ледокольный флот. Знаменательной вехой в развитии отечественного и мирового атомного судостроения продолжает оставаться Россия, а первенцем остаётся - атомоход "Ленин". Выход на трассы СЕВМОРПУТИ нашего атомохода способствовал заметному продлению полярной навигации, увеличению скорости проводки караванов транспортных судов, снижению уровня опасности (увеличение безопасности торгового мореплавания в северных морях). Во вторую навигацию, кроме проводки транспортных судов, атомоход осуществил высадку высокоширотной дрейфующей станции "Северный полюс - 10", а также установил в полярных районах бассейна автоматические метеостанции.

Другим достоинством атомоходов является их высокая автономность по запасам топлива. Если обычный ледокол вынужден ежемесячно брать на борт полный запас топлива, бункероваться полностью, то атомоходу хватает одной зарядки реактора на всю навигацию, особенно если учесть и весьма солидную мощность его атомной энергетической установки (АЭУ) и атомной паропроизводящей установки (АППУ). Кроме того, АППУ обладает высокой маневренностью на всех режимах работы, надёжностью биологической защиты и других конструктивных мер, исключающих вредное воздействие на экипаж ледокола и окружающую среду радиоактивного излучения, жидких и газообразных радиоактивных отходов, образующихся в реакторных установках. На этом этапе были решены также важнейшие вопросы технического и технологического обслуживания судов с ядерной энергетической

установкой, создано специальное оборудование для ремонта и перезарядки реактора, решены проблемы сбора и утилизации радиоактивных отходов.

В конце шестидесятых годов в результате большой совместной работы энергетиков, машиностроителей и судостроителей была создана новая ядерная энергетическая установка, обладающая существенно лучшими технико-экономическими показателями по сравнению с прежней, предназначенная для новых более мощных ледоколов. Для проверки работы новой установки было принято решение заменить ею АППУ атомохода "Ленин".

Опыт последовавших семи арктических навигаций подтвердил высокую надёжность и безотказность новой ядерной установки. Хорошие эксплуатационные показатели были получены как в результате использования современных технических решений, так и большой организационно - технической работы экипажа и береговых служб, обеспечивающих подготовку ледокола к выходу в очередную навигацию.

Открытие в арктических районах огромных минеральных богатств потребовало новых усилий в создании на Севере надёжной транспортной системы. Большим вкладом в это важное дело служит постройка в России нового мощного атомного ледокола "Арктика". Выдавая задание на проектирование и строительство этого судна, Министерство морского флота имело в виду создание ледокола, способного преодолевать непрерывным ходом годовалый лёд, повышение КПД его энергетической установки, снижение эксплуатационных затрат, повышение скорости проводки и увеличение тоннажа проводимых судов. Для этого потребовалось решение ряда проблемных воп-



Атомный ледокол "Арктика"



Достройка ледокола "Арктика" у стенки Балтийского завода

росов, в число которых входили - определение главных размерений ледокола, оптимальное отношение мощности ЭУ к водоизмещению, рациональное распределение мощности на гребных валах.

По предложению заказчика, было принято согласованное решение увеличить главные размерения с тщательной отработкой элементов теоретического чертежа. Лёдопроходимость в ровных припайных льдах оказалась на 22 % выше по сравнению с расчётной по первоначальному проекту, подтверждённой модельными испытаниями. Очевидно влияние водоизмещения на лёдопроходимость в торосистых ледовых полях. При форсировании торосистой гряды масса разрушенного льда зависит от энергии, накопленной ледоколом при движении по ровному полю, которая прямо пропорциональна водоизмещению. Ледоколы большего водоизмещения легче проходят мощные торосистые перемычки. Благодаря увеличению вертикальной составляющей также увеличивается проходимость и в ровных припайных льдах. Видимо, прирост скорости возможен из-за существенно меньшей начальной устойчивости атомохода, поскольку во время ломки льда происходит автокренование. А увеличение ширины атомохода позволило повысить тоннаж проводимых в караване транспортов, улучшить качество пробитого ледоколом канала, обеспечить лучшую защиту винтов от ледовых повреждений, уменьшить осадку.

