

Двигатель

Научно-технический журнал № 6 (24) 2002



Редакционный совет

Абрамов Г.А.,

научный консультант Российского Речного Регистра

Анисин Д.Д.,

зам. руководителя Департамента мореплавания Минтранспорта РФ

Бондин Ю.Н.,

ген. директор ГП "НПК газотурбостроения "Заря"-Машпроект", Николаев

Гриценко Е.А.,

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

Губертов А.М.,

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

Данилов О.М.,

ген. директор ЗАО "Центральная компания МФПГ "БелРусАвто", Москва

Долецкий В.А.,

президент АО "Русские моторы", Ярославль

Жарнов В.М.,

ген. конструктор ПО "Минский моторный завод"

Зазулов В.И.,

гл. конструктор НПП "ЭГА"

Иноземцев А.А.,

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

Каблов Е.Н.,

ген. директор ГНЦ ВИАМ, член-корр. РАН

Каторгин Б.И.,

ген. конструктор, ген. директор НПО "Энергомаш", член-корр. РАН

Клименко В.Р.,

гл. инженер ОАО "Аэрофлот - РМА"

Коржов М.А.,

гл. конструктор двигателей ОАО "АвтоВАЗ", Тольятти

Крымов В.В.,

зам. ген. директора ФГУП "ММП "Салют" по науке

Кузнецов А.Н.,

зам. ген. директора Российского авиационно-космического агентства

Кутенев В.Ф.,

зам. ген. директора ГНЦ НАМИ по внешнеэкономическим связям

Леонтьев Н.И.,

ген. конструктор, ген. директор КБХМ им. А.М. Исаева

Муравченко Ф.М.,

ген. конструктор МКБ "Прогресс", Запорожье

Новиков А.С.,

ген. директор ММП им. В.В. Чернышева

Русак А.Д.,

начальник Департамента локомотивного хозяйства МПС РФ

Скибин В.А.,

ген. директор ГНЦ ЦИАМ им. П.И. Баранова

Троицкий Н.И.,

директор НИИ двигателей

Фаворский О.Н.,

академик, член президиума РАН

Чепкин В.М.,

председатель НТС НПО "Сатурн"

Черваков В.В.,

декан факультета авиадвигателей МАИ

Чуйко В.М.,

президент Ассоциации "Союз авиационного двигателестроения"

Шапошников Е.И.,

советник Президента РФ по авиации и космонавтике

РЕДАКЦИЯ

Главный редактор

Александр Бажанов

Заместитель главного редактора

Дмитрий Боев

Ответственный секретарь

Александр Медведь

Финансовый директор

Дмитрий Чекин

Редакторы:

Андрей Касьян, Людмила Клименко, Игорь Никитин, Валентин Шерстянников

Литературный редактор

Лидия Рождественская

Художественный редактор,

дизайн и верстка

Галина Бобылева

Техническая поддержка

Александр Бобылев

В номере использованы фотографии, эскизы и рисунки:

Александра Бажанова, Дмитрия Боева, Льва Берне, Александра Медведя, Игоря Никитина, Василия Рязанова

Адрес редакции журнала "Двигатель":

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

УЧРЕДИТЕЛЬ И ИЗДАТЕЛЬ

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

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

Редакция не несет ответственности за достоверность информации в публикуемых материалах. Мнение редакции не всегда совпадает с мнением авторов

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

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

зарегистрирован

в Государственном Комитете РФ

по печати

Reg. № 018414 от 11.01.1999 г.

Отпечатано

ЗАО "Фабрика Офсетной Печати"

Москва

Тираж 5000 экз.

Периодичность: 6 выпусков в год.

Цена свободная

СОДЕРЖАНИЕ

2. Проблемы оснащения автомобильной техники современными двигателями

Н. Свиридов

5. Информация

6. Система автоматизированного проектирования фирмы Dassault Systemes

П. Голдовский, В. Захаров

7. Новые возможности свечи зажигания

Е. Бугаец

10. Использование видеоэндоскопов фирмы EVEREST VIT для контроля авиационных двигателей

Ю. Тараканов, О. Бондарев

12. Устойчивость пристенных течений в соплах РДТТ

Ю. Кочетков

13. Информация

14. Переохлажденная "девятка"

В. Рахманин

18. Исследование динамики роторов ТНА ЖРД

В. Шерстянников

21. Информация

22. Современному зданию - современный лифт

Ю. Демин

24. Александр Микулин, человек-легенда

Л. Берне, В. Перов

28. Стратегия создания семейств современных зарубежных авиационных двигателей

В. Пономарев

31. Информация

32. Основные вехи развития отечественных авиационных поршневых двигателей

Ю. Бехли

35. О создании первого отечественного турбореактивного двигателя

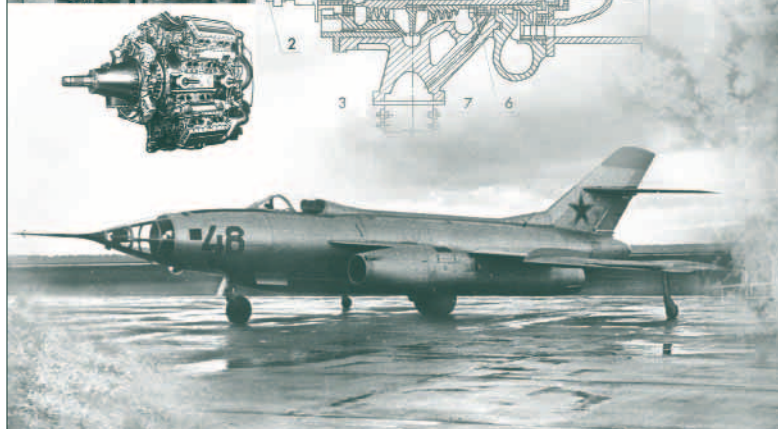
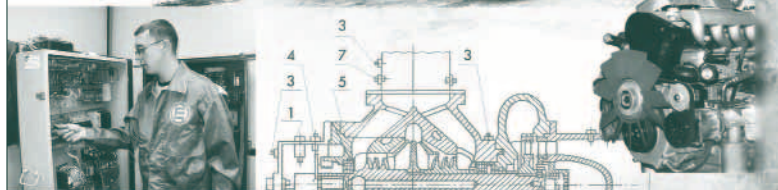
А. Николаев

38. Сегодня надо трудиться хорошо и много

Интервью с Ю. Елисеевым

41. Информация

42. Все электроэрозионные станки неодинаковы



ПРОБЛЕМЫ ОСНАЩЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ СОВРЕМЕННЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ



В большинстве государств автомобильный транспорт играет ведущую роль в обеспечении грузовых и пассажирских транспортных перевозок. Это положение в полной мере относится и к нашей стране. При наших расстояниях этот вид транспорта заметно влияет и на общее состояние экономики России.

Николай Свиридов, к.т.н., 21 НИИИ Минобороны РФ

За последнее десятилетие, по различным данным, доля от общего грузооборота, приходящаяся на автомобильные перевозки, составила около 80 %. В отношении пассажирских перевозок данный показатель превышает 50 %.

Развитие автомобильного транспорта (АТ) на всех этапах было связано с улучшением потребительских качеств автомобилей, в том числе и экономических, связанных с издержками при эксплуатации. Свыше 80 % этих затрат составляют расходы на горюче-смазочные материалы. Стремление зарубежных компаний снизить себестоимость перевозок привело к широкому использованию дизельных двигателей, которые, как известно, имеют более высокую топливную экономичность по сравнению с бензиновыми двигателями (до 30 % снижения затрат). Несмотря на то, что стоимость дизеля выше по сравнению со стоимостью карбюраторного двигателя аналогичной мощности, применение дизелей является экономически оправданным. Следует также отметить, что по мере внедрения современных технологий и новых технических решений относительная разница в цене дизельного и бензинового двигателя неуклонно уменьшается.

Дизелизация парка автомобилей, широко развернувшаяся за рубежом в 60-х годах прошлого века, предопределила интенсивное развитие двигателестроительных компаний, которые для удовлетворения потребительского спроса обеспечили выпуск широкой гаммы автомобильных дизелей, охватывающих диапазон мощностей от 50...60 до 750...800 л.с. и более. Это позволило к 1970 г. в таких странах, как США, Англия, ФРГ, довести долю грузового и пассажирского автотранспорта, оснащенного дизелями, до 90...95 % от всего его объема.

Несколько иная ситуация складывалась в нашей стране. В соответствии с принятой в 70-х годах прошлого века программой дизелизации отечественного автопарка, наращивался выпуск дизелей, предназначенных преимущественно для оснащения грузовых автомобилей производства МАЗ, КрАЗ, осваивался выпуск новых дизелей для автомобилей КамАЗ (вначале на Ярославском моторном заводе - ЯМЗ, затем на заводе дизельных двигателей КамАЗа), а также велись работы по переоснащению автомобилей с карбюраторными двигателями на дизельные собственной разработки (Зил, ГАЗ).

В силу разных причин принятые решения впоследствии далеко не всегда доводились до воплощения. Так, на автомобилях малой грузоподъемности (до 1 тс), выпускавшихся на автозаводах в Ульяновске и Ереване, продолжали применяться карбюраторные двигатели. Разработка дизельных двигателей для автомобилей данного класса или не проводилась, или не получила должного развития. Кроме этого, вследствие получившей широкое распро-

странение и неплохо отлаженной системы централизованных перевозок больших и средних партий грузов, промышленность не выпускала автомобили грузоподъемностью 1...2,5 тс. Имевшаяся потребность в перевозках малых партий грузов удовлетворялась путем использования грузовых вариантов автомобилей ИЖ, УАЗ, ЕрАЗ ("каблучков" и "пикапов") и, в меньшей степени ГАЗ.

Развитие двигателестроения в стране шло с жесткой привязкой к номенклатуре выпускаемой грузовой автомобильной техники. Данное положение, а также практическое отсутствие конкуренции между отечественными двигателестроителями на внутреннем рынке привело к возникновению ряда проблем в области оснащения дизельными двигателями автотранспорта грузоподъемностью до 2,5 тс. Самыми животрепещущими из нерешенных вопросов следует считать отсутствие в серийном производстве автомобильных дизелей с рабочим объемом до 4...6 л и мощностью до 200...240 л.с., а также недостаточно высокий технический уровень серийных дизелей по сравнению с зарубежными аналогами.

Проблемы автомобилестроения самым непосредственным образом влияют на оснащенность российских Вооруженных Сил военной автомобильной техникой (ВАТ) и, в частности, автомобилями грузоподъемностью от 1 до 2,5 тс, особенно - перспективными, с современными дизелями мощностью 110...200 л.с. Специалисты Минобороны полагают, что на современном этапе развития и в перспективе основным двигателем для силовой установки новых образцов ВАТ будет



Таблица 1

Технические характеристики дизелей семейства ЯМЗ-530			
Характеристика	Модель двигателя		
	ЯМЗ-533	ЯМЗ-534	ЯМЗ-536
Число и расположение цилиндров	3, рядное	4, рядное	6, рядное
Схема топливоподдачи	Индивидуальные столбиковые насосы		
Диаметр цилиндра/ход поршня, мм	102/122		
Рабочий объем, л	3	4	6
Мощность, л.с.	110	160	240
Номинальная частота вращения коленчатого вала, об/мин	2300		
Максимальный крутящий момент, кгс·м	40	60	90
Масса двигателя, кг	370	420	600
Минимальный удельный расход топлива, г/л.с.·ч	150	148	148
Габаритные размеры LxVxH, мм	840x686x798	972x712x836	1240x740x836
Особенности	Турбонагнетатель (ТН)	ТН + ОНВ* типа воздух-воздух, электронное управление рейкой ТНВД**, топливная аппаратура с повышенной энергией впрыскивания топлива.	

*ОНВ - охладитель нагнетаемого воздуха; **ТНВД - топливный насос высокого давления

Технические характеристики дизелей ЗМЗ-514			
Характеристика	Модель двигателя		
	ЗМЗ-514.10	ЗМЗ-514.20	ЗМЗ-514.30
Число и расположение цилиндров	4, рядное		
Схема топливоподдачи	Распределительный ТНВД		
Диаметр цилиндра/ход поршня, мм	87/94		
Рабочий объем, л	2,24		
Мощность, л.с.	98	110	130
Номинальная частота вращения коленчатого вала, об/мин	3800		
Максимальный крутящий момент, кгс·м	22	24	29
Масса двигателя, кг	225	215	215
Минимальный удельный расход топлива, г/л.с.·ч	170	160	155
Запас крутящего момента по ВСХ*, %	15	20	25
Особенности	ТН	ТН + ОНВ типа воздух-воздух	ТН + ОНВ, электронное управление топливной аппаратурой

Таблица 3

* ВСХ - внешняя силовая характеристика

являться дизель. Это связано, с одной стороны, с преимуществами дизелей, которые обуславливают их широкое применение на автомобилях общего (коммерческого) назначения, а с другой стороны, с большим по сравнению с бензиновым двигателем соответствием дизеля тем специальным требованиям, которые предъявляются к ВАТ.

Основными отечественными производителями автомобильных дизелей являются ОАО "Автодизель" и ОАО "КАМАЗ". В последние 10-15 лет проведен комплекс работ по созданию дизельных двигателей в ОАО ЗМЗ, ОАО ГАЗ, АМО ЗИЛ. Ниже приведен краткий обзор перспективных разработок дизельных двигателей с рабочим объемом от 2,24 до 6 л.

ОАО "Автодизель"

В настоящее время предприятие ведет разработку и подготовку к производству нового семейства двигателей ЯМЗ-530.

Двигатели имеют достаточно высокий технический уровень, в основном соответствующий уровню зарубежных аналогов.

С учетом возможных модификаций диапазон мощностей, перекрываемый семейством дизелей ЯМЗ-560, может составить от 60 до 260 л.с. По прогнозам завода потребность различных производителей автомобильной и сельскохозяйственной техники в двигателях семейства может составить до 100 000 единиц в год. Кроме того, 4- и 6-цилиндровые модели дизелей и их модификации можно применить на военной автотехнике грузоподъемностью 2,5...4 тс. Они пригодны также для комплектования высококомобильной техники грузоподъемностью 1,5 тс.

Следует учесть, что внедрение в серийное производство двигателей семейства ЯМЗ-530 в ближайшее время только си-

лами завода практически невыполнимо ввиду необходимости привлечения значительного объема финансовых средств (более \$100 млн при организации выпуска в объеме до 50 000 штук в год) и требует государственной поддержки.

ОАО "ГАЗ"

С 1997 г. завод приступил к освоению производства двигателей М-14 и М-16 по лицензии фирмы Steyr (Австрия), получивших наименование ГАЗ-560 и ГАЗ-562.

В отношении этих двигателей к настоящему времени сложилась сложная обстановка. Большие трудности выявились при освоении технологии производства базовых деталей, в частности, блока цилиндров. Значительное количество комплектующих в стране не производится, не развита сеть сервисного обслуживания в регионах. Все это привело к падению потребительского спроса на указанные дизели. В результате завод пересмотрел техническую политику в отношении двигателей семейства ГАЗ-560 и планирует свернуть их освоение.

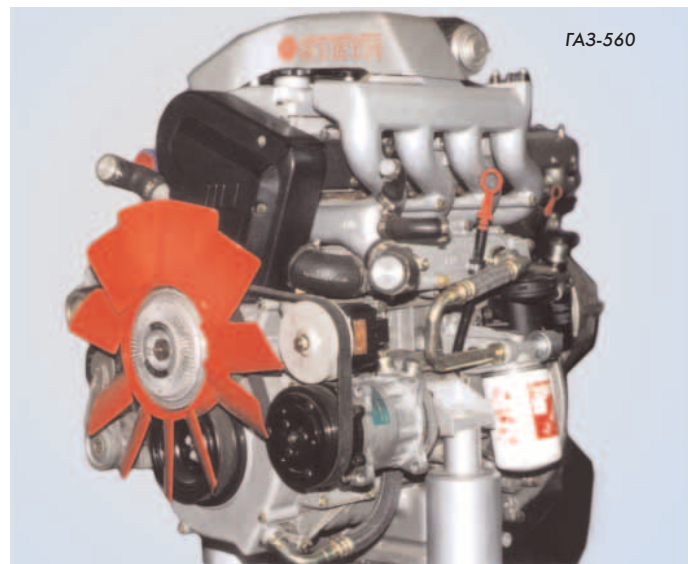
ОАО "ЗМЗ"

Убедившись в возрастании спроса на дизели малой мощности (до 110...125 кВт), ЗМЗ с конца 1990-х годов приступил к разработке дизелей размерности 87/94 мм.

Опытные образцы прошли цикл доводочных работ и имеют достаточно высокие технико-экономические показатели. В текущем году ЗМЗ разработал программу освоения (с 2005 г.) в серийном производстве семейства дизельных двигателей на базе ЗМЗ-514, предусматривающую выпуск до восьми модификаций двигателей мощностью 98...186 л.с. Однако, как и в

Таблица 2

Технические характеристики дизелей ГАЗ			
Характеристика	Модель двигателя		
	ГАЗ-560	ГАЗ-562	ГАЗ-562В
Число и расположение цилиндров	4, рядное	6, рядное	6, рядное
Схема топливоподдачи	Насос-форсунка		
Диаметр цилиндра/ход поршня, мм	85/94		
Рабочий объем, л	2,13	3,2	
Мощность, л.с.	110	150	175
Номинальная частота вращения коленчатого вала, об/мин	3200		
Максимальный крутящий момент, кгс·м	250	-	315
Масса двигателя, кг	-	250	250
Минимальный удельный расход топлива, г/л.с.·ч	158	154	162
Габаритные размеры LxVxH, мм	2055x1045x1100	1840x1045x1070	2180x1045x1070
Особенности	ТН+ОНВ типа вода-воздух с перепуском ОГ, топливная аппаратура с электронным управлением рейкой, моноблочное исполнение блока цилиндров.		



случае с дизелями ЯМЗ-530, начало серийного производства данных дизелей возможно только при наличии целевой государственной поддержки.

Отметим, что в настоящей статье не рассматриваются дизели для автомобилей ВАЗ производства БЗТМ и дизели Минского производства, составляющие отдельную тему для разговора.