Исследования и опыт показывают, что традиционное правило, требовавшее придания максимально возможной мощности ледоколу, с появлением современных, главным образом, атомных ЭУ и более мощных судов утратило свой смысл. Для мощных атомоходов и судов ледового плавания энерговооружённость с повышением водоизмещения имеет явную тенденцию к уменьшению. Например, зарубежные расчёты и модельные испытания показывают, что для обеспечения такой же лёдопроходимости для танкеров ледового плавания при увеличении дедвейта в два раза (со 150 тыс. тонн до 300 тыс. тонн) требуется увеличение мощности только на 60 % (со 100 тыс. до 160 тыс. л.с.). Таким образом, проблема увеличения лёдопроходимости может в определённых пределах решаться как уве-

личением мощности, так и увеличением водоизмещения (при равноценных обводах корпуса). Причём в большинстве случаев, увеличение водоизмещения экономически эффективнее.

Существует мнение, что дальнейшее увеличение лёдопроходимости ледоколов типа "Арктика" может быть достигнуто увеличением водоизмещения (в том числе и ширины) при той же мощности. При этом, однако, соответственно уменьшится маневренность, в том числе и в условиях сжатия. При распределении мощности на гребных валах рассматривались варианты 1 : 2 : 1 и 1 : 1 : 1. Первый вариант предложил заказчик, второй - защищали проектировщики, основываясь на рекомендациях лаборатории ледовых качеств Арктического и Антарктического научно-исследовательского института. Каждый из этих вариантов имеет свои достоинства и недостатки. В результате тщательного их исследования было принято распределение мощности 1 : 1 : 1. (Однако поскольку средний винт лучше защищён от попадания льдин, можно увеличить его диаметр, и тогда распределение мощности по гребным валам могло бы быть 2 : 3 : 2).

Все эти новшества требовали комплексных испытаний в условиях работы во льдах. Такие испытания были проведены во время первого эксплуатационного рейса атомохода "Арктика" в мае - июне 1975 г. Программа испытаний, наряду с проверкой работоспособности энергетического оборудования, систем и устройств в ледовых условиях, предусматривала исследование ледовой проходимости, маневренных и инерционных качеств, прочностных, вибрационных и акустических характеристик ледокола на различных режимах его работы.

Испытания проводились в припайных льдах Енисейского залива, Земли Франца Иосифа и проливе Шокальского, в однолетних и многолетних дрейфующих ледяных полях, в тяжёлых торосистых льдах различной толщины и заснеженности. Такое разнообразие ледовых условий обеспечило возможность всесторонней проверки и объективной оценки его эксплуатационных качеств.

Как показали испытания и опыт последующей эксплуатации, атомоход "Арктика" способен уверенно



Проводки судов атомным ледоколом "Арктика"

преодолевать непрерывным ходом однолетние льды предельной толщины, успешно форсировать с разбега тяжёлые многолетние льды, двигаться в условиях сжатия. Несмотря на увеличившиеся главные размеры и водоизмещение, ледокол обладал отличной маневренностью, легко управлялся. Отличительной особенностью ледокола являлась его способность преодолевать набегами льды большой толщины, практически, без заклинивания, что достигалось как за счёт большой тяги на заднем ходу и тщательной и удачно подобранной формы обводов, так и рационального соотношения между мощностью и водоизмещением.

Тензометрические испытания показали, что корпусные конструкции располагают достаточным запасом прочности для работы в самых тяжёлых ледовых условиях.

Работоспособность энергетической установки ледокола в тяжёлых, особенно в заснеженных льдах в значительной мере зависит от безотказности системы охлаждения, которая должна обеспечивать бесперебойную подачу большого количества забортной воды для охлаждения главных и вспомогательных механизмов (при полной мощности ГЭУ - 10...12 тыс. тонн в час). Сложность заключается в том, что при непрерывно меняющихся мощности главной энергетической установки и условиях взаимодействия корпуса ледокола со льдом, наряду с большой неоднородностью поступающей из-за борта массы воды, битого льда и снега, должна обеспечиваться бесперебойная подача в конденсаторы главных и вспомогательных турбин требуемого количества охлаждающей воды заданной температуры. Произведённая в процессе ледовых испытаний и эксплуатации доводка применённой на ледоколе опытной системы автоматического регулирования температуры охлаждающей воды позволила положительно решить и эту сложную проблему.

Испытания и последующий опыт эксплуатации подтвердили высокую работоспособность, надёжность и безопасность атомной паротурбоэлектрической установки в условиях часто меняющихся режимов работы при минимальных затратах времени на переходы от одного уровня мощности к другому. Полностью оправдал себя также переход на переменный ток в генераторной части (что является отличительной особенностью гребной энергетической установки ледокола "Арктика"), позволивший повысить возможность и упростить обслуживание электроэнергетической установки.

После успешного завершения ледовых испытаний атомоход "Арктика" вышел в свой первый эксплуата-

ционный рейс по трассе СЕВМОРПУТИ. Первые караваны транспортов были им проведены через Карское море в устье Енисея для дальнейшего следования в порты Дудинка и Игарка. Основную ледовую преграду на этом пути - припай Енисейского залива ледокол прошёл непрерывным ходом за 6 часов. Раньше на преодоление этого препятствия обычные ледоколы затрачивали по 2 - 3 суток. Не менее успешно и в короткие сроки была осуществлена операция по очистке Енисейского залива ото льда. Путь для транспортов на Дудинку и Игарку стал свободен на несколько недель раньше обычного срока.

В июле 1975 г. ледоколы "Арктика" и "Адмирал Макаров" направились в восточный сектор СЕВМОРПУТИ, где из-за крайне тяжёлой ледовой обстановки были затёрты во льдах несколько транспортов и ледоколов. Переход в 1700 миль из Карского моря на Восток был завершён за 6,5 суток со средней скоростью 11 узлов (20,3 км/ч). О ледовых условиях на переходе и высоких эксплуатационных качествах атомохода "Арктика" свидетельствует тот факт, что следовавший за ним ледокол "Адмирал Макаров", имеющий дизель электрическую установку мощностью 41 тыс. л.с. неоднократно терял ход, и в отдельных случаях ему оказывала помощь "Арктика". По приходу в заданный район ледоколы выполнили поставленную им задачу и обеспечили тем самым своевременную доставку грузов для промышленных районов Крайнего Севера.

В сентябре атомоход "Арктика" совершил второй переход на Восток для оказания помощи в завершении транспортных операций. Позже ледокол возглавил проводку судов в Карском море и закончил первый год эксплуатации в канун 1976 г.

Во вторую навигацию (1976) атомоход "Арктика" уже в начале июня завершил прокладку канала в Енисейской перемычке и обеспечил проводку по этому каналу нескольких десятков транспортов. Затем он был направлен в пролив Вилькицкого, где в тяжёлых условиях за 1,5 суток проложил трёхсотмильный канал и открыл судам путь в восточный сектор Арктики.

Как и в предыдущую навигацию, атомоход "Арктика" продолжил напряжённую работу на трассе СЕВМОРПУТИ. Например, во второй половине августа, он провёл из западной части моря Лаптевых, через пролив Вилькицкого, ледоколы "Ленин", "Красин", и "Киев" с транспортными судами "на усах". То же повторилось и в начале октября 1976 г., когда во льдах были затёрты ледоколы "Ермак", "Ленинград", "Семён Челюскин" и дизель-электроход "Капитан Мышевский". В условиях сильного сжатия атомоход "Арктика" в течение суток преодолел сплошной ледяной массив, и караван продолжил своё плавание на Восток.

В начале 1977 г. на три месяца раньше обычного срока открытия арктической навигации, атомоход "Арктика" возглавил проводку судов к полуострову Ямал транспортных судов. Дизель-электроходы "Гижига", "Наварин" и "Павел Пономарёв" доставили к импортированному ледовому причалу мыса Харасовой 36 тыс. тонн строительных материалов, машин, различной техники, топлива, крайне необходимых для освоения открытых здесь нефтяных и газовых месторождений.

Вместе с тем, ранние сроки открытия навигации в советском западном секторе Арктики показали, что ледовые условия плавания в этот период существенно отличаются от тех, с которыми встречались наши мореходы в арктических навигациях в привычное, более позднее, время. Другой была физика ломки льда, ина-

че взаимодействовал корпус судна с ненарушенным и сильно заснеженным ледяным покровом и т.п. Эти проблемы поставили перед учёными и корабелями новые задачи по дальнейшему совершенствованию ледоколов и судов ледового плавания, предназначенных для круглогодичного плавания в полярном бассейне.