Таким образом, в настоящее время сложилась достаточно сложная и, в некоторой степени, парадоксальная ситуация. С одной стороны, есть значительная потребность в дизелях как для автомобилей коммерческого назначения, так и для нужд Минобороны, есть и законченные разработки, прошедшие цикл заводских, пробеговых и других испытаний (в том числе и на изделиях спецтехники), показавшие достаточную отработанность их конструкции. С другой стороны, этих двигателей, ввиду неосвоенности их в серийном производстве, как бы и не существует. Прогнозы динамики освоения новых разработок силами самих заводов таковы, что к моменту начала производства эти двигатели морально устареют и перестанут соответствовать предъявляемым требованиям. Данная проблема может быть решена только на государственном уровне, так как требуется привлечения значительных финансовых средств.

Вторая проблема связана с недостаточно высоким техническим уровнем выпускаемых серийно двигателей (как бензиновых, так и дизелей). Вызывает тревогу современное состояние производственной базы двигателестроительных предприятий. Так, анализ продолжительности эксплуатации станочного оборудования ОАО "Автодизель" (металлорежущие станки, кузнечно-прессовое оборудование) показывает, что общее состояние производственной базы предприятия можно характеризовать как тяжелое. Доля оборудования, имеющего предельный и близкий к нему износ, составляет практически 2/3 всего объема.

Таблица 4

Возраст парка станочного оборудования ОАО "Автодизель"		
До 5 лет	От 5 до 20 лет	Свыше 20 лет
1,1 %	33,9 %	65 %

В рамках программы "Национальная стратегия автомобильной промышленности Российской Федерации" и межгосударственной программы Белоруссии и России "Развитие дизельного автомобилестроения" предприятием разработана долгосрочная программа технического перевооружения и организации выпуска модернизированных и новых высокоэффективных силовых агрегатов многоцелевого назначения с повышенными потребительскими качествами.

Анализ продолжительности эксплуатации основного технологического оборудования КАМАЗ показывает, что состояние



3M3-514.10

производственной базы предприятия находится в несколько лучшем положении, чем у ОАО "Автодизель".

Таблица 5

Возраст парка станочного оборудования ОАО "КАМАЗ"			
До 5 лет	От 5 до 15 лет	От 15 до 20 лет	Свыше 20 лет
1 %	7 %	38 %	54 %

На предприятии проводится целевая программа по модернизации имеющегося и закупке нового оборудования, в том числе с привлечением иностранных кредитов.

Тем не менее, учитывая ужесточающиеся требования к двигателям, в том числе и в части экологических показателей, можно предположить, что при сохранении сложившегося состояния производственной базы (а со временем и возможного его ухудшения) отечественные предприятия не смогут в полном объеме обеспечить выполнения требований потребителей при серийном производстве перспективных образцов двигателей, планируемых к освоению в период 2005-2015 гг.

Отставание технического уровня отечественных двигателей и отсутствие дизелей с необходимыми характеристиками привело к использованию российскими автостроителями импортных дизелей, что при дальнейшем развитии этой тенденции может привести к окончательному непреодолимому отставанию технического уровня отечественных разработок.

С точки зрения использования двигателей для укомплектования ВАТ, сложившееся положение усугубляется более жесткими требованиями, которые предъявляются к военным силовым установкам. Кроме того, возникают определенного рода противоречия между обеспечением специальных требований к двигателям военной техники и вводимыми в настоящее время нормами ЕВРО. В частности, это относится к вопросу обеспечения многотопливности двигателей. Как известно, выполнение норм ЕВРО-3 неизбежно связано с применением в той или иной степени электронных средств управления процессом топливopодачи, повышением давления впрыскивания топлива и точности изготовления прецизионных пар, а также обеспечением соответствующего качества применяемого топлива. Вследствие этого, даже если конструкция топливной аппаратуры позволит использовать другие, отличные от дизельного, топлива, следует ожидать значительного ухудшения показателей работы двигателя. В случае же изготовления топливной аппаратуры в многотопливном варианте и организации рабочего процесса дизеля с допустимым ухудшением показателей его работы при использовании различных топлив следует ожидать невыполнения норм ЕВРО на штатном топливе.

Подобного рода противоречия могут возникнуть и в связи с обеспечением других требований к силовым установкам ВАТ. В связи с этим необходимо принятие решения на соответствующем уровне: следует пойти либо на неприменение отдельных требований данных стандартов к ВАТ, либо (что считается недопустимым) на отказ от части специальных требований к ВАТ и ее составным частям в интересах обеспечения требований норм ЕВРО-3.

Таким образом, необходимо в возможно более короткие сроки решить ряд серьезных задач, основными из которых являются:

- освоение производства новых дизелей;
- сокращение сроков разработок новых и модернизации серийных двигателей и комплектующих;
- обновление производственной базы, внедрение и освоение новых технологий производства и материалов.

Частично решение этих задач возможно на основе принятой Концепции развития автомобилестроительной промышленности России. Кроме этого необходимо четкое выполнение уже утвержденных целевых программ, а также государственная поддержка развития автомобильного двигателестроения в вопросах освоения новых разработок и скоординированные усилия всех заинтересованных предприятий автомобилестроительной отрасли. **ПА**

С 3 по 4 декабря 2002 г. в Москве состоялась XI международная автомобильная конференция на тему: "Российский автопром. Процессы реструктуризации: эффективность, тенденции, перспективы". Организатора конференции - ОАО "Автосельхозмаш-холдинг" - поддержало Министерство промышленности, науки и технологий РФ. На конференции были подведены итоги развития российского автопрома в 2002 г., обсуждены произошедшие за этот год изменения в организационном, техническом и экономическом аспектах, дана оценка результатов интеграции и взаимодействия с зарубежными фирмами.

Первым с большим докладом выступил заместитель министра науки, промышленности и технологий С. Митин. Его доклад строился на анализе состояния российского автопрома и его места в мировом производстве легковых и грузовых машин, а также автобусов (в 2001 г. в России был изготовлен миллион с четвертью автомобилей, что составило 2,8 % мирового объема, в том числе более миллиона легковых машин). Дальнейшее развитие отечественного автомобилестроения замминистра видит в выполнении Концепции развития автомобильной промышленности. Данная Концепция была разработана минпромнауки совместно с минэкономики, согласована с минфином, Минобороны, МВД, МЧС, Минобразования и одобрена распоряжением правительства от 16.06.2002 г. № 978-р. Министерством была разработана программа по реализации Концепции.

Главная цель Концепции - развитие российского автопрома и его интеграция в мировую систему автомобилестроения. В Концепции просматривается три основных направления:

- развитие и реформирование действующих предприятий на основе внедрения наукоемких технологий;
- создание новых производств автомобильной техники, в том числе с привлечением иностранных компаний;
- создание индустрии автомобильных компонентов мирового уровня.

В Концепции содержатся требования, направленные на обеспечение соответствия транспортных средств международным нормам по безопасности и экологии. Планируется достичь требований Евро-4 к 2008 г. Решение данной проблемы должно производиться комплексно, оно включает в себя различные мероприятия: от повышения качества моторных топлив до запрета эксплуатации автотранспортных средств, не отвечающих требованиям по выбросам вредных веществ. Специалисты утверждают, что если соответствия требованиям Евро-2 можно добиться благодаря повышению качества изготовления, сборки и регулировки, то обеспечить выполнение требований Евро-3, а тем более Евро-4 можно лишь путем радикального совершенствования конструкции.



В связи с этим уже сейчас проводятся подготовительные работы, связанные с созданием новых двигателей. В первую очередь упор делается на разработку дизелей. Как отметил в своем выступлении первый заместитель генерального директора НАМИ Г. Корнилов, к началу 2003 г. институт должен подготовить предложения по созданию дизельных двигателей мощностью от 60 до 270 л.с., сегодня в России не изготавливаемых.

Одним из препятствий, с которым столкнулись конструкторы в процессе разработки и изготовления дизельных двигателей малого объема (1,5 л), оказалось низкое качество комплектующих, в первую очередь топливной аппаратуры, турбокомпрессоров, цилиндропоршневой группы. Дизельные двигатели с рабочим объемом 2,0...3,4 л в четырех- и пятицилиндровом исполнении разрабатываются для легковых машин "Волга" и "УАЗ". С самого начала производства они должны будут соответствовать требованиям Евро-3. Двигатели данного класса будут разрабатываться на Заволжском моторном заводе. К созданию такого же двигателя приступят и на Горьковском автомобильном заводе совместно с IVECO. То, что два предприятия будут производить двигатели одного класса мощности, вряд ли приведет к конкуренции - потребность в них большая.

Двигателями больших объемов будут заниматься КАМАЗ, ЯМЗ, ТМЗ и другие предприятия, у которых свои традиции, опыт и связи с зарубежными фирмами.

Бензиновые двигатели также получат дальнейшее развитие, но уже без карбюраторов, которые, вполне возможно, доживают свой век.

Но какие бы двигатели и машины ни разрабатывались, успех фирмы зависит, прежде всего, от качества производимой продукции и полноты учета требований потребителей. Эту мысль подчеркнул в своем выступлении представитель компании "Даймлер-Крайслер" в Москве господин Т. Гертиг.



С. Митин



Г. Корнилов



Т. Гертиг

СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ФИРМЫ **DASSAULT SYSTEMES**

Фирма "ГЕТНЕТ": **Павел Голдовский, Владимир Захаров**

В мире не осталось уже сложных изделий, которые можно было бы спроектировать, не используя современных методов автоматизированного проектирования. И двигатели здесь, конечно же, не исключение.

В последнее время все большее распространение в мире приобретает разработанная фирмой IBM стратегия управления жизненным циклом PLM (Product Lifecycle Management), опирающаяся на данные системы автоматизированного проектирования.

Одним из широко распространенных пакетов PLM-решений является пакет, базирующийся на программных продуктах фирмы Dassault Systemes. Пакет включает систему высокого уровня САПР CATIA и подсистемы ENOVIA и SmarTeam, реализующие технологию коллективного управления данными PDM (Product Data Management).

Проектирование в системе CATIA V5 основано на применении стандартизированного формата данных и инструментов. В процессе проектирования создается многопараметрическая управляемая база данных модели-шаблона. В нее входят все геометрические параметры, теоретические расчеты, рекомендации, стандарты, базы данных деталей и комплектующих и т.д. Система позволяет значительно упростить процесс согласования между проектировщиками и производственниками. Если объектами проектирования являются сложные детали или узлы, то проект может быть разделен между несколькими разработчиками. Учитывая крайне сжатые сроки, отведенные на разработку, и ограниченность объемов финансирования, заказчики и разработчики получают замечательную возможность параллельной работы с проектом.

Обнаружение на раннем этапе проекта несовместимости между исходной моделью проекта и результатами деятельности отдельных разработчиков производится с помощью программных инструментов раннего контроля. Эти инструменты (такие, как CAE - "система инженерного анализа") на этапе концептуального проектирования дают возможность сохранять ассоциативность связей отдельных элементов модели, что позволяет гибко вносить изменения в проект.

Первый шаг при создании мастер-шаблона связан с запросом необходимых комплектующих для нового изделия. Затем формулируются фундаментальные решения, определяющие архитектуру мастер-шаблона. Параметрическая модель должна удовлетворять всем поставленным условиям и быть построена на тех же принципах, какие включены в мастер-шаблон.

В то время как дизайнер работает над обликом изделия, конструкторы и технологи выбирают способы изготовления отдельных узлов и изделия в целом. Для этого используются различные методы с привлечением информации, находящейся в мастер-шаблоне. Быструю оценку эскизов и конкретных особенностей конструкции произ-

водят путем сравнения с аналогичными деталями, помещенными в каталоги. Могут привлекаться как специализированные каталоги, так и система PDM SmarTeam.

На стадии формирования концепции все предварительно спроектированные элементы объединяют, чтобы воспроизвести готовый виртуальный опытный образец, или, как его нередко называют, электронный макет изделия (Digital Mock-Up - DMU). Здесь можно приблизительно оценить стоимость изделия, опираясь на знание характеристик материалов, стоимость отдельных деталей и т.д. Составляются чертежи, схемы и список материалов. Производится проверка конечной геометрии, автоматически вносятся в список ключевые решения проекта, используемые стандарты, стандартизированные размеры и пр.

Затем координаты отдельных точек DMU передаются в электронную модель опытного образца. С помощью "облака точек" в CATIA V5 существует возможность задания поверхностей и формирования твердотельных моделей. Изменения быстро включаются в цифровой макет изделия, при этом поддерживаются параллельные процессы.

Система SmarTeam позволяет в реальном масштабе времени задать способ механической обработки и определить необходимый набор инструментов. Другие отделы предприятия на основе информации SmarTeam могут начинать предварительную работу, заказывая детали, материалы и т.д.

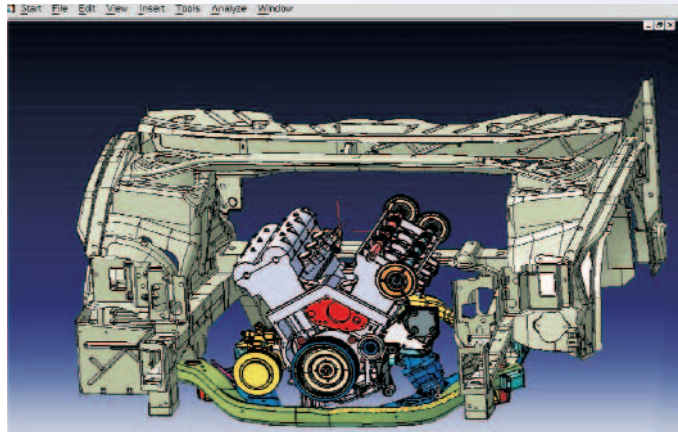
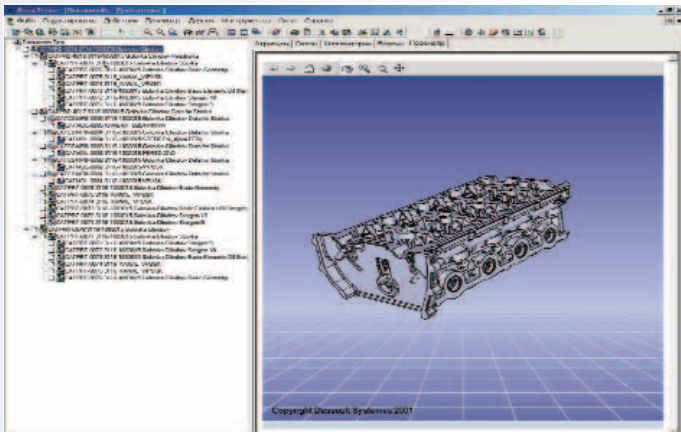
В дальнейшем с привлечением методов трехмерного конструирования разрабатываются окончательные детальные и сборочные чертежи. В системе CATIA V5 имеются мощные модули, предназначенные для формирования программ многокоординатных фрезерных станков с ЧПУ.

Система CATIA V5 имеет открытую архитектуру, позволяет добавлять собственные наработки, программы и функции, необходимые для расширения возможностей специализированных модулей, допускает программирование на языках VB CATIA, JAVA, C++, VBA, Basic Script. Следующий уровень автоматизации обеспечивается внедрением PPR-технологий (Product-Process-Resource: "продукт - технологический процесс - ресурс"). На этом этапе не только обрабатываются данные об изделии, но и осуществляется управление данными технологического процесса и данными ресурсов.

Внедрение программного обеспечения, разработанного фирмой Dassault Systemes для проектирования двигателей, позволяет предприятию выпускать качественную продукцию, значительно повысить эффективность производства и достаточно просто перейти от одного проекта к другому, повышая конкурентоспособность своей продукции.

Фирма "ГЕТНЕТ", партнер IBM.

Тел.: (095) 742-5788, <http://www.catia.ru>



НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ СВЕЧИ ЗАЖИГАНИЯ

Свеча зажигания - неотъемлемый атрибут двигателя внутреннего сгорания с легким топливом. Первая свеча появилась на свет более 160 лет назад вместе с первым двигателем (без сжатия) француза Ленуара. Затем немец Отто создал более эффективный двигатель со сжатием. С тех пор началась бурная совместная эволюция двигателя и его свечи.

Свеча служит для воспламенения топливоздушного смеси в камере сгорания двигателя. Классическая свеча, знакомая всем автолюбителям, содержит стальной корпус с резьбой и шестигранным, изолятор с центральным электродом, образующий искровой зазор с боковым электродом. Несмотря на простоту и многолетнюю историю модернизации, свеча по-прежнему является одним из самых напряженных узлов двигателя. Причина - в тяжелых условиях эксплуатации: циклические воздействия высоких напряжений, температуры, давления, широкий диапазон режимов двигателя, отложения продуктов сгорания, электроэрозия и др. На совершенствование свечи тратились и до сих пор тратятся большие ресурсы. Недаром только за последние пять лет в Патентном фонде США зарегистрировано более 7 тысяч "свечных" патентов.

Бытует, однако же, мнение, что свеча и система зажигания достигли определенного совершенства. Что от них мало что зависит, лишь бы были исправны. А главное - "железо" и объем двигателя. Так ли это?

Евгений Бугаец, д.т.н.

Электрический КПД

Оценим, какая часть электрической энергии высоковольтного импульса выделяется в искре свечи. Как известно, основная доля энергии искры в современных двигателях выделяется на этапе индуктивной фазы разряда. Источником высоковольтной электрической энергии является катушка зажигания. Количество накапливаемой энергии пропорционально величине первичной индуктивности катушки, поэтому последняя получается весьма тяжелой и материалоемкой. Сопротивление высоковольтной цепи системы зажигания определяется как сумма сопротивлений элементов. Сопротивление вторичной обмотки катушки зажигания ~ 5 кОм, сопротивление двух проводов ~ 10 кОм, встроенное сопротивление высоковольтного распределителя ~ 5 кОм. Таким образом, суммарное сопротивление составляет ~ 20 кОм. Бывает еще встроенное в свечу помехоподавляющее сопротивление ~ 5 кОм. Оценим теперь сопротивление искрового зазора ($R_{из}$). Учитывая, что напряжение между электродами после пробоя падает до 300 В, а ток разряда в среднем равен 300 мА, то $R_{из} \sim 1$ кОм. Отсюда следует, что электрический к.п.д. искры $\epsilon_э \sim 5\%$.

Тепловой КПД

Ток разряда в искре превращается в джоулево тепло, которое и осуществляет поджигание воздушно-топливной смеси. Представим искру как некую нить накаливания, натянутую между двумя электродами свечи и существующую в течение 1 мс и более. Главными "потребителями" тепла искры являются электроды. Особенно много энергии расходуется на них при пуске двигателя, когда оба электрода по существу переохлаждены. Далее влияние центрального электрода снижается. Расчет возникающих потерь далеко не прост, поэтому согласимся с мнением других авторов, которые оценили потери тепла на разогрев электродов величиной $\sim 70\%$.

Но электроды - не единственные паразиты, пожирающие драгоценное тепло искры. Сам вихрь, бушующий в камере сгорания, постоянно уносит тепло. Скорость вихря максимальна именно у стенок камеры сгорания, где расположен искровой зазор свечи. И совсем беда, если в искру попадет капля бензина или влаги. Этим объясняются проблемы с запуском двигателя и нестабильностью его работы. При высоких оборотах появляются пропуски зажигания. С учетом всего сказанного тепловой к.п.д. искры осторожно оценим величиной $\epsilon_т \sim 15\%$.

Приходится только удивляться, как двигатель с такими потерями еще работает. Но самое удивительное впереди.

Механические потери из-за асимметрии горения

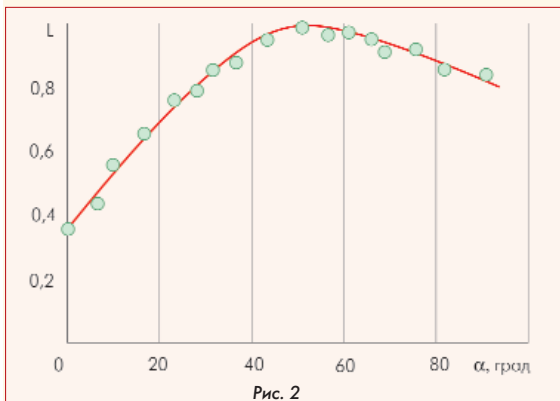
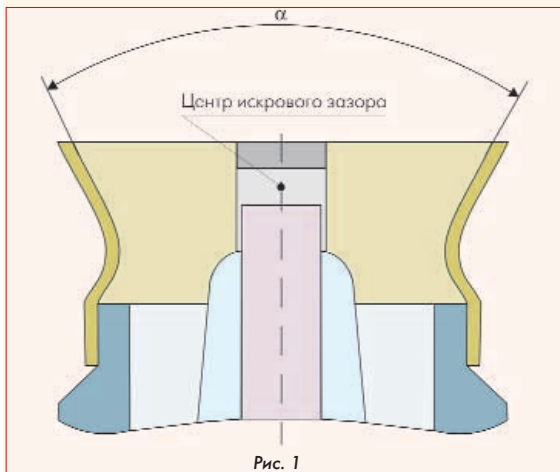
Поскольку свеча в камере сгорания реальных двигателей является пассивным точечным источником тепла, расположенным у стенки камеры сгорания, то конфигурация фронта пламени при развитии горения воздушно-топливной смеси определяется вихревыми

потоками. Динамика изменения трехмерной поверхности фронта пламени является достаточно сложной и может быть разделена на два временных этапа. На первом этапе пламя от искры распространяется в виде постоянно расширяющейся трехмерной спиральной поверхности вдоль стенки в один из углов камеры, а оттуда в центр. Центром камеры сгорания является центр дна поршня в положении верхней мертвой точки (ВМТ). Это на самом деле особая точка, так как именно из нее на втором этапе фронт пламени начинает распространяться практически равномерно во все стороны. При этом возникшая на первом этапе "спираль" продолжает поддерживаться от искры, поэтому горение завершается в другом углу камеры сгорания, противоположном "спирали".

Казалось бы, что в этом плохого. Но, как часто бывает в природе, асимметрия редко бывает безвредной. Судите сами, ведь горение происходит в замкнутом, практически неизменном по объему пространстве. Поэтому по мере сгорания топлива давление в камере увеличивается, а это дает прогрессивный рост скорости распространения пламени. Далее, оптимально настроенным двигателем считается такой, в котором горение завершается на грани детонации. Это означает, что финишная скорость горения должна составлять 1,2...1,5 км/с, то есть существенно превышать скорость звука. Из-за быстротечности процессов в камере фактически нарушается закон Паскаля, поскольку в области завершения горения кратковременно давление будет заметно превосходить давление в других областях камеры сгорания. Другими словами, высокое давление генерируется со скоростью большей, чем скорость выравнивания давления в замкнутом объеме.

Напомню читателям об эффекте, открытом австрийским физиком Махом: "При завершении горения воздушно-топливной смеси в замкнутой камере температура сгоревших газов в зоне источника зажигания наибольшая и уменьшается к границам зоны горения". Опираясь на выполненные автором исследования, можно сформулировать положение, дуальное Махе-эффекту: "В момент завершения в замкнутой камере горения воздушно-топливной смеси со скоростью, близкой к скорости звука, давление сгоревших газов в зоне завершения горения наибольшее и уменьшается по мере удаления от нее". Чем выше скорость завершения горения, тем больше указанная разница в давлении.

К чему это приводит? Посмотрите внимательно на поршень, находящийся в области ВМТ. По сути, это балансирующая система с точкой опоры практически в центре поршня. По мере увеличения реакции нагрузки данная балансирующая система приближается к стационарной. Между тем, балансирующие системы обладают очень важным тонким свойством: малая асимметрия может привести к большим последствиям. Например, триггер, находящийся в равновесном состоянии переходит в одно из двух устойчивых состояний под воздействием всего одного электрона. А вспомните штангиста, выполняющего упражнение "рывок", или эффект домино.



слишком сложным и дорогим техническим решениям. Большая протяженность пути фронта пламени приводила к тому, что при высокой частоте вращения вала приходилось поджигать воздушно-топливную смесь задолго до ВМТ (увеличивать угол опережения зажигания), а фаза сжатия заканчивалась уже после зажигания воздушно-топливной смеси. Если рассматривать индикаторную диаграмму, то при этом тепловая энергия нарастает в фазе сжатия и, естественно, уменьшается в фазе расширения. Таким образом, с ростом частоты вращения вала крутящий момент падает "с удвоенной скоростью". Затем наступает момент, когда двигатель "визжит, но тянуть уже не может", так как способен обслуживать только сам себя. И все это, в основном, из-за долгого горения или неверного способа зажигания.

В итоге мы можем сделать вывод, что системы зажигания современных двигателей грешат принципиальными недостатками.

Новая свеча

Все недостатки, рассмотренные выше, устраняются, если горение воздушно-топливной смеси начать в центре камеры сгорания. И сделать это разумнее всего с помощью факельного зажигания по аналогии с лучшими форкамерными двигателями. Первый форкамерный двигатель был предложен Рикардо в 1918 г., а последний был снят с производства в начале 80-х. И это удивительно, так как форкамерные двигатели были лучше обычных по всем показателям, кроме одного - они были сложнее, особенно в отношении системы питания и газораспределения. Вероятно, последнее и переве-

сило в извечном компромиссе: цена - качество.

Главное достоинство факельного зажигания - его активность. Факел способен преодолеть заметные расстояния как поперек, так и навстречу вихрю.

В 1994 г. автором и его коллегами были начаты исследования по созданию системы зажигания и свечи с факельным эффектом. Мы сразу отказались от направления совершенствования форкамерных свечей, которыми занимались некоторые специалисты, ибо, "что позволено Юпитеру, то не позволено быку". Форкамера в свече и в двигателе несопоставимы. Малые размеры, ограничения по форме форкамеры, отсутствие вентиляции и обогащенной смеси в совокупности с другими причинами не позволяют сформировать стабильные и мощные факелы в свече. Неоднократные испытания показали, что при запуске двигателя, на холостом ходу и при резком дросселировании форкамерные свечи уступают обычным. Они хорошо работают только при больших стационарных нагрузках. Такие свойства не устраивают большинство потребителей.

Мы остановились на принципиально новом неочевидном решении. У нашей свечи центральный искровой зазор окружен симметричной усеченной конусной поверхностью (рис. 1), выполненной в виде насадки, которая закреплена на резьбовом торце корпуса и содержит канал для бокового электрода. Насадка изготовлена из тонкостенного особо жаростойкого сплава, обладающего антикальными свойствами (патент РФ № 2185015).

В чем неочевидность решения? Конструкция свечи полукрытая, но при этом свеча обладает факельным эффектом. В ходе проведенных экспериментов была исследована зависимость эффективности свечи от угла α при вершине конической обечайки (рис. 2). Почему максимум длины факела достигается при $\alpha \sim 50^\circ$? Все это мы объяснили неким "эффектом формы". Академик А.Е. Акимов назвал нашу свечу "торсионным генератором". Но главное все же не в том, как назвать, а в том, какими качествами обладает новая свеча.

Важным достоинством нашей свечи является возможность организации ее производства на базе стандартных свечей лучших фирм-производителей, например, NGK (рис. 3). Это позволяет без больших инвестиций получить высокое качество изделия.

Аналогично, когда через 15° поворота коленвала, после прохождения ВМТ завершается горение воздушно-топливной смеси со сверхзвуковой скоростью, поршень, наряду с равномерным давлением на все дно, получает удар "кувалдой" по одному краю. Ему "ничего не остается", кроме поворота относительно точки опоры, что приведет к кратковременному заклиниванию поршня в цилиндре. При этом в двигателе с двумя клапанами на цилиндр поршень поворачивается перпендикулярно оси пальца. С ростом нагрузки и падением оборотов двигателя заклинивающий эффект нарастает, что ведет к быстрому уменьшению крутящего момента, вплоть до полной остановки двигателя. При этом двигатель перед тем как заглохнуть, "козлит". Это явление объясняется тем, что поршни по очереди "проскакивают" через заклиненное состояние. У холодного двигателя заклинивающий эффект максимален, так как в этом случае возрастает угол поворота поршня из-за большого теплового зазора.

В мировой практике с этим явлением начали бороться не сразу. Подсказал случай. В авиации из соображений надежности стали применять две симметричные свечи на цилиндр. Это повысило мощность двигателя на 5%. Такое решение в автомобильной практике первой использовала HONDA, так как убедилась в значительном повышении крутящего момента на "низах". Далее к такому же решению прибегла Alfa-Romeo. И совсем недавно - Daimler-Chrysler. Однако внедрение дублированной системы зажигания - недешевое удовольствие и, кроме того, оно фактически означает необходимость разработки нового двигателя. А что делать с сотнями миллионов автомобилей, которые уже колесят по всему свету?

Кроме того, применение двух свеч на цилиндр не устраняет другой недостаток.

Снижение крутящего момента при высокой частоте вращения коленвала

Длина пути распространения фронта пламени в реальных камерах сгорания составляет не менее трех радиусов поршня. Иными словами, при существующем способе искрового зажигания протяженность пути горения увеличена втрое по сравнению с теоретически минимально возможной. Попытки применить длинную свечу (SAAB), лазер, СВЧ энергию закончились либо неудачей, либо вели к

Именно благодаря "полуоткрытости" конструкции свечи ей не страшны проблемы вентиляции и засорения продуктами неполного сгорания. Она работает лучше обычной свечи на всех режимах двигателя, лучше форкамерной свечи, так как формирует более мощный расходящийся факел (рис. 4). Приведенные фотоснимки были сделаны в двухтактном одноцилиндровом двигателе мотоцикла "ИЖ Планета" не случайно. Двигатель имеет идеально симметричную камеру сгорания в виде полусферы с высотой 35 мм, а свеча располагается вертикально на оси симметрии цилиндра. Следовательно, можно было рассчитывать на предельные результаты. Так и получилось.

Первый эксперимент. Двигатель со штатной системой зажигания устойчиво работает на режиме холостого хода при частоте вращения вала 800 об/мин. Устанавливаем факельное зажигание с энергией высоковольтного импульса 180 мДж. Закручиваем в карбюраторе винт холостого хода до упора. Минимальная частота вращения вала двигателя уменьшилась до ... 100 об/мин. Невероятно, но двигатель продолжал работать устойчиво!

В ходе второго эксперимента проверялась приемистость двигателя со штатной и новой свечой без нагрузки. Двигатель со штатной системой зажигания набирал максимальную частоту вращения вала в течение ~ 3 с. После замены свечи мотор без видимой задержки буквально "взрывается", при этом частота вращения вала "зашкаливает". При попытках трогания мотоцикла с места с быстрой дачей "полного газа" мотоцикл опрокидывался. Тронуться удавалось только на "полугазе".

Автомобильные двигатели не обладают подобной симметрией камеры сгорания, клапаны мешают. Поэтому результаты получились несколько скромнее. В процессе экспериментов были установлены зависимости к.п.д. новой свечи от многих обстоятельств: формы камеры сгорания, положения свечи, энергии и длительности искры, качества воздушно-топливной смеси.

Наиболее выгодной оказалась установка разработанной свечи на двигатель устаревшей конструкции с двумя клапанами на цилиндр; при этом свеча располагалась сбоку, ее ось

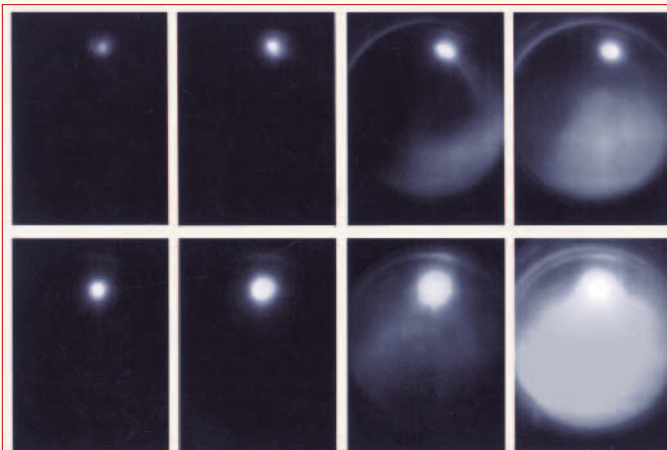


Рис. 4. Динамика развития области горения:
верхний ряд - при штатной системе зажигания;
нижний ряд - со свечой, обеспечивающей факельное зажигание


проходила через центр камеры сгорания (рис. 5). В этом случае воздушно-топливная смесь, выжатая поршнем в ВМТ, помогала пламени достичь центра камеры сгорания. В таких двигателях удалось получить высокие результаты путем замены стандартных свечей новыми. Результаты улучшаются, если использовать усилители искры (конденсаторы). Они сокращают длительность существования искры и в сотни раз повышают ее мощность.

В современных двигателях (четыре клапана на цилиндр, свеча вертикальная) наблюдается обратная картина. Воздушно-топливная смесь, выжатая поршнем в ВМТ, мешает факелу достичь центра камеры сгорания (рис. 6). Замена свеч дает эффект только для двигателей с малым объемом, работающих при большой частоте вращения вала (3000 об/мин и выше). Для кардинального решения данной проблемы, как уже отмечалось, требуется повышать энергию высоковольтного импульса до 150 мДж. Если ось свечи проходит через край поршня, то использование факельного зажигания теряет смысл.

Наши исследования позволяют констатировать, что факельное зажигание улучшает одновременно все параметры двигателя и автомобиля: скорость, приемистость, экономичность, экологичность. Особенно важным достижением представляется снижение уровня выбросов окислов азота. Резко уменьшилась тепловая нагруженность двигателя, значительно повысилась эластичность, появилась возможность осуществлять разгон с переходом от 1-й на 5-ю передачу. Машина "не замечает" подъемов, т.е. не снижает скорости на подъеме. Расход топлива сокращается и перестает зависеть от скорости, поэтому при поездках со скоростью 120 км/час экономия нередко достигает 30 %.

Замечено, для автомобилей с большей массой и двигателях с увеличенным диаметром поршней выигрывш увеличивается. Так, при испытаниях автомобиля "УРАЛ" на динамичность в условиях Якутии дважды ломалась крестовина, и тяжелый "УРАЛ" просто начинал прыгать. Пришлось под педаль газа поставить ограничитель.

Заключение

Многое еще предстоит исследовать, эволюция новой свечи только начинается. Но сегодня нет сомнений - новая свеча позволит весьма просто избавить наш двигатель от тяжелых "вековых" пороков. Надеюсь, что новинка заинтересует и автопром, и настоящих автолюбителей. В заключение автор выражает особую благодарность и признательность российскому изобретателю Г.Н. Березовскому, первому предложившему использовать свечу с конической поверхностью. 

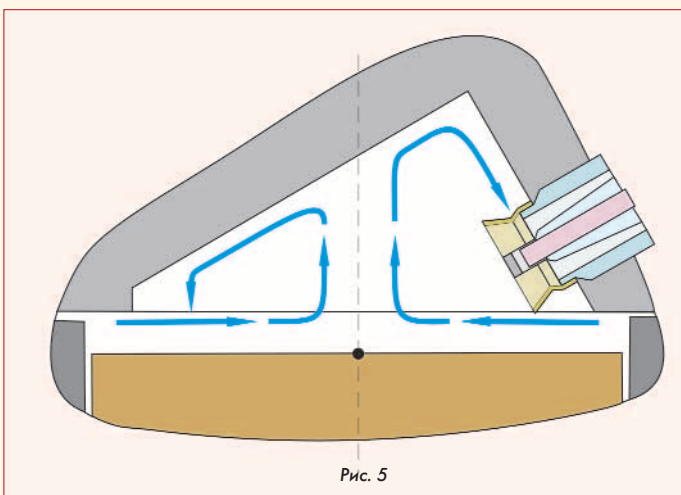


Рис. 5

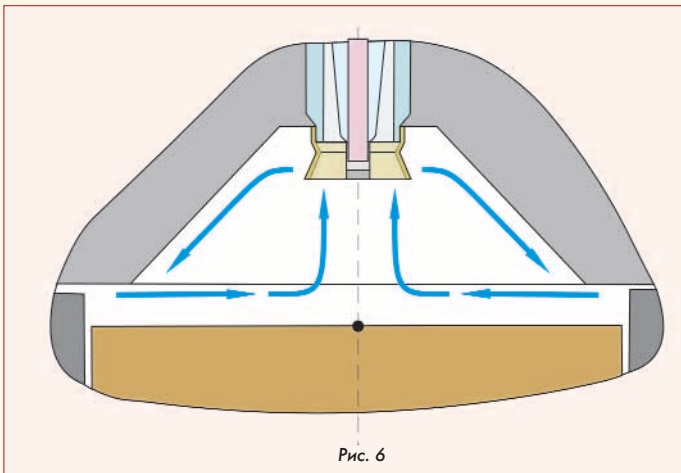


Рис. 6

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВИДЕОЭНДОСКОПОВ

ФИРМЫ EVEREST VIT

ДЛЯ КОНТРОЛЯ АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Юрий Тараканов, Олег Бондарев, д.т.н.