За проведённые навигации 1975 и 1976 гг., а также март - апрель 1977 г. атомоходом "Арктика" пройдено в общей сложности около 100 тыс. миль, из них во льдах почти 80 тыс. миль. Скорость проводки судов во льдах повысилась в среднем на 25 %. Выполняя большой объём работы, чем другие ледоколы, атомоход "Арктика" проходил за навигацию в 1,5 раза больший путь. Надёжная работа ледокола, высокие ледокольные качества закрепили за ним роль лидера отечественного ледокольного флота.

На атомоходе "Арктика" были предусмотрены все необходимые меры для предотвращения аварийных ситуаций. Среди них можно отметить средства раннего обнаружения микро протечек теплоносителя, контроль состояния наиболее ответственных участков контура первичного теплоносителя и состояния металла корпуса реактора. Для этих целей используются ультразвуковые, гаммаграфические и оптические методы, проникающие краски, магнитные порошки и методы акустической эмиссии.

При проектировании и строительстве атомохода "Арктика" был решён целый ряд проблемных вопросов, в результате чего отечественными судостроителями создан тип ледокола, не имеющий аналогов в мировом ледоколостроении. "Арктика" обеспечила круглогодичную навигацию в Карском море, проводя караваны судов с размерениями по ширине близкими к ширине самого ледокола до устья сибирских рек. Экипаж атомохода подбирался с особой тщательностью. Его основу составили специалисты, имеющие опыт работы на первом атомоходе "Ленин" и прошедшие необходимую теоретическую подготовку на курсах при факультете повышения квалификации ЛВИМУ им. Макарова. Высокая квалификация экипажа позволила ему оказать помощь Балтийскому заводу в процессе строительства ледокола и принять на себя обязанности основного ядра сдаточной команды. В результате согласованной и дружной работы завода и экипажа были успешно проведены швар-

товные, ходовые и ледовые испытания и в кратчайшие сроки освоена полная мощность атомной энергетической установки (АЭУ).

Создание ледоколов, обладающих большой мощностью и большими возможностями при плавании в полярных ледовых условиях ставит в повестку дня вопрос о разработке перспективной транспортной системы в Арктике и определение более рациональных способов транспортировки грузов. Обычно в Арктике в условиях летней и продлённой навигации применяются три вида ледового плавания: самостоятельное плавание для судов усиленного ледового класса; плавание судов ледового класса под проводкой ледокола и на буксире у ледокола. Расчёты показывают, что наиболее перспективным на ближайшие два - три десятилетия для плавания в тяжёлых льдах является буксировка на "усах" за ледоколами. В такой ситуации могут использоваться суда с небольшими ледовыми подкреплениями с заменой бронзовых винтов винтами из нержавеющей стали., танкера с двойным бортом и двойным дном и с балластными танками в междубортном и междудонным пространстве. Ведомое судно следует за ледоколом, в свободном ото льда канале и, увеличивая массу каравана, улучшает ледопроездимость в торосистых льдах. Корпус ведомого судна, практически, не испытывает ударов льдин так как кильватерная струя от винтов ледокола разветвляется на два упругих рукава и отбрасывает льдины от борта ведомого судна. Канал за караваном значительно чище, чем за одним ледоколом и это позволяет успешно следовать в канале ещё одному - двум транспортам.

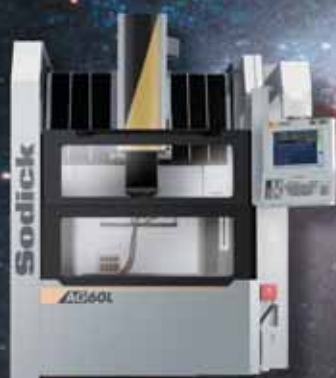
В августе 1977 г. произошло событие, которое было воспринято во всём мире как новая выдающаяся победа советской науки и техники. 17 августа в 04 часа 00 минут по московскому времени атомоход "Арктика" достиг географической точки Северного полюса. Впервые за всю историю мореплавания надводный корабль преодолел мощный ледовый покров Центрального полярного бассейна и в активном плавании поднялся к самой вершине земного шара. Все механизмы и системы ледокола работали надёжно в заданных режимах. Полученный ценный научно-практический материал был использован для совершенствования отечественного ледокольного флота. □

(Продолжение следует.)