Переход на эксплуатацию авиационной техники по техническому состоянию - тенденция, которая в настоящее время привлекает все больше и больше сторонников. Такая система имеет ряд существенных преимуществ по сравнению со сложившейся планово-предупредительной, особенно - в условиях нынешней финансово-экономической обстановки. Эксплуатация вырабатывающей остатка ресурса авиационной техники в отсутствие возможности закупки в необходимом количестве новой и ряд других причин диктуют необходимость новых подходов к основным принципам организации эксплуатации и ремонта этой техники. Одно из необходимых и очень важных условий для осуществления успешной эксплуатации по техническому состоянию - введение новых современных средств контроля (как технической диагностики, так и неразрушающего контроля). Разрешению этой проблемы в настоящее время весьма способствует интенсивное развитие в России и за рубежом различных диагностических средств неразрушающего контроля.

Одним из наиболее широко применяемых методов неразрушающего контроля при эксплуатации авиационной техники является визуально-измерительный контроль. Приборы визуального контроля проточной части авиационных ГТД (в основном жесткие и гибкие оптоволоконные эндоскопы), которые имеются в настоящее время в организациях, эксплуатирующих двигатели, позволяют решать только задачи осмотра оператором труднодоступных мест. При этом степень разрешения невысока (она определяется количеством стеклянных волокон в пучке), отсутствуют возможности наблюдения дефектов с различных ракурсов, измерения и документирования обнаруженных дефектов. Таким образом, результат оценки в значительной степени зависит от квалификации оператора-дефектоскописта. При этом возможны ситуации как субъективного завышения, так и занижения степени опасности дефекта.

Для увеличения результативности и исключения влияния субъективного фактора необходимы такие средства визуального контроля проточной части авиационных ГТД, которые позволят обеспечить:

- простой доступ к тем элементам авиационного ГТД, визуальный контроль которых предусмотрен нормативно-технической документацией;
- наблюдение дефектов с высокой степенью разрешения в различных ракурсах;
- измерение размеров дефектных областей с высокой точностью;
- документирование результатов контроля в максимально удобной форме;
- эффективное и безопасное использование приборов в различных условиях эксплуатации (временных, климатических и т.п.).

В настоящее время к числу наиболее эффективных визуально-измерительных систем, максимально отвечающих вышеперечисленным требованиям, относят видеоэндоскопы новой серии Video Probe XL-Pro фирмы EVEREST VIT (США). Эти видеоэндоскопы серийно выпускаются с 2000 г. и являются лучшими в ряду промышленных эндоскопов, объединяющем как жесткие эндоскопы (использующие оптическую систему из набора линз) с качающейся призмой, гибкие оптоволоконные эндоскопы, так и множество других эндоскопических систем.

Принципиальное отличие видеоэндоскопов от всех других систем заключается в том, что изображение контролируемого объекта формируется с помощью высокочувствительной видеокамеры (CCD-матрица с 440 000 точек и 500 НТВ - линий), расположенной на погружаемом конце зонда эндоскопа. Использование видеосигнала для передачи изображения открывает широкие возможности, в том числе:

- наблюдение на 5-дюймовом TFT-LCD-мониторе, встроен-

ном в ручной пульт, или на внешнем мониторе;

- запись сигнала как на стандартный видеоманитофон, так и на компьютерные носители информации (до 48 изображений на стандартную 3,5-дюймовую дискету), а также непосредственно во внутреннюю флэш-память эндоскопа (до 450 изображений высокого разрешения) с одновременной записью звуковых комментариев через встроенный микрофон;

- простое и достаточно точное измерение (с разрешением до 0,05...0,1 мм) размеров дефектных областей при различных ракурсах наблюдения;

- обработка изображения с использованием специального программного обеспечения;

- цифровое увеличение с кратностью 1,5 или 2,0, что позволяет увеличивать изображение на экране без замены объектива зонда;

- сравнение текущего изображения с полученным ранее архивным снимком при помощи системы "разделения" экрана;

- возможность отслеживания технического состояния узлов и агрегатов авиационного ГТД в процессе эксплуатации, обмен информацией между эксплуатантами, отраслевыми институтами и разработчиками (или изготовителями) авиационной техники. Как следствие, это позволяет принимать корректные, обоснованные решения о целесообразности дальнейшей эксплуатации авиационного ГТД.

Кроме того, к достоинствам новой разработки фирмы EVEREST VIT можно также отнести:

- возможность управления (с четкой обратной связью) положением погружаемого конца зонда, в котором установлена видеокамера (ориентация во всех направлениях до 150°). Управление ориентацией осуществляется джойстиком;

- надежное крепление объектива и возможность его удобной замены на любой из поставляемых в комплекте эндоскопа;

- надежную, ударостойкую и влагонепроницаемую конструкцию как блока управления и ручного пульта, так и самого зонда (4-х слойная вольфрамовая оплетка).

В настоящее время большое количество разработчиков, изготовителей и эксплуатантов авиационной техники за рубежом, в том числе несколько предприятий в России, располагают эндоскопами фирмы EVEREST VIT и видеоэндоскопами новой серии Video Probe XL-Pro. Среди фирм-изготовителей можно назвать General Electric Aircraft Engines, Boeing Company, Rolls-Royce Engines, Pratt&Witney, SNECMA, CFMI, Bell Helicopter, Иркутское авиационное производственное объединение (ИАПО), НПО Энергомаш. К числу организаций-эксплуатантов можно отнести American Airlines, Delta Airlines, Air Canada, Swiss Air, US Airways, Lufthansa German Airlines, Finnair и многие другие.

В России использование подобных эндоскопических систем при эксплуатации и ремонте авиационной техники согласно действующему законодательству возможно только после проведения технической экспертизы (оценки эксплуатационных, метрологических и экономических характеристик) соответствующими государственными органами и оформления разрешения на их эксплуатацию в ФСБТ России. Необходимо отметить, что в настоящее время успешно проведена техническая экспертиза видеоэндоскопа серии Video Probe XL-Pro модель PXLМ 620 и получено положительное заключение от ведущей организации ВВС РФ в области неразрушающего контроля. Кроме того, проводится работа с ГосНИИ ГА по оценке различных характеристик предлагаемого фирмой EVEREST VIT эндоскопического оборудования для оформления разрешения на применение его в ФСБТ РФ и внесения в отраслевой Реестр.



ПРОМЫШЛЕННЫЙ ЭНДОСКОП

VideoProbe® XL-PRO™

самый современный и в тоже время очень простой в эксплуатации портативный прибор для визуально-измерительного контроля в промышленности.

- CCD цветная видеокамера с разрешением 480 HTV линий.
- Источник света Welch Allyn Solarc™ 50 Вт, ресурс металлогалидной лампы 1500 часов.
- Система высокоточных измерений в режимах ShadowProbe и Stereo.
- Встроенное многоязычное программное обеспечение для обработки изображений на ПК.
- Сравнение текущего изображения с ранее архивированными.
- Эргономически сконструированный ручной пульт.
- Сохранение изображений и их повторный вызов на LCD-монитор, запись на встроенный FLASH-носитель, карты памяти SmartMedia, гибкий диск 1,44 МБ.
- Функция цифрового увеличения.
- Комбинированные S-видео входы и выходы.
- Видеозонды с диаметрами 3,9; 5; 6,1 и 7 мм с инструментальным каналом.
- Изгиб зонда в любой плоскости до 180°.
- Вес системы в полной комплектации 7;7 кг.
- Рабочая температура зонда от - 25°C до +80°C.
- Модуль оперативной связи с сервисным центром.
- Возможна поставка в составе мобильной диагностической лаборатории.

XL PRO™
VIDEO PROBE



XL-PRO 3,9 мм

Самый тонкий видео зонд в мире.
Разрешающая способность в десять раз выше, чем у волоконно-оптического эндоскопа того же диаметра. Идеален для применения в авиации и космонавтике.



www.pergam.ru

Официальный представитель в России и СНГ

Диагностическое оборудование и инжиниринг

Пергам-Москва
Почтовый адрес: 129164, Москва, Проспект Мира, 124, а/я №38
Офис: Москва, пр-д Ольминского, 3А, 8 этаж.
Тел.: (095) 282-1393, 282-5109
282-7084, 282-0249, факс: 216-6614
e-mail: info@pergam.ru

Пергам-С.Петербург Тел.: (812) 233-1822, 235-2390, 320-6326, факс: 235-2290, e-mail: pergam-spb@mail.ru, kormanova@pergam.quantum.ru
Пергам-Н.Новгород Тел./факс: (8312) 37-51-27, e-mail: pergam@kis.ru
Пергам-Самара Тел./факс: (8462) 42-0161, e-mail: pergam@samaramail.ru
Пергам-Саратов/Волг Тел./факс: (3432) 75-7028, e-mail: pergam-e@mail.ru
Пергам-Липецк Тел./факс: (0742) 77-4689, e-mail: pergam@lipetsk.ru
Пергам-Волгоград Тел./факс: (8442) 91-7060, e-mail: pergam@vlink.ru
Пергам-Украина Тел./факс: (044) 295-4861, e-mail: pergam-u@visti.com

Устойчивость пристенных течений в соплах РДТТ

В ракетных двигателях широко используются сверхзвуковые сопла Лавала, имеющие плавно сужающуюся дозвуковую часть, горловину и расширяющуюся область сверхзвукового течения. Сопла РДТТ для улучшения энергомассовых характеристик часто имеют форму, отличающуюся от классической. Так, встречаются сопла, утопленные в камеру сгорания, с конструктивными уступами и стыками разноносимых материалов. В процессе работы происходит унос материала таких сопел, что приводит к потере устойчивости потока в пристенной области.

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

Известно весьма ограниченное число устойчивых конфигураций потока вблизи различных тел: дорожка Кармана, образующаяся за поперечно обтекаемым цилиндром, тороидальные вихри Тейлора, сотовые конвективные ячейки Бенара. Форма этих течений устойчива и не изменяется при воздействии малых возмущений потока.

В течениях продуктов сгорания в соплах РДТТ наблюдаются различные виды газодинамической устойчивости. Привычное утверждение о так называемом "турбулентном переходе" в данном случае оказывается весьма упрощенным и страдает недостатком наглядных качественных подтверждений.

В Центре Келдыша был разработан эффективный метод горячей визуализации, основанный на уносе массы сублимирующих материалов, при помощи которого удалось исследовать различные формы устойчивых пристенных течений в соплах модельных РДТТ. В качестве уносимого материала использовался фторопласт-4, из которого были изготовлены дозвуковые и сверхзвуковые сопла с различной формой проходного сечения. Испытания проводились многократно, при этом продолжительность каждого из них не превышала

0,5 с. По виду рельефных отпечатков на внутренней поверхности сопла определялась структура течения вблизи стенки.

Экспериментально было установлено, что в закритической области, в месте стыка разноносимых материалов, где реализуется течение с положительным градиентом давления, на поверхности с криволинейной образующей возникают устойчивые продольные вихри. Они носят название вихрей Тейлора-Гёртлера и образуют попарно винтовое течение с осью вращения вдоль образующей сопла (рис. 1). Измеренная величина относительной амплитуды следов вихрей коррелирует с критерием Гертлера, рассчитанного для этой области:

$$A = 0,2 Go^{0,2}.$$

Периодичность вихрей весьма точно может быть описана эпиклоидой с окружностью скольжения, эквидистантной контуру сопла.

В сверхзвуковой области при $M > 1$ и отрицательном градиенте давления вблизи стенки сопла были зафиксированы следы в виде ромбовидных узоров пересекающихся характеристик (рис. 2). Данный вид устойчивого течения относится к классическому сверхзвуковому течению с образованием волн Маха, а угол наклона отпечатков соответствует углу наклона характеристик, удовлетворяющих известному газодинамическому соотношению $\alpha = \arcsin(1/M)$.

Наиболее интересной является область трансзвукового истечения из сопла. Испытания модельных моноблочных вкладышей критического сечения показали, что на начальном участке нарастания пограничного слоя поверхность стенки сопла остается абсолютно гладкой. Этот участок соответствует ламинарной области, где течение описывается известным законом Ньютона для вязких жидкостей и газов.



Рис. 1



Рис. 2



Рис. 3



Рис. 4

НОВЕЙШИЙ СПРАВОЧНИК ПО АВИАДВИГАТЕЛЯМ - и вся история авиационного моторостроения России

Анонсированный нашей редакцией ("Двигатель" №2, 2002) справочник "Отечественные авиационные двигатели. XX век" вышел в свет в издательстве АВИКО ПРЕСС как раз к Новому году.

Издательство АВИКО ПРЕСС, отметившее прошедшим летом десятилетний юбилей, было организовано и бессменно руководится все это время Константином Удаловым. Книги, выпущенные этим издательством хорошо известны и весьма популярны среди любителей авиации. Стали бестселлерами многотомники по истории ОКБ Мясищева, Антонова и Яковлева. К своему юбилею издательство выпустило книгу по авиадвигательной тематике. Авторы этого издания - Лев Берне, Дмитрий Боев, Николай Ганшин - уже известны любителям авиации по созданному ими разделу авиадвигателей в авиационной энциклопедии "История конструкций самолетов в СССР", 1951-1965 гг.". Вышедшая книга "Отечественные авиационные двигатели. XX век" открывает новый жанр в технической литературе: являясь по сути справочником и неся на своих страницах богатый фактический материал - таблицы, схемы, фотографии (в том числе ранее никогда не публиковавшиеся), издание вместе с тем объединяет весьма интересные и содержательные статьи о разработке авиамоторов и о людях, их создававших. Впервые в исследовательской литературе приводится полная последовательная информация как по ОКБ, разрабатывающих двигатели, так и по предприятиям, их выпускавшим. Как и все книги АВИКО ПРЕСС, "Отечественные авиационные двигатели - XX век" предназначена для широкого круга любителей авиации и авиационных специалистов.

**Оптовые заказы и розничная торговля книгой осуществляется в торговом комплексе "Олимпийский".
Тел.: (095) 288-3718**



С увеличением скорости под воздействием внешних сил поток вблизи стенки постепенно "раскачивается" и теряет полойную устойчивость, приобретая волнообразный характер. Такой вид устойчивого течения был теоретически предсказан Толмином и рассчитан Шлихтингом. Для плоского случая и внешнего обтекания волны Толмина-Шлихтинга были получены экспериментально и их теория отражена в литературных источниках. На рис. 3 представлены результаты экспериментальных исследований для внутреннего течения в сопле. Видно, что волны имеют весьма регулярный гофрообразный характер с явной периодичностью и практически постоянным значением амплитуды. Количественно эти волны с хорошим приближением описываются синусоидой.

При исследовании трансзвуковых течений с затянутой горловиной, когда градиент мал, был впервые обнаружен интересный вид течения, представляющий собой послойно перемежающиеся цепочки из компактных однородных образований. Периодичность образований в осевом направлении соответствовала периодичности волн Толмина-Шлихтинга, а в окружном - вихрей Тейлора-Гёртлера. Аналогичные образования наблюдались и на цилиндрическом участке развитых вихрей Тейлора-Гёртлера (рис. 4), что говорит об одинаковой природе их возникновения. Появление образований связано с вторичной потерей устойчивости. В случае волн Толмина-Шлихтинга терялась устойчивость в окружном направлении, а периодическое винтовое течение Тейлора-Гёртлера нарушалось в осевом направлении. Неважно, по какому сценарию возникали эти образования, главное, что они появлялись при уменьшении до нуля градиента давления и являлись устойчивой конфигурацией для обоих случаев. Для указанных образований характерно маломасштабное винтовое послойно-чередующееся движение. Каждый дискретный объем газа представляет собой одиночный спин с вращением в противоположном направлении по отношению к двум соседним и осью, параллельной образующей сопла. Причем спины последующего ряда сдвигаются в окружном направлении на величину, равную половине их поперечного размера. При значительном увеличении длины цилиндрического участка сопла размеры спинов остаются постоянными и их интенсивность практически не изменяется.

К устойчивым течениям в реактивном сопле следует также отнести течение в области больших расширений сверхзвукового потока. Эта область наблюдается за границей области волн Маха. На исследуемом сопле отпечатков в этой области получено не было. Его поверхность оставалась гладкой, похожей на поверхность после воздействия ламинарного потока. Этот факт объясняется переходом к течению, приближающемуся по свойствам к молекулярному движению газов. И хотя строго такое движение характеризуется большим числом Кнудсена, поток уже на этой стадии теряет свойства вязких и ударных течений. В такой достаточно протяженной области происходит переход к чисто молекулярному движению, а понятия пограничного слоя и скачка уплотнения теряют смысл.

Таким образом, в результате анализа экспериментальных данных была детально воспроизведена структура пограничного слоя в сопле. Для гладкого сопла Лавала эта структура содержит следующую цепочку устойчивых конфигураций:

- ламинарный участок;
- область волн Толмина-Шлихтинга;
- область компактных спинов;
- область волн Маха;
- область перехода к течениям с большими числами Кнудсена.

В местах появления положительных градиентов давления в процессе разгара сопла появляется область винтовых продольных течений Тейлора-Гёртлера.

В Центре Келдыша проводятся широкие исследования вязких градиентных течений в различных каналах, по результатам которых разработаны методы и программы расчета теплообмена и потерь удельного импульса тяги в соплах РДТТ.

24 декабря 2002 года вблизи иранского аэродрома Исфahan потерпел катастрофу украинский самолет Ан-140. На его борту находились российские и украинские авиационные специалисты, направлявшиеся для участия в торжественных мероприятиях по случаю сборки в Иране второго лицензионного самолета ИрАн-140.

В этой катастрофе погиб основатель, главный редактор и ведущий фотограф журнала "Вестник авиации и космонавтики" Сергей Скрынников, известный всем, кто хоть как-то связан с авиацией и космонавтикой. В его руках художника кроме ручки и блокнота Журналиста всегда был фотоаппарат. Ему удалось, имея неограниченный доступ к полетам, сделать прекрасные и уникальные фотографии, которые опубликованы не только на страницах его журнала, но и во многих других российских и зарубежных изданиях.

Потеря невосполнима. Скорбим и приносим глубокие соболезнования родным и близким Сергея.

Редакция журнала "Двигатель"





“Переохлажденная” “девятка”

Вячеслав Рахманин,

главный специалист НПО Энергомаш, к. т. н.,
член-корреспондент РАК им. Циолковского,
лауреат Государственной премии

сгорания, заканчивались испытания насосов. Основная часть конструкторов была занята доводкой ВРД с перспективой их занятости на весь 1960 г. Стенд для огневых испытаний отсутствовал, только в декабре 1959 г. были начаты земляные работы, которые велись крайне медленно. Н.Д. Кузнецов планировал использовать стенды НИИ-229 в Загорске. Помимо уже сложившегося отставания в сроках разработки двигателя, положение осложнялось тем, что схема с дожиганием была совершенно новой, имелся лишь опыт экспериментальных исследований в НИИ-1, НИИ-4 и ОКБ-2. Для создания двигателя такой схемы следовало преодолеть новые технические проблемы, связанные с организацией процесса горения газожидкостной смеси.

Сопоставляя представленные в эскизных проектах двигателя 8Д716 и НК-9, Управление Генерального заказчика отмечало, что двигатель НК-9 разрабатывался по более совершенной схеме и это, по расчетам, обеспечивало прирост удельного импульса тяги до 15 кгс·с/кг. Однако отработка двигателя с более сложной схемой, применение недостаточно проверенных конструкторских решений, в том числе охлаждение сопла жидким кислородом, отсутствие в ОКБ-276 опыта разработки ЖРД и собственной стендовой базы требовала большего на один-полтора года времени.

В выводах заключения министерства обороны указывалось: *“Двигатель 8Д716 хотя несколько и уступает НК-9 по удельному импульсу тяги, но разрабатывается на основе уже проверенных конструкций; ведется стендовая отработка камеры, насосов и агрегатов автоматики. Все это способствует выполнению задания в установленные сроки. Учитывая сегодняшнее состояние дел и перспективы разработки двигателей 8Д716 и НК-9, целесообразно в первую очередь отработку ракеты Р-9А вести с двигателем ОКБ-456”.*

Таким образом, выводы заказывающего управления Минобороны и комиссии К.Н. Руднева по большинству пунктов совпадают. Примечательно, что с заключением Министерства обороны Королев в письме, датированном 21 апреля 1960 г., согласился.

Вернемся к технической стороне создания двигателя 8Д716. Пока “в верхах” шло “перетягивание каната”, отработка его велась без оглядки на возможное прекращение работ. Стендовые огневые испытания ЖРД штатной конструкции начались в мае 1960 г. Доводка шла крайне сложно: все варианты смесительных головок, удовлетворявших требованиям по удельному импульсу тяги, не обеспечивали достаточной устойчивости горения на основном режиме работы двигателя. Были проверены практически все известные способы обеспечения устойчивости, включая металлические разделительные перегородки, так называемые “кресты”.

Параллельно с испытаниями 8Д716 на соседнем стенде в ОКБ-456 шла отработка двигателей 8Д712 и 8Д713 на азотно-

(Окончание. Начало в № 5 - 2002 г.)

В соответствии с установленным порядком головной разработчик ракеты и заказывающее управление МО давали заключения на эскизные проекты. В заключении ОКБ-1, подписанном С.П. Королевым 16 января 1960 г., при общем одобрении эскизного проекта ОКБ-456 высказывалось замечание о недостаточной величине удельного импульса тяги и отклонялось предложение об использовании несимметричного диметилгидразина (НДМГ) вместо керосина для увеличения дальности полета, т.к. НДМГ обладал низкими производственно-эксплуатационными характеристиками.

Единое на оба эскизных проекта заключение Минобороны, подписанное генералом А.Г. Мрыкиным 3 февраля 1960 г., было построено в форме сравнения достоинств и недостатков проектов двигателей 8Д716 и НК-9, объемов проведенных экспериментальных работ и готовности производственной и испытательной базы к проведению доводочных работ на предприятиях-разработчиках ЖРД. Для Министерства обороны, безусловно, важным являлось обеспечение высоких энергетических и эксплуатационных характеристик ракет, но не менее важным для обороны страны признавалась своевременность принятия на вооружение ракетных комплексов. Поэтому состоянию отработки двигателей в заключении уделялось особое внимание.

А это состояние на начало января 1960 г. по оценкам военных представительств было следующим. Из ОКБ-456 всю конструкторскую документацию передали на опытный завод. На стенде проведено 44 огневых испытаний двухкамерных сборок без сопловой части для выбора варианта смесительной головки. Получены положительные результаты по устойчивости горения на двух типах головок. Изготовлены и прошли гидравлические испытания насосы, из 20 наименований агрегатов автоматики 14 проходили доводочные испытания. Велось освоение технологии изготовления полноразмерной камеры сгорания.

В ОКБ-276 проводилось эскизное проектирование двигателя, цеха приступили к изготовлению отдельных деталей камеры



Слева:
Б.Е. Черток и Ю.А. Мозгорин



Справа:
В.П. Мишин

кислотном топливе, предназначенных для первой и второй ступеней ракеты Р-16. В отличие от кислородных, для этих ЖРД удалось довольно быстро найти конструктивные решения, удовлетворявшие всем требованиям, в том числе и по устойчивости рабочего процесса в камерах сгорания. Вновь начались разговоры о "неправильном выборе топлива для ракеты Р-9", о том, что "следовало бы остановиться на варианте 9В".

В некоторых мемуарах инициатором таких разговоров называют Глушко. Ветераны ОКБ-456, участники описываемых событий, этого не подтверждают. К тому же, если вспомнить изначальное распределение разработчиков ЖРД по вариантам А и В, то ведь создание двигателей для Р-9В планировалось поручить ОКБ-2 во главе с А.М. Исаевым. Королев остро реагировал на эти разговоры, отстаивая правильность сделанного выбора, он ссылаясь на американский опыт разработки кислородной ракеты "Титан-1". Впрочем, в середине 1961 г. этот довод потерял свое значение, так как появилась информация о том, что "Титан-1" заменяется ракетой "Титан-2" с ЖРД, работающими на высококипящем топливе, а кислородные ракеты "Титан-1" снимаются с вооружения армии США. Однако запущенный механизм разработки ракеты Р-9А остановить никто не решился - надежным противовесом являлись высокий авторитет Королева и уже вложенные в разработку средства.

Отработка двигателя РД-0106 для второй ступени ракеты Р-9А в ОКБ-154 под руководством С.А. Косберга также шла сложно. Воронежские конструкторы тоже мучились с обеспечением устойчивого горения в камерах сгорания. В своем докладе на чтениях, посвященных девяностолетию В.П. Глушко, ведущий конструктор разработки двигателя РД-0106 А.А. Голубев вспоминал: "Мы с Дароном (А.Д. Дарон - ведущий конструктор разработки двигателя 8Д716 - прим. авт.) всегда знали, что нужно говорить на комиссиях по поводу аварии, но не знали, что нужно делать".

Работы, связанные с обеспечением устойчивого горения в камерах двигателя 8Д716, продолжались почти год. К апрелю 1961 г. были получены результаты, позволившие начать поставку ЖРД для испытаний в составе ступени на стенде НИИ-229, а затем перейти к сборке ракеты Р-9А для проведения летно-конструкторских испытаний.

И вот здесь двигателистов ОКБ-456 подстерегала неожиданность. К этому времени в соответствии с поручением Военно-промышленной комиссии было разработано оборудование, позволяющее получать переохлажденный кислород в количествах, достаточных для заправки ракетных баков и проведения полноресурсных огневых испытаний двигателей. Для получения переохлажденного кислорода использовались вакуумные насосы фирмы "Филипс". Первые же испытания 8Д716 в составе ступени решили провести на переохлажденном кислороде.

Однако вся стендовая отработка двигателя 8Д716 была проведена на обычном, а не на переохлажденном кислороде. Дело в том, что в 1959-1960 гг. в стране отсутствовало оборудование для получения переохлажденного кислорода. Кроме того, в техническом задании не содержалось конкретного требования о рабо-

те двигателя на переохлажденном кислороде. Указанная в техническом задании ОКБ-1 температура кислорода на входе в двигатель составляла минус 183 °С, что соответствовало точке кипения кислорода на уровне моря. Более того, в технических документах на разработку ракеты Р-9А указывалось, что целью использования переохлажденного кислорода являлось только снижение потерь на испарение в процессе заправки и хранения в баках ракеты без подпитки для обеспечения повышенной боеготовности.

Первыми обратили внимание на несоответствие температур кислорода, заправляемого в бак ракеты, и применяемого при стендовых испытаниях двигателей, специалисты ОКБ-1. Об этом несоответствии было сообщено в письме, подписанном Королевым и отправленном на имя Глушко 13 февраля 1961 г. В нем, в частности, указывалось: "В настоящее время в ОКБ-456 отработывается двигатель 8Д716 на кислороде с обычной температурой (-183 °С). ОКБ-1 считает необходимым напомнить ОКБ-456 о том, что изделие 8К75 разрабатывается с применением в нем переохлажденного кислорода. На первом этапе температура кислорода -189...-183 °С. Впоследствии возможна температура до -203 °С. В связи с этим прошу Вас провести отработку двигателя 8Д716 также и на переохлажденном кислороде и уточнить ОХ (основные характеристики двигателя - прим. авт.) при работе двигателя на кислороде с температурой -189 °С".

Требование об отработке двигателя во всем рабочем диапазоне температур кислорода, безусловно, правомерное. Только вот приведенные в письме температуры кислорода следовало указать в техническом задании на двигатель, выданном ОКБ-1 в апреле 1959 г., а не в упомянутом письме. И уточнять надо было бы в первую очередь именно техзадание ОКБ-1, а не ОХ ОКБ-456.

Несмотря на выявившийся казус, двигатели в составе ракетной ступени так или иначе следовало испытывать. Хотя переохлажденный и обычный кислород имеют одинаковые физико-химические свойства и константы (за исключением удельного веса), Глушко проявил осторожность и без предварительной проверки работы двигателя на стенде ОКБ-456 на переохлажденном кислороде не счел возможным начинать такие испытания в составе ступени Р-9А. В марте 1961 г. он обратился в ОКБ-1 с предложением о проведении первых испытаний двигателей в составе ступени с использованием обычного, непереохлажденного жидкого кислорода.

Это предложение вызвало негативную реакцию у Королева. И он собственноручно написал письмо Глушко, демонстративно, чего не было раньше, обратился к нему "академик", причем, и сам подписался в ранге высшего научного звания. Текст письма настолько колоритен, что целесообразно его воспроизвести полностью.

"Главному конструктору ОКБ-456 академику тов. Глушко В.П. Копия: Начальнику ГУРВО генерал-лейтенанту тов. Семенову А.И. Непонятна и труднообъяснима неожиданная позиция ОКБ-456 в части применения переохлажденного жидкого кислорода для изделия Р-9А.

Вы, видимо, позабыли, что в нашем совместном докладе ЦК КПСС в апреле месяце 1959 года, подписанном Вами, в качестве

основного и единственного варианта топлива для Р-9А доклады вался именно переохлажденный жидкий кислород и керосин.

Вызывает удивление, что за прошедшие 2 года ОКБ-456 не удосужилось создать у себя соответствующие установки для переохлаждения жидкого кислорода, хранилища и системы с малыми потерями.

Вы пытались отмахнуться от этих важнейших вопросов и даже противодействовали первым огневым испытаниям 8Д716 на стенде на первой ступени Р-9А, ссылаясь на "некий риск" первого запуска.

Но именно ОКБ-456 само и во всем виновато, что заблаговременно, и даже до сих пор, не провело ни одного испытания на переохлажденном жидком кислороде у себя на стендах и даже сейчас для этого не имеет у себя необходимой базы.

Мы настаиваем на скорейшем создании в ОКБ-456 необходимой технической базы для этих работ. Мы категорически отвергаем Ваши перестраховочные письма по этому вопросу.

20.03.61.

Главный конструктор ОКБ-1
академик Королев".

И хотя вину за создавшуюся ситуацию должны были разделить обе стороны, причем доля ОКБ-1 явно превалировала (может быть, этим и объяснялся наступательный стиль письма Королева?), дело требовало не дальнейшей переписки с выяснениями, кто больше виноват, а скорейшего исправления. Этим и занялись испытатели ОКБ-456.

Установить на стенде специальное оборудование для получения переохлажденного кислорода оказалось не таким уж сложным и длительным процессом, но как восполнить потерянное время для проверки работоспособности двигателя в новых условиях? Ситуация оказалась очень неприятной. Первые же стендовые испытания показали, что на номинальном режиме работы двигателя основные характеристики рабочего процесса не зависят от начальной температуры кислорода, а вот на режиме запуска двигателя с высокой регулярностью стали появляться высокочастотные колебания давления в камере сгорания.

Со временем разобрались в причинах появления колебаний. Из-за замедленного испарения переохлажденного кислорода происходило его накопление в камере сгорания в первоначальный период запуска, что приводило к последующему мощному импульсу давления. Этот импульс инициировал развитые высокочастотные колебания. Для выяснения и устранения этого явления потребовался год интенсивной, напряженной работы, сопровождавшейся понуканиями со стороны руководства ГКОТ и упреками от Королева - обещали сдать двигатель вовремя, прошел уже год после установленного правительством срока, а двигателя все нет.

Положение складывалось очень острое. При запуске двигателя выходили из строя не только на стенде, но и при запуске ракет Р-9А. Так, третье летное испытание 25 апреля 1961 г. привело к разрушению стартового сооружения. Здесь уместно указать, что наземный стартовый комплекс исходной конструкции "Десна-Н" сам требовал серьезной отработки. Статистику аварийных пусков Р-9А увеличивали также неполадки и в системе управления, и выявленные недостатки в силовой конструкции самой ракеты.

Что касается двигателей 8Д716, то отработка режима запуска на переохлажденном кислороде была, в основном, завершена к середине 1962 г. К этому времени на серийном заводе № 24 в Куйбышеве было проведено 34 контрольных стендовых и 8 успешных летных испытаний. Существенную помощь в процессе освоения технологии производства ЖРД оказывали специалисты филиала № 2 ОКБ-456 в Куйбышеве. Дальнейшей стабилизации режима запуска и уточнению ряда требований к эксплуатации в составе ракеты способствовал большой объем работ, законченных к апрелю 1963 г. Эти работы были вызваны расследованием причин двух аварий ракеты Р-9А в октябре 1962 г. Хотя эти аварии произошли по причинам, не связанным с работой ЖРД, возникшая пауза в

летных испытаниях позволила ввести ряд усовершенствований для повышения надежности двигателя и ракеты в целом.


Первый этап отработки всего ракетного комплекса Р-9А, начатый 9 апреля 1961 г., продолжался до 14 февраля 1963 г. К этому времени основные недостатки ракеты были выявлены и устранены, стартовый комплекс "Десна-Н" забракован и заменен другим, получившим название "Долина". Первый пуск ракеты с нового комплекса был осуществлен 22 апреля 1963 г. Автоматизированный стартовый комплекс "Долина" позволял производить пуск ракеты Р-9А через 20 минут, считая от начала установки ракеты на стартовый стол. При использовании стартового комплекса "Десна-Н" потребное время составляло около 2 часов.

Параллельно с разработкой наземного стартового комплекса с 1960 г. велись работы по обеспечению пусков ракет Р-9А из шахтной пусковой установки (ШПУ) "Десна-В". Первый такой пуск был осуществлен 27 сентября 1963 г. Этот этап отработки боевого комплекса Р-9А завершился 1 февраля 1964 г.

При подготовке правительственного постановления о принятии Р-9А на вооружение вновь возник вопрос о целесообразности эксплуатации боевых ракет с ЖРД, работающими на жидком кислороде. Председатель ГКОТ С.А. Зверев поручил главному отраслевому НИИ-88 подготовить по этому вопросу заключение. По воспоминаниям директора НИИ-88 Ю.А. Мозжорина, в этом заключении после традиционного перечисления достоинств нового БРК указывалось что *"перспективы развития ракетного вооружения лежат на пути создания ракет, работающих на высококипящих компонентах топлива и находящихся на боевом дежурстве в заправленном состоянии. Именно такие ракеты должны составлять основу наших РВСН, и не Р-9А, т.к. применение жидкого, хотя и переохлажденного кислорода... обусловит значительное снижение эксплуатационных характеристик и не позволит обеспечить высокую живучесть и боеготовность ракетного комплекса, за такими ракетами нет большого будущего"*.

Такие выводы, естественно, вызвали недовольство у Королева, который в телефонном разговоре с Мозжориным обозвал заключение НИИ-88 "вонючим". Появилось "контрзаключение" ОКБ-1. Последовал очередной этап бюрократической переписки, в результате комплекс Р-9А 21 июля 1965 г. был принят на вооружение с изготовлением ограниченного количества ракет - около 70 единиц. Основу ракетного арсенала РВСН в тот период времени составляли ракеты Р-16 М.К. Янгеля и УР-100 В.Н. Челомея на высококипящем топливе.

Несмотря на все сложности при создании и отработке двигателя 8Д716, он получился надежным. Глушко неоднократно предлагал Королеву использовать этот двигатель и для модернизации ракеты Р-7, и для создания мощного космического носителя Р-10. Но Королев отверг эти предложения. Его не интересовали чужие проекты, он был поглощен своей идеей создания сверхмощной ракеты Н1. В этом проекте он сделал ставку на те технические решения, которые не состоялись при разработке Р-9А: на всех трех ступенях должны были работать двигатели ОКБ-276, выполненные на основе НК-9. Как они работали, известно. Также известно, сколько времени потребовалось, чтобы довести их надежность до уровня требований ракетной техники.

В заключение небольшая ремарка. В мемуарных изданиях и, в частности, у Г.С. Ветрова, встречаются утверждения, что принятие на вооружение комплекса Р-9А в 1965 г. вместо намеченного по постановлению срока (1962 г.) связано только с задержкой отработки двигателя 8Д716. Как видно из изложенного материала, отработка двигателя продолжалась действительно дольше, чем планировалось. Но уже в 1962 г. его конструкция полностью сложилась, была обеспечена и требуемая надежность. Задержка с принятием Р-9А на вооружение до июля 1965 г. была связана в основном, с отработкой пусков ракеты из ШПУ - требованием, выдвинутым в 1960 г. после выхода постановления от 13 мая 1959 г., а также с другими обстоятельствами, не имеющими отношения к отработке двигателя 8Д716. 

ВЫСОКИЕ ТЕХНОЛОГИИ – ЧЕЛОВЕКУ И ОБЩЕСТВУ!