"Арктика" на Северном полюсе

Sodick



35000 линейных электроискровых станков в эксплуатации

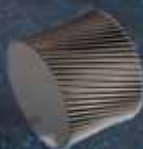
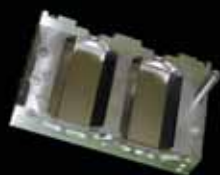
(почти **600** в России, Украине и др. государствах
бывшего СССР; на 12.2013 г.)

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

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

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

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



Точность позиционирования:

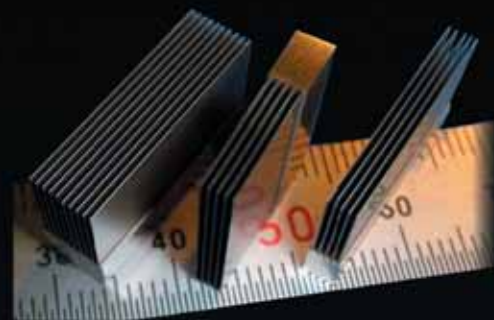
гарантия **10** лет

Впервые в отрасли!

60 лет опыта производства ЭИ станков!

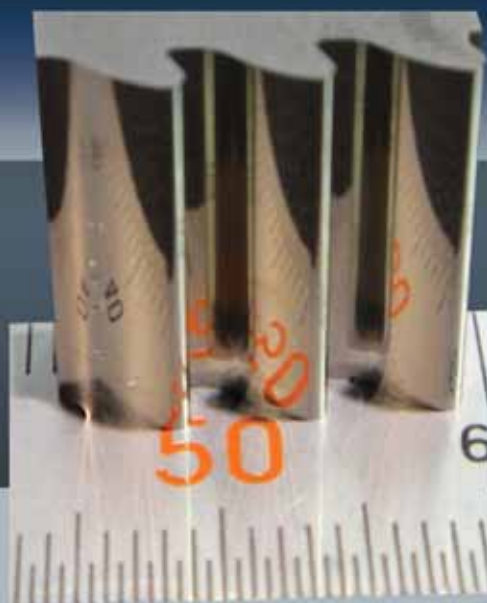
НАНОШЕРОХОВАТОСТЬ

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

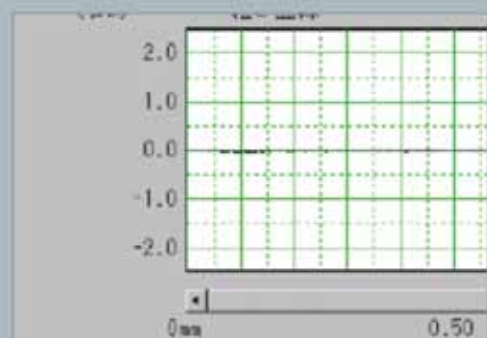


Sodick

www.sodick.ru



AP250L



パラメータ名	値	単位
Ra	0.0061	μm
Ra(1)	0.0072	μm
Ra(2)	0.0066	μm
Ra(3)	0.0062	μm
Ra(4)	0.0060	μm
Ra(5)	0.0049	μm
Rz	0.0526	μm
Rz(1)	0.0600	μm
Rz(2)	0.0440	μm

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

Сверхточная вырезка твердых сплавов
без выпадения кобальта;

Прецизионная вырезка тонкой проволокой
высоких пуансонов.

ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ В МАСЛЕ =
= ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ В ВОДЕ

Рекорд отрасли!

ЕДИНСТВО ВО МНОЖЕСТВЕ



ОАО «Объединенная
двигателестроительная корпорация»
Россия, 105118, г. Москва, пр-кт Буденного, д. 16
www.uecrus.com info@uecrus.com



**Объединенная
двигателестроительная
корпорация**

ISSN 999-02109



9779990210003