МОСКВА - 2003

Четвертый Международный Форум

The Fourth International Forum
“High Technology of XXI”

ВЫСОКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

XXI ВЕКА

“ВТ XXI - 2003”

21-25 АПРЕЛЯ 2003 г., МОСКВА
ВК ЗАО “ЭКСПОЦЕНТР”

Организаторы:

Правительство Москвы,
Комитет по реформированию оборонных предприятий,
расположенных в городе Москве

Министерство промышленности, науки и технологии
Российской Федерации

Институт экономики и комплексных проблем связи
АО “ЭКОС” (ООО “ЭКСПО-ЭКОС”)

Российский фонд развития высоких технологий - РФРВТ

Московская торгово-промышленная палата - МТПП

По вопросам участия обращаться:
Международная конференция

Форум ВТ XXI - 2003
Выставка ВТ - 2003

РФРВТ
тел.: (095) 954-8087, факс: 954-5008
e-mail: info@hitechno.ru

АО “ЭКОС” ООО “ЭКСПО-ЭКОС”
тел.: (095) 331-0501
331-1333

Участие зарубежных фирм и компаний
МТПП

факс: (095) 331-0900
331-0511

тел.: (095) 132-7429, факс: 132-0733
e-mail: extrade@mtpp.org

e-mail: expococos@nii-ecos.ru
www.nii-ecos.ru/expococos

www.hitechno.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ РОТОРОВ ТНА ЖРД



В процессе создания мощных ЖРД закрытой схемы с высокими давлениями в камерах сгорания конструкторы столкнулись с проблемами обеспечения работоспособности и заданного ресурса агрегатов двигателей. Особенно большие трудности возникли при отработке мощных кислородных ТНА, поскольку их разгары и разрушения происходили за десятые и даже сотые доли секунды. Это обстоятельство исключало возможность использования традиционных методов обнаружения дефектов и заставило разработать новые средства для диагностики динамического состояния ТНА.

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

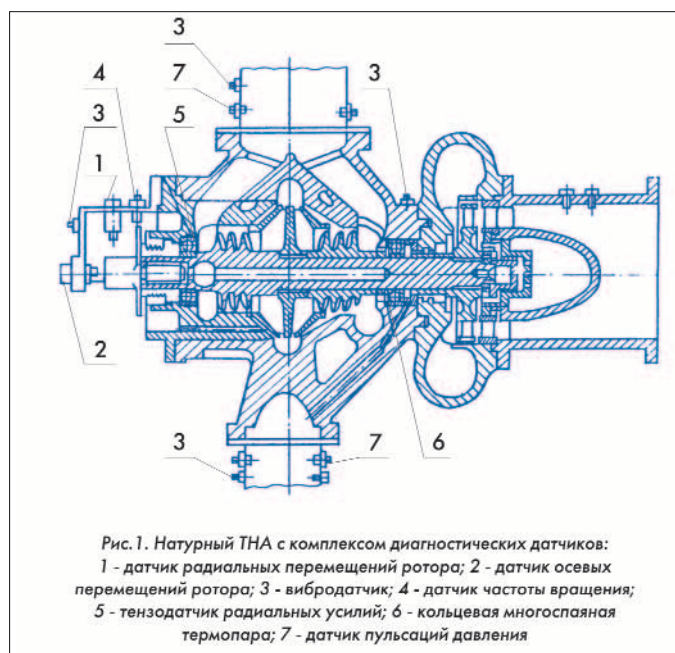
Надежность ЖРД в значительной степени определяется динамическими нагрузками и колебаниями роторов ТНА, возникающими на установившихся и переходных режимах работы ЖРД. Даже кратковременные выходы их за допустимые пределы часто приводят к поломкам подшипников, возгораниям кислородных насосов, разгарам и разрывам корпусов ТНА, другим опасным авариям ЖРД. Для надежного исключения таких явлений одной только тщательной динамической балансировки роторов во многих случаях оказывается недостаточно. Тут существенную роль играют неуравновешенные гидравлические и газодинамические силы, достигающие в реальных условиях работы ТНА на некоторых режимах очень больших значений. При этом непосредственно предаварийные состояния часто характеризуются выходом за допустимый уровень лишь отдельных параметров, определяющих динамическое состояние ротора.

Настоящая статья посвящена методикам и средствам комплексного экспериментального исследования механических, гидродинамических и теплофизических процессов, протекающих при различных динамических нагрузках ротора ТНА на установившихся и переходных режимах. Описываемые исследования проводились на натурном ТНА (с двухпорным ротором), состоящим из шнекоцентробежного насоса и осевой турбины.

Способы и средства получения информации

ТНА был оснащен комплексом измерительных средств, включающим токовихревые датчики радиальных и осевых перемещений вала 1 и 2, вибродатчики на корпусе в районе опор 3, датчик оборотов 4, встроенные в подшипник тензодатчики радиальных усилий 5, кольцевую многослойную термопару 6 и датчики пульсаций давления на входе и выходе насоса 7 (рис. 1). Комплекс позволил без существенных изменений штатной конструкции ТНА получать достаточно полную информацию о нагрузках и перемещениях ротора, а также о тепловом состоянии подшипников ТНА на установившихся и переходных режимах.

Исследования проводились в модельных условиях при замене компонентов топлива водой и генераторного газа воздухом. Удобным средством для имитации нестационарных радиальных и осевых нагрузок, позволявшим в широких пределах изменять действующие



на ротор гидродинамические силы, явилось искусственное введение насоса в кавитационный режим и создание гидроударов путем резкого дросселирования напорной магистральной. Резкое изменение радиальных усилий достигалось также при глубоком дросселировании насоса. Для создания только осевых нагрузок на ротор использовались специальные пневматические устройства. Осевое и радиальное перемещение ротора измерялись и регистрировались специально разработанной аппаратурой, состоящей из бесконтактных токовихревых датчиков, трехканального усилителя с встроенным генератором несущей частоты и шлейфового осциллографа. Технологический эксцентриситет измерительного насадка вала обеспечил модуляцию сигналов датчиков радиального перемещения, а ступенька на торце насадка - сигналов датчиков осевого перемещения.

Величина и направление радиальной нагрузки, действующей на опору ротора, определялись совокупностью показаний шести

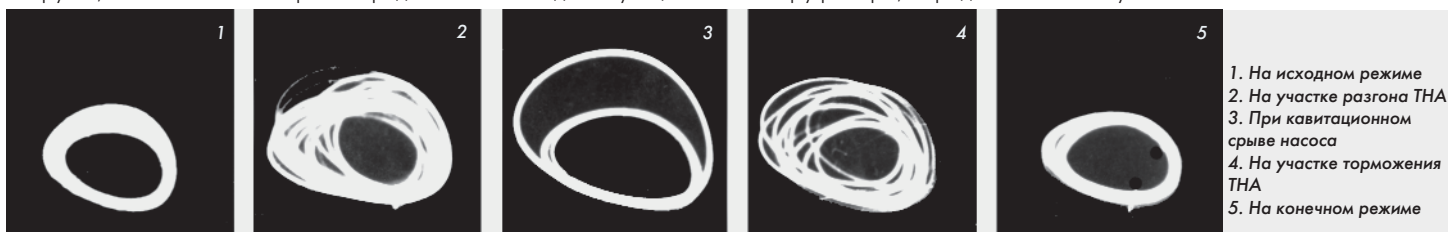


Рис. 2. Траектории движения конца вала ТНА на различных участках переходного режима

тензодатчиков типа 2ФКПА с тензочувствительностью $S = 2$ и сопротивлением 90 Ом, наклеенных в пазах наружной обоймы подшипника. Сигналы с тензодатчиков через усилители ТА-5 подавались на шлейфовые осциллографы.

Вибрации измерялись вибродатчиками типа ИС-313, расположенными на корпусе вблизи упорного подшипника. Сигналы через усилитель ПИВ-3 поступали для регистрации на осциллограф.

Погрешность полученной комплексной информации на различных режимах работы ТНА как в лабораторных условиях, так и в составе ЖРД не превысила 10 % в диапазоне частот от 5 до 2000 Гц.

Нагрузки и перемещения ротора на стационарных режимах

Исследования показали существенную зависимость уровня нагрузок и вибраций от размеров роторов ТНА и режимов работы. На режимах без срыва потока и кавитации насосов радиальная гидродинамическая сила, возникающая, главным образом, в спиральных отводах насосов, пропорциональна плотности жидкости, напору H и площади выхода из рабочего колеса:

$$(R_{\text{рад}})_{\text{гд}} = K g \rho H D_2 b_2,$$

где: D_2 и b_2 - диаметр и ширина колеса на выходе.

Коэффициент пропорциональности K зависит от формы канала на выходе, минимален (0,004...0,02) при работе насосов в области режимов с максимальным к.п.д. и увеличивается (до 0,1...0,4) как при увеличении, так и при уменьшения расходов. У исследовавшегося ТНА при работе на воде на оптимальном по к.п.д. режиме с пониженной частотой вращения ($n = 0,3 n_{\text{ном}}$) радиальная нагрузка ротора составила около 400 Н; возрастая примерно в 2 раза при изменениях расхода на ± 30 %. Центробежная составляющая радиальной нагрузки опор, обусловленная начальным дисбалансом ротора и дополнительным дисбалансом, возникающим в рабочих условиях вследствие радиально-го прогиба вала, пропорциональна квадрату частоты вращения:

$$(R_{\text{рад}})_{\text{гд}} = [(mr)_{\text{дб}} + \lambda M_{\text{рот}} \delta h_{\text{рад}}] n^2,$$

где: $M_{\text{рот}}$ - масса ротора; $\lambda < 1$ - коэффициент, зависящий от схемы ТНА и формы упругой линии ротора при поперечных колебаниях.

При частотах вращения ТНА $n = (15...35) \cdot 10^3$ об/мин и допускаемых величинах начального дисбаланса $(mr)_{\text{дб}} = 2...8$ г-см в исходном недеформированном состоянии ротора начальные значения центробежных сил у различных ТНА находятся в пределах 200...1000 Н независимо от их размеров. В рабочих условиях они могут значительно возрастать.

Осевая нагрузка роторов складывается из неуравновешенных сил давления на их боковые поверхности, и неуравновешенных реактивных сил:

$$R_{\text{ос}} = \Sigma [K_{\text{н}i} (p_{\text{н.вых}i} - p_{\text{н.вх}i}) (D_2^2 - D_1^2)_i] + K_{\text{т}} p_{\text{т.вых}} [(p_{\text{т.вх}} / p_{\text{т.вых}}) - 1] (D_{\text{т}}^2 - D_{\text{в}}^2) + K_{\text{в}} (p_{\text{т.вых}} - p_{\text{т.вх}}) D_{\text{в}}^2 + \Sigma [K_j G_j (c_{a2} - c_{a1})_j / g],$$

где: $(p_{\text{н.вх}i})$, $(p_{\text{н.вых}i})$, $p_{\text{т.вх}}$, $p_{\text{т.вых}}$ - давления на входе и выходе насосов и турбины;

$D_{\text{в}}$, D_1 , D_2 , $D_{\text{т}}$ - диаметры вала и колес насосов на входе и выходе и турбины;

$(c_{a1})_j$ и $(c_{a2})_j$ - осевые скорости на входе и выходе насосов и турбины;

G_j - секундный расход насосов и турбины.

Коэффициенты осевой силы насосов $K_{\text{н}i}$, турбины $K_{\text{т}}$ и вала $K_{\text{в}}$, учитывающие эпюры распределения давления по радиусу вращающихся дисков, по абсолютным значениям меньше 1. Их знаки и абсолютные значения зависят от схемы ТНА, характера распределения давлений по боковым поверхностям ротора, и от нестационарности процессов. Коэффициенты реактивных составляющих осевой силы K_j , равные ± 1 , учитывают направление изменения количества движения массы рабочего тела в насосах и турбине. В исследовавшемся ТНА, благодаря применению рабочего колеса насоса с двухсторонним входом коэффициент осевой

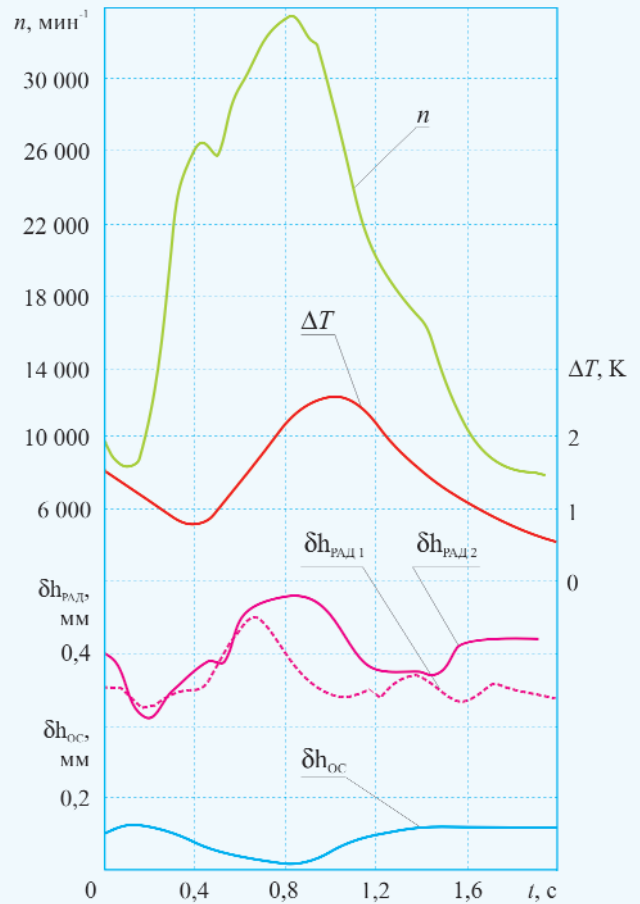


Рис. 3. Переходные процессы при кавитационном срыве насоса

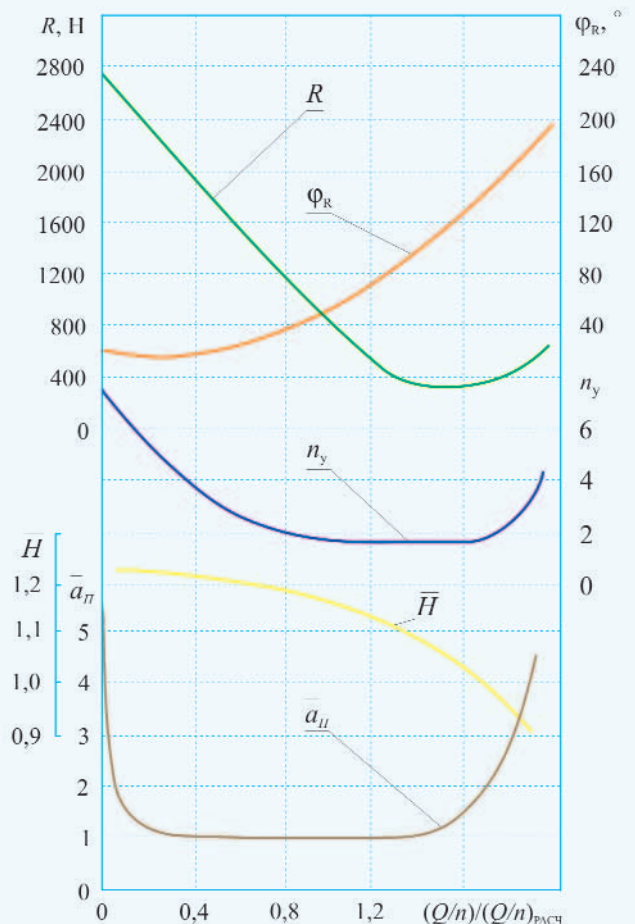


Рис. 4. Характеристика нагружения ротора ТНА на различных режимах работы насоса по параметру Q/n

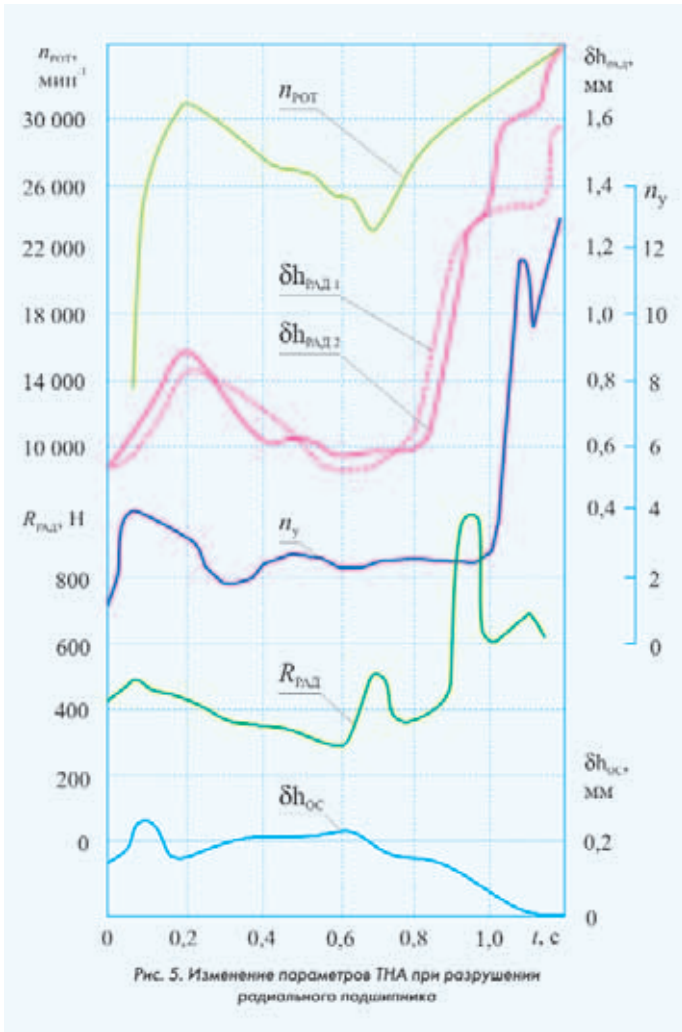


Рис. 5. Изменение параметров ТНА при разрушении радиального подшипника

силы насоса является небольшим ($K_{\text{но}} = 0,015$). Коэффициент осевой силы турбины при близкой к нулю степени реактивности в корневом сечении лопаток также весьма мал ($K_{\text{т}} = 0,068$).

Существенной составляющей в общем балансе осевых сил ТНА ЖРД закрытых схем является неуравновешенная сила давления, действующая на вал вследствие большого перепада между высоким давлением газа в осевом зазоре турбины и сравнительно низким давлением рабочего тела на входе в насос или в межнасосной полости. У исследованного ТНА эта сила на номинальном режиме работы составляет +15 кН, что значительно превышает противоположно направленную осевую силу в насосе (-3,5 кН) и превосходит суммарную силу в турбине (-8,0 кН). Остаточная осевая нагрузка на подшипники в результате баланса всех указанных сил составляет в данном ТНА +3,5 кН и не слишком сильно возрастает на переходных режимах. Эти значения соответствуют относительно невысокой напорности и мощности данного ТНА ($P_{\text{max}} = 25,0$ МПа, $G_{\text{max}} = 100$ кг/с).

Регистрация виброперемещений ротора показывает, что при нормальной работе ротор совершает небольшие взаимосвязанные колебания по всем трем осям. Максимальные величины радиальных

и осевых виброперемещений не превышают 0,5 мм. Частоты колебаний на низких режимах при частотах вращения ($n \leq 10^4$ об/мин), значительно меньших критических, соответствуют частотам вращения ротора; на режимах с частотами вращения ($n \geq 3 \cdot 10^4$ об/мин), превышающими критические, в спектрах сигналов присутствуют, помимо роторной, кратные частоты (1/2; 1/3; 1/4). Фазы колебаний по различным направлениям движения ротора достаточно стабильны, при этом регистрируются устойчиво повторяющиеся замкнутые фазовые траектории (рис. 2). При упрощенной схематизации упругомассовой системы ротора в виде двухопорной балки с сосредоточенной в среднем сечении массой $M_{\text{рот}}$, нагруженной силой $R_{\text{рад}}$, радиальные прогибы вала $\delta h_{\text{рад}}$ и частота собственных радиальных колебаний $\nu_{\text{рад}}$ ротора определяются соотношениями:

$$\delta h_{\text{рад}} \sim (L_{\text{в}}^3/D_{\text{в}}^4) R_{\text{рад}}, \nu_{\text{рад}} \sim D_{\text{в}}^2/(M_{\text{рот}} L_{\text{в}}^3)^{0,5},$$

где $D_{\text{в}}$ и $L_{\text{в}}$ - диаметр вала и расстояние между опорами.

Из этих соотношений видно, что для снижения величин радиальных биений роторов и вынесения собственных частот их колебаний за пределы рабочего диапазона частот вращения ТНА требуются ограничения длины вала между опорами и величин радиальных нагрузок на ротор (увеличение диаметра вала лимитируется работоспособностью подшипников по параметру $n D_{\text{в}}$).

Осевые перемещения ротора исследованного ТНА не превышала 0,15 мм, величины радиальных перемещений в тех же условиях составляли 0,4...0,6 мм.

Величина виброускорений, зарегистрированных вибродатчиками вблизи опор ротора в проведенных испытаниях, составила 2...4 g по средней амплитуде суммарного сигнала. Для обеспечения помехоустойчивости (спектральная плотность помех достигает на некоторых режимах величины 100 g²/Гц) вибродатчики устанавливаются на специальных амортизаторах, отфильтровывающих частоты выше 1000 Гц; вводятся соответствующие электрические фильтры в каналы измерения и осуществляется непосредственное измерение виброперемещений, исключающее влияние двойного дифференцирующего эффекта датчиков виброускорений. Чтобы регистрация вибраций корпуса ТНА давала больше информации о динамическом состоянии ротора, датчики вибраций следует располагать как можно ближе к опорам ротора.

Динамика ротора на переходных режимах

На рис. 3 показаны переходные процессы, полученные при кавитационном срыве насоса. До срыва насос работал на режиме с коэффициентом напора, близким к номинальному ($\bar{H} = 1$) и частотой вращения 10 000 об/мин; биение конца вала ТНА составляло 0,2...0,4 мм; вибронгрузки корпуса не превышали 4g; радиальное усилие - 200...400 Н и было направлено в сторону меньших сечений спирального отвода.

При кавитационном срыве коэффициент напора упал до $\bar{H} = 0,1$, частота вращения возросла почти до 33 000 об/мин. Общая картина динамического состояния ТНА существенно изменилась: радиальное биение вала увеличилось до 0,7 мм, радиальное усилие достигло 600 Н, причем его направление изменилось почти на 90°, перепад температур на подшипнике возрос с 1 до 3К. Сравнительно мало изменилось осевое перемещение ротора $\delta h_{\text{ос}}$ и уровень вибраций корпуса ТНА. Пульсации давления на входе и выходе насоса практически полностью исчезли и снова восстановились только после выхода насоса из кавитации. Существенно изменились фазовые траектории колебаний конца вала (рис. 2): увеличились диаметральные размеры замкнутых кривых, свидетельствуя об увеличении амплитуд колебаний по обоим радиальным направлениям, и произошло их расслоение по двойным траекториям, указывающее на появление новой формы колебаний. Спектрограммы вибраций корпуса, ТНА, зарегистрированных датчиками, расположенными вблизи опор ротора, отличались наличием характерных всплесков на частотах, кратных роторной.

После прекращения кавитации исходный режим работы восстановился ТНА. Кинограммы траекторий движения вала, полученные при разгонах и торможениях ротора при отсутствии кавитации, существенных различий не имеют.



Рис. 6. Деформация траекторий движения конца вала ТНА при разрушении подшипника:

1. За 0,2с до разрушения; 2. За 0,1с до разрушения 3. Разрушение.

На режимах глубокого дросселирования в области малых \bar{Q}/n (рис. 4) наблюдается резкое увеличение нагрузок на подшипник и вибраций по сравнению с их значениями на номинальном режиме. Работа насоса в области глубокого дросселирования с выходом на номинальный режим по параметру \bar{Q}/n осуществлялась дросселированием напорной магистрали насоса и последующим режим ее раскрытием, при этом охватывалась область характеристики насоса по приведенному расходу $\bar{Q}/n = (0,1 \dots 1,1) (\bar{Q}/n)_{\text{ном}}$. Радиальное усилие при $\bar{Q}/n = 0,1$ возрастает до 2500...2600 Н и изменяет свое направление на 100° в сторону меньших сечений спирального отвода (рис. 4). Уровень виброперегрузок n_g и пульсации давления на дроссельном режиме примерно в 3...4 раза выше, чем на номинальном. Существенных изменений в осевом и радиальном биении вала не наблюдается.

При нагружении ротора ТНА гидравлическим ударом, вызванном резким закрытием клапана в напорной магистрали, заброс давления превышает 5,0 МПа. В процессе закрытия клапана (при переходе с режима $\bar{Q}/n = 1$ на $\bar{Q}/n = 0,1$) радиальное усилие на подшипнике увеличивается с 500 до 2600 Н. При этом направление радиальной силы изменяется на 100° , виброускорения корпуса ТНА в районе опор ротора достигают 20g и затем снижаются до уровня 6g. Отмечаются резкие осевые перемещения ротора в сторону турбины величиной до 0,1 мм. Перепад температур на подшипнике не меняется.

Кавитационные автоколебания, возникающие на некоторых режимах в системе "насос-входной трубопровод" при частотах 5...10 Гц и амплитудах давлений $\pm 0,10$ МПа, существенных изме-

нений радиальных сил на подшипнике, осевых и радиальных перемещений ротора ТНА не вызывают. Возрастания радиального нагружения роторов с ростом амплитуды и частоты автоколебаний не обнаруживается.

Динамика ротора при разрушении подшипника

При переходных процессах, зарегистрированных во время разрушения подшипника ТНА из-за чрезмерной раскрутки ротора, вызванной кавитационным срывом насоса (рис. 5), изменение параметров до момента времени $t = 0,9$ с ($n = 30\,000$ об/мин) аналогично безаварийному испытанию (рис. 3). При дальнейшем разгоне ТНА резко увеличилось радиальное биение конца вала, $\delta_{\text{рад}}$, а затем и уровень вибраций n_g . При этом зафиксирован обрыв фазовых траекторий движения вала (рис. 6), свидетельствующий о разрушении подшипника. Величина радиальных биений вала (2 мм) существенно превышает нормальные перемещения, обусловленные прогибами вала и податливостью опор. В момент разрушения значительно увеличился уровень вибраций и резко возрос перепад температур на подшипнике. Регистрация движений ротора позволяет зафиксировать наличие отклонений в работе подшипника примерно за 0,1 с до начала его разрушения.

В целом, комплексы измерительных средств, подобные рассмотренному выше, позволяют экспериментально получать результаты, достаточно полно отражающие динамическое состояние роторов ТНА при нормальных и аварийных условиях и могут служить основой для построения систем технической диагностики ТНА. **▲**



14 ноября 2002 г. научная общественность, коллеги и ученики Леонида Ивановича Седова, известного в России и за рубежом ученого в области механики и космонавтики, отметили его 95-летие.

В Научно-исследовательском институте механики Московского государственного университета, в котором многие годы работал Л.И. Седов, в торжественной обстановке был открыт его мемориальный кабинет - музей. При открытии мемориального кабинета выступил академик РАН Горимир Горимирович Черный, многие годы сотрудничавший с Седовым. Он подробно осветил жизненный путь Леонида Ивановича, отметил его творческую деятельность и круг научных интересов - от задач классической гидродинамики и аэродинамики до самых глубоких основ механики и физики.

С большой любовью и уважением научные сотрудники Центрального Института авиационного моторостроения им. П.И. Баранова, в первую очередь - ученики Л.И. Седова, вспоминают его работу в ЦИАМ, где он длительное время работал заместителем начальника института по научной работе. Это был период перехода от проблемы создания и совершенствования поршневых двигателей к созданию воздушно-реактивных двигателей. По инициативе Леонида Ивановича в ЦИАМ была создана лаборатория газовой динамики авиационных двигателей, ставшая вскоре одним из ведущих центров нашей страны в области теоретической и прикладной газовой динамики. Л.И. Седову принадлежит разработка решений методических вопросов, возникающих на главных путях развития реактивной авиации и ракетной техники. Неоценим его вклад в создание новой уникальной экспериментальной базы ЦИАМ вблизи Москвы (НИЦ в Тураево). Она была создана после обращения в мае 1949 г. начальника ЦИАМ Т.М. Мелькумова совместно с академиками М.В. Келдышем, Л.И. Седовым и А.М. Люлька в Правительство СССР с письмом, где обосновывалась потребность в экспериментальной базе для проведения исследований, испытаний и доводки новых реактивных двигателей и их узлов.

С большой любовью и уважением научные сотрудники Центрального Института авиационного моторостроения им. П.И. Баранова, в первую очередь - ученики Л.И. Седова, вспоминают его работу в ЦИАМ, где он длительное время работал заместителем начальника института по научной работе. Это был период перехода от проблемы создания и совершенствования поршневых двигателей к созданию воздушно-реактивных двигателей. По инициативе Леонида Ивановича в ЦИАМ была создана лаборатория газовой динамики авиационных двигателей, ставшая вскоре одним из ведущих центров нашей страны в области теоретической и прикладной газовой динамики. Л.И. Седову принадлежит разработка решений методических вопросов, возникающих на главных путях развития реактивной авиации и ракетной техники. Неоценим его вклад в создание новой уникальной экспериментальной базы ЦИАМ вблизи Москвы (НИЦ в Тураево). Она была создана после обращения в мае 1949 г. начальника ЦИАМ Т.М. Мелькумова совместно с академиками М.В. Келдышем, Л.И. Седовым и А.М. Люлька в Правительство СССР с письмом, где обосновывалась потребность в экспериментальной базе для проведения исследований, испытаний и доводки новых реактивных двигателей и их узлов.

ИНФОРМАЦИЯ

На праздновании было обнародовано, что, к 95-летию Л.И. Седова учреждена ежегодная премия его имени. Это стало возможно благодаря активному участию Председателя президиума Российского национального комитета по теоретической и прикладной механике академика Г.Г. Черного и генерального директора Внешнеэкономического акционерного общества "Интерпрофавиа" (в сферу интересов последнего входит и организация проектно-конструкторских и научно-исследовательских работ по аэрокосмической технике) В.И. Грибакина. Являясь соучредителем премии им. Л.И. Седова, "Интерпрофавиа" выполнило общее финансовое ее обеспечение, в том числе установило денежную премию в размере 50 000 руб. По решению авторитетного жюри под председательством академика Г.Г. Черного, впервые, диплом и премия им. Л.И. Седова были вручены в день рождения Леонида Ивановича члену-корреспонденту АН РАН Андрею Геннадиевичу Куликовскому, заведующему отделом механики математического института им. В.А. Стеклова РАН - отделом, которым до своей кончины руководил Л.И. Седов.

Учреждение премии им. Л.И. Седова является данью глубокого уважения Ученому и коллеге, светлой памятью о нем. Автор настоящей заметки получил истинное удовлетворение, выполнив ряд поручений, связанных с учреждением премии им. Л.И. Седова. **▲**

Лев Соркин, ведущий научный сотрудник ЦИАМ



Вручение премии Л.И. Седова. Г.Г. Черный, В.И. Грибакин, А.Г. Куликовский



СОВРЕМЕННОМУ ЗДАНИЮ – СОВРЕМЕННЫЙ ЛИФТ

Юрий Демин, генеральный директор ООО "Евролифт"

Первые упоминания о лифтах связаны с легендарным древнеримским Колизеем. Считается, что он был оборудован двенадцатью лифтами, поднимавшими участников поединков на арену с подземных этажей. Грузоподъемные машины приводились в действие с помощью мышечной силы десятков рабов. Римский император Нерон поднимался в свои покои на роскошной платформе, подвешенной на канатах и скользящей по деревянным направляющим.

Близкий к современному механизм лифта, в котором для подъема использовались канатные барабаны, зубчатые передачи и металлические тросы, предложил великий Леонардо да Винчи. В России первые пассажирские лифты появились в Царском Селе и подмосковной усадьбе Кусково в середине XVIII века. Занимался "проблемами лифтового хозяйства" и знаменитый механик И.П. Кулибин: специально для Екатерины II он устроил в Зимнем дворце "подъемно-спусковые кресла" с винтовым приводом, причем едва ли не впервые изобретатель применил паровой привод.

Однако истинным "двигателем лифтового дела" оказался американский конструктор И. Отис, который не только выдвинул блестящую идею автоматического устройства, тормозящего кабину при обрыве несущего троса, но и принялся настойчиво внедрять лифты в конструкцию многоэтажных жилых зданий, магазинов и различных аттракционов.

Для привлечения общественного внимания к идее лифта и доказательства его безопасности Отис придумал весьма впечатляющий ход. На открытой для всеобщего обозрения платформе его поднимали на высоту нескольких этажей. Затем появлялся человек, одетый в традиционное облачение палача, в красном колпаке с прорезями для глаз и огромным двуручным мечом. Одним ударом он перерубал несущий канат, лифтовая платформа начинала падать, но, пролетев не более метра, тормозилась предохранительным устройством. Так было побеждено предубеждение против использования лифтов, и они начали триумфальное шествие по всем крупным городам планеты.

Первые электрические лифты появились в 80-х годах XIX века в Германии. С 1889 г. подъем на Эйфелеву башню и спуск с нее осуществлялись с помощью двухэтажной кабины на 25 человек, которую обслуживал экипаж из водителя и кондуктора. В Москве первый электрический лифт был установлен в 1901 г. в жилом доме.

Максимальная скорость перемещения скоростного лифта может достигать 10 м/с. Современный лифт преодолевает в месяц в среднем 3000 км, им пользуются до 12 тысяч раз. Несмотря на столь суровый режим эксплуатации, лифт остается вполне надежным и безопасным средством передвижения. С годами лифт превратился в "высокоинтеллектуальное" устройство, алгоритм его функционирования становится все более сложным и совершенным.

В 2000 г. МГУП "Мослифт" учредило ООО "Евролифт", основными задачами которого стали:

- разработка и продажа лучших российских и зарубежных лифтов, пуско-наладочные работы при монтаже систем управления лифтами;
- проектирование, монтаж, модернизация и эксплуатация лифтов;
- проектирование, монтаж и эксплуатация оборудования объединенных диспетчерских служб;
- техническая эксплуатация жилого фонда и нежилых строений, благоустройство территорий;
- капитальный ремонт инженерных коммуникаций;
- монтаж и обслуживание систем управления зданиями;
- эксплуатация систем пожаротушения и дымоудаления.

Стремление предложить потребителю все самое лучшее, современное и в то же время не слишком дорогое предопределило необходимость разработки нового конкурентоспособного оборудования. Свои перспективы ООО "Евролифт" связывает с широким внедрением распределенной системы управления лифтами, о которой речь пойдет далее, с частотно-регулируемым главным двигателем, управ-

ляемым приводом дверей кабины, малогабаритными устройствами замедления скорости движения кабины в аварийных ситуациях и пр.

В 2002 г. ООО "Евролифт" по техническому заданию МГУП "Мослифт" разработало, провело приемочные испытания и приступило к серийному выпуску и внедрению распределенной системы управления, которая явилась своеобразным подарком к 50-летию МГУП "Мослифт".

Недостатками существующих систем управления со шкафами ШУЛК, УЛ, УКЛ и др., где используется матричный способ сбора информации и индикации, являются:

- сложность обслуживания, поиска и выявления неисправностей как в лифте в целом, так и в электронных платах шкафа управления;
- сложность программного обеспечения, обусловленная необходимостью обработки одним микропроцессором сигналов, получаемых от большого количества контролируемых элементов;
- невысокая надежность системы вследствие большого количества электронных компонентов платы управления;
- снижение надежности системы из-за использования дополнительных элементов (диодов), обладающих обратной проводимостью, и отсутствием методов оперативного выявления таких диодов;



- сложность замены или отключения отказавших элементов, находящихся в шахте или на кабине;
- невысокая достоверность самоконтроля, что обуславливает увеличение времени простоя лифта;
- большие габаритные размеры контроллера.

Распределенная микропроцессорная система управления лифтом (МСУЛ) - это новый шаг в отечественном лифтостроении. Используя достижения современных цифровых технологий, она позволяет сделать лифты современными, привлекательными, малошумными и "умными", способными анализировать и прогнозировать ситуацию, предотвращать отказы, снижать уровень потребления электроэнергии, легко адаптироваться в системы диспетчеризации и в инженерные системы жизнеобеспечения зданий.

Отличительной особенностью МСУЛ по сравнению с существующими системами является децентрализация функций управления. Общая задача управления при этом разбивается на несколько простейших подзадач, каждую из которых решает отдельный микропроцессор. При необходимости обработки информации, получаемой различными вычислительными устройствами, микропроцессоры осуществляют быстрый обмен данными между собой.

МСУЛ предназначена для управления лифтами, движущимися со скоростью до 1,6 м/с, в жилых, общественных или больничных зданиях (до 32 этажей). Грузоподъемность лифтов достигает 1000 кг, они оснащены двухскоростными асинхронными или односкоростными частотно-регулируемым приводом. Система может одновременно осуществлять управление работой нескольких лифтов (до 6 единиц).

Система обеспечивает:

- алгоритмизацию работы лифта для жилых и общественных зданий с возможностью одиночного и группового управления лифтами;
 - смешанное и собирательное управление лифтом при движении кабины вниз;
 - управление лифтом в режиме "ревизия" и "деблокировка" без использования контроллеров и электронной платы управления;
 - визуализацию информации о неисправностях лифта и системы в целом в виде кодов ошибок, высвечиваемых на индикаторе контроллера;
 - визуализацию информации о состоянии системы и входящих в нее лифтов, осуществляемую посредством информационных светодиодов;
 - автоматическое отключение питания электродвигателя главного привода при превышении контрольного времени движения кабины между этажами для защиты электродвигателя от перегрузки;
 - автоматическое отключение электродвигателя привода дверей при превышении контрольного времени открытия или закрытия дверей;
 - защиту от тепловых перегрузок электродвигателя главного привода;
 - автоматическое отключение лифта при неисправности какого-либо из его датчиков;
 - автоматическое отключение МСУЛ при несанкционированном открытии створки двери шахты лифта;
 - автоматическое отключение МСУЛ при неисправных цепях контактов выключателей безопасности;
 - автоматическое включение освещения шахты лифта в соответствии с требованиями ПУБЭЛ;
 - автоматическую передачу сигнала на диспетчерский пульт о неисправности лифта;
 - возможность автоматической передачи информации о состоянии оборудования лифта на диспетчерский пункт.
- В состав МСУЛ входят:
- шкаф управления ШУЛ-2РС;
 - посты вызова ВП2-1НС06000ШУ3;
 - пост приказов ППЛ2-12НС12010СУ3;
 - контроллеры этажные;
 - пост "Ревизия";
 - пост "Деблокировка";
 - блок освещения шахты;
 - динамический указатель местоположения кабины.

Распределение функций между центральным и периферийными контроллерами упрощает программирование, делает возможным гибкое изменение состава и функциональных возможностей системы. Расположение периферийного контроллера в непосредственной близости от проверяемых элементов облегчает организацию контроля и диагностики их состояния и позволяет, в зависимости от работоспособности элементов, корректировать программу работы или исключать их из работы в случае отказа. При этом совершенно не затрагивается программа центрального контроллера, обеспечивающего выполнение наиболее ответственных функций, таких как контроль цепи безопасности, управление приводом дверей и главным приводом, определение факта несанкционированного открытия дверей шахты.

Передача данных между контроллерами в цифровой форме позволяет уменьшить всего до двух число информационных проводов, проведенных в шахте и в машинном помещении лифта. Сокращается количество переходных и присоединительных разъемов и распределительных колодок, упрощаются входные цепи шкафа управления и электронных плат. Монтажные работы становятся менее трудоемкими, сокращаются сроки монтажа или модернизации лифта, снижаются затраты монтажной организации и заказчика.

Программная обработка передаваемых сигналов при передаче и приеме информации существенно повышает надежность обмена данными, уменьшает до минимума вероятность ложных срабатываний системы, ведущих к потерям электроэнергии и увеличению времени ожидания лифта.

Применение стандартного интерфейса (RS485) для связи между контроллерами делает систему легкодоступной для обучения персонала и "прозрачной" для оперативного контроля, позволяя подключать стандартные средства диагностики с возможностью вывода информации на дисплей компьютера в процессе отладки системы.

Основанная на принципе цифровой передачи информации между территориально-распределенными компонентами системы (приказными и этажными контроллерами) и между другими лифтами в группе, МСУЛ легко сопрягается с компьютерными системами зданий, что дает возможность производить обмен и выдачу информации диспетчеру, корректировать собственные режимы (не нарушая правил безопасности) в зависимости от времени суток. Кроме того, внедрение МСУЛ позволяет экономить электроэнергию и алгоритмизировать управление лифтами в соответствии с требованиями владельца.

Таким образом, важнейшими преимуществами распределенной МСУЛ являются:

- сокращение потребного количества жил и массы кабелей;
- снижение трудоемкости монтажных работ;
- уменьшение вероятности ошибок персонала при монтаже;
- возможность оперативной адаптации системы к требованиям заказчика путем изменения программного обеспечения;
- повышенная помехозащищенность системы благодаря использованию цифровых технологий без применения специальных средств;
- значительное уменьшение габаритных размеров (в 5 раз) и массы центрального контроллера;
- возможность осуществления глубокой диагностики состояния периферийной аппаратуры.



АЛЕКСАНДР МИКУЛИН, ЧЕЛОВЕК - ЛЕГЕНДА



Лев Берне, Владимир Перов

(Окончание, начало в № 5-6, 2000 г., № 1-6, 2001 г., № 1-5, 2002 г.)

Революционные идеи - особенно сверхзвуковой компрессор - вызвали возражения у консервативной части авиационных ученых. Естественные в таком деле задержки раздражали чиновничью рать оборонного отдела ЦК КПСС и Министерства авиационной промышленности. Несмотря на то, что основные дефекты АМ-11 были уже устранены, министр П.В. Дементьев, никогда не питавший к Александру Александровичу теплых чувств, распорядился учредить комиссию для оценки деятельности завода № 300 и его руководителя.

Председателем комиссии был назначен В.Я. Климов. В комиссии в основном вошли работники ЦИАМ. Следует отметить, что в то время конструкторы завода № 300 вышли на мировой уровень авиационной науки, особенно в области разработки компрессоров. Естественно, что ученые ЦИАМ с определенной ревностью относились к успехам ОКБ Микулина, особенно в части теории ГТД. Непросто складывались и личные взаимоотношения Микулина и Климова. Хотя каждый из них в своем творчестве шел своим, только ему свойственным путем, элементы соревнования - у кого получится лучше - неявно присутствовали в их деятельности.

Очевидно, комиссию очень торопили: все ее выводы носили довольно общий характер в стиле "недостаточно обосновано", "малый объем экспериментов" (как будто комиссия не знала, какой нажим был на Микулина со сроками), "в мировой практике до сего времени не применяется" (да, действительно многое делалось впервые в мире!). В общем, выводы такие же, какие делают все аналогичные комиссии...

Перед новым 1955 г. Александр Александрович, как и раньше, добился, чтобы его принял один из высших руководителей страны, председатель Совета Министров СССР Г.М. Маленков. Микулин увлеченно описал главе государства деятельность своей фирмы и особенно подробно рассказал о новом двигателе, который, как он считал, мог совершить революцию в авиации. Маленков пообещал Александру Александровичу максимальную поддержку во всех делах, в том числе и в спорах с министерскими чиновниками. О результатах своего визита руководству МАП Александр Александрович докладывать не стал, приберегая их в каче-

стве козыря. Но неожиданно для Микулина (и не только для Микулина) в начале 1955 г. пленум ЦК КПСС освободил Маленкова от обязанностей председателя Совмина СССР.

Узнав, что Микулин лишился могучего покровителя, 20 января 1955 г. на завод приехал министр П.В. Дементьев с руководящими работниками министерства, а также председатель комиссии В.Я. Климов. Дементьев нагрянул неожиданно для всего коллектива завода № 300 и прежде всего - для сотрудников ОКБ. Сам А.А. Микулин в этот день на заводе отсутствовал. В большом кабинете директора завода собрали руководителей служб завода. Запомнились строгие, суровые лица - всем было понятно, что происходило что-то очень важное. М.Н. Степин - начальник 3-го Главного управления МАП - зачитал приказ министра авиационной промышленности об освобождении А.А. Микулина от обязанностей генерального конструктора и ответственного руководителя завода № 300. В качестве основной причины для такого решения были названы негативные выводы комиссии В.Я. Климова.

Степин закончил чтение - в зале стояла гробовая тишина. Совершенно окаменел В.Я. Климов, не ожидавший, что в общем-то мало значащее мнение его комиссии могло стать основанием для столь категоричного приказа. Первым пришел в себя Б.С. Стечкин, незадолго до описываемых событий получивший под свое начало вновь организованную лабораторию двигателей Академии наук СССР.

- Могу я использовать Микулина в моей лаборатории двигателей? - спросил у Дементьева Борис Сергеевич.

- Да, конечно... - так была решена дальнейшая судьба Александра Александровича.

Учитывая авторитет и заслуги А.А. Микулина, не приходится сомневаться в том, что приказ был согласован на самой вершине пирамиды партии и государства. Конечно, немаловажную роль сыграл факт снятия с должности Г.М. Маленкова. Если опустить ничтожные и, кстати, ничем не подкрепленные придирки, то фактически Александру Александровичу инкриминировалось только то, что сформулировано в следующем абзаце: "Тов. Микулин допускает ошибки в выборе направления развития авиационных двигателей, выступает с порочными идеями в части применения сверхзвуковых компрессоров, высоких температур и ряда других вопросов, чем вносит путаницу и затрудняет работу по созданию двигателей".

Чего здесь больше - цинизма или технической безграмотности? В этом косноязычно изложенном обвинении что ни слово, то беспардонное искажение существа вопроса. Ведь уже тогда наиболее дальновидным и опытным специалистам было совершенно очевидно, что стержневые направления создания высокоэффективных турбореактивных двигателей тесно увязаны с применением сверхзвуковых компрессоров и повышением температуры на входе в турбину. Опыт создания ГТД в нашей стране и во всем мире, как и практика широкого внедрения реактивных двигателей новых типов в производство, подтверждал это. В последующие годы как у нас (а советские двигателисты были флагманами в деле создания сверхзвуковых компрессоров), так и за рубежом эти принципы нашли свое неоспоримое подтверждение.



Истребитель Як-28

А чего стоят слова: *"Затрудняет работу по созданию двигателя"*. Как и кому затрудняет? Не мог же он "затруднять работу" других творческих организаций. И это ставилось в вину человеку, создавшему безусловно удачные образцы двигателей АМ-3, АМ-5, РД-9Б, и именно тогда, когда уже были изготовлены первые экземпляры АМ-11. Гонители забыли огромные заслуги Микулина перед Отечеством, которые обеспечили создание самолетов, обладавших уникальными техническими характеристиками, как в предвоенный период, так и в годы Великой Отечественной войны. Известно, что человеку свойственно сохранять в памяти, главным образом, положительные и яркие события. В данном случае речь идет о почти постоянных блистательных успехах. Только за 12 лет (а в них вошли и годы создания завода) - с февраля 1943 г. по январь 1955 г. - под руководством А.А. Микулина были успешно завершены государственные испытания восьми двигателей!

Тем, кто тогда работал рядом с ним, некоторые его поступки казались экстравагантными, приводившими порой в смятение, но по прошествии многих лет, отбросив наносную шелуху, убеждаешься, что Микулин был озаренным свыше конструктором и мудрым организатором опытного авиадвигателестроения.

Александр Александрович - выходец из недр интеллигенции - до последней клеточки был патриотом своей Родины. Его патриотизм в первую очередь выражался в подходе к принципам проектирования двигателей. Признавая необходимость изучения иностранного опыта, что он активно делал, Микулин никогда - ни в большом, ни в малом - не допускал слепого копирования. Его двигатели, и в этом было их преимущество, всегда были самобытными, в них зачастую закладывались принципиально новые конструкторские решения.

Он никогда не делил своих сотрудников на "наших" и "не наших", "белых", "черных", коммунистов и беспартийных. Категорией в выборе сотрудников были талантливость, работоспособность и приверженность делу. Короче, Микулин придерживался тезиса, который много позже, правда по другому поводу, сформулировал лидер китайского государства Ден Сяопин: *"Неважно, какого цвета кошка, лишь бы мышей ловила"*.

Кстати и самого Микулина можно отнести к такого рода "кошкам". В 1943 г. тайным голосованием действительные члены Академии наук СССР избрали его действительным членом Академии (сразу - без "членкорства")! А ведь в то время у него в кармане не было диплома об окончании высшего учебного заведения, но это был уникальный Микулин! Кстати, летом 1950 г., когда научная общественность страны отмечала 55-летие А.А. Микулина (50-летний юбилей не отмечался - война), командование ВВИА им. Жуковского подарило конструктору... диплом с отличием об окончании академии, в которой он никогда не учился, но иногда читал лекции. Это был его единственный диплом о высшем образовании, который Микулин высоко ценил. Ведь прежде в анкетах в графе "образование" приходилось писать: "высшее - незаконченное"...

Коллектив завода № 300 был большой, но очень многих работников Микулин знал лично. Почти ежедневно возникала необходимость в очень срочной и квалифицированной работе, на выполнение которой он отводил буквально часы (все знали его крылатый срок - *"завтра к 10.00"*). Тогда Микулин обычно говорил соответствующему руководителю: *"А Вы поручите это конструктору Юрову"*, или *"технологу Николаеву"*, или *"меднику Болтневу"*, или *"токаряу Филюткину"* и т.д. Человек очень деятельный и яркий, он и окружал себя людьми творчески одаренными и высокопрофессиональными. О тех, кто прошел выучку у А.А. Микулина, можно с уверенностью сказать, что они сохранили на долгие годы способность и умение работать на пределе своих возможностей. И когда человек говорит: "я работал под руководством Микулина" - это почти всегда свидетельство не только высокого профессионализма, но и того, что он способен работать с полной самоотдачей. Отсюда и результаты. Многие бывшие сотрудники Микулина впоследствии стали руководителями самостоятельных конструкторских организаций. Поразительный факт: из коллектива ОКБ-300 вышли шесть ведущих ОКБ.

Вспоминая годы работы с Микулиным, работники завода не могут сказать, что это были легкие годы. У Александра Александровича

был непростой, взрывной характер. Иногда можно было, допустив незначительную ошибку, услышать от него: *"Я Вас увольняю..."* Учитывая его темперамент, нельзя отрицать, что бывали иногда эти наказания незаслуженными и, следовательно, обидными. Но, как правило, почти у всех, кто работал тогда на заводе, эти обиды быстро выветривались из памяти - ведь А.А. Микулин обладал редким даром поощрять инициативу и отличный труд. Сам он был неиссякаемым источником самых, на первый взгляд, невероятных идей и замыслов.

Всех, кто общался с ним в те годы, поражала его способность непрерывно выдавать идеи "на гора". Это были и конструкторские, зачастую опрокидывающие все ранее принятые, в том числе и им самим предложенные принципиальные решения, и технические идеи, и новации в области организации труда, и многое другое. Далеко не все они были бесспорными, но значительная часть из них поражала неповторимой оригинальностью, самобытностью и, что самое главное, они давали зачастую единственно правильное решение той или иной проблемы.

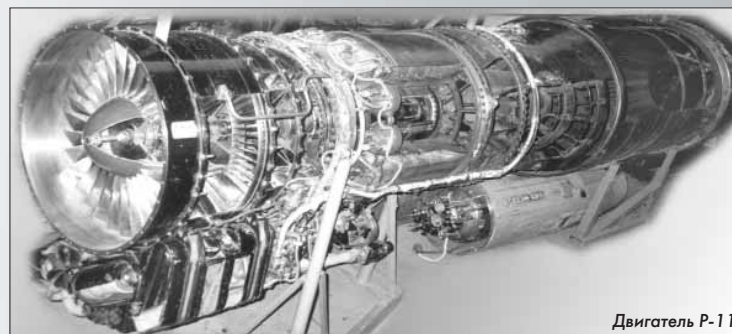
Несколько дней коллектив завода был в шоке. Дня через три на завод пришел приказ Дементьева о назначении и.о. ответственного руководителя и главного конструктора завода № 300 Сергея Константиновича Туманского.

И тут у многих, в том числе и у авторов этих строк, возникает вопрос, знал ли Туманский о грядущих событиях? Какова была его роль? Безусловно одно: если бы не было такой подходящей кандидатуры для замены Микулина, то приказ министра от 20 января 1955 г. вряд ли увидел бы свет.

Действительно, у Сергея Константиновича был опыт самостоятельной работы главным конструктором, полученный им на заводе № 29 в Запорожье. Он, будучи заместителем Микулина по конструкторской части, занимался всеми делами ОКБ, начиная от компоновок и кончая конструкторской документацией для серийного производства. Но был еще один фактор, который проливает свет на многие "тайны мадридского двора": Туманский учился в Военно-воздушной академии им. Н.Е. Жуковского на одном курсе с будущими министром П.В. Дементьевым, с заместителем главнокомандующего ВВС по вооружению А.Н. Пономаревым, который, кстати, был братом секретаря ЦК КПСС Б.Н. Пономарева. Сергей Константинович поддерживал дружеские отношения и с другими однокашниками по ВВИА им. Н.Е. Жуковского, в будущем главными конструкторами А.С. Яковлевым и А.И. Микояном. Но самая крепкая дружба связывала Туманского с Александром Николаевичем Пономаревым...

Конечно, у Сергея Константиновича не было такого полета фантазии, как у Микулина. Зато он всегда четко выполнял все поставленные ему задачи. В будущем стоит о нем рассказать отдельно, так как последующие 18 лет жизни завода № 300 проходили под руководством С.К. Туманского. И все эти годы Микулин ни разу не был на заводе, который он создал! В то же время можно сказать, что все достижения коллектива, созданного Микулиным, в период после его ухода связаны в наибольшей степени прежде всего с тем, что оставил после себя Микулин, с его личностью.

Ведущая роль в этом коллективе - по Микулину - должна принадлежать конструктору. Конструирование авиационного двигателя Микулин считал искусством, не уступающим искусству писателя, поэта, художника. Ведущая роль конструктора, считал он, не должна ограничиваться выпуском чертежей. Конструктор должен быть и организатором всего творческого процесса по созданию двигателя.



Двигатель Р-11



Су-15

Он обязан вместе с производственниками нести ответственность за его работоспособность, надежность, при этом наиболее ответственные производственные документы (например, технология изготовления узлов и деталей) должны согласовываться с конструктором.

Опытное конструкторское бюро Микулин считал ведущим отделом на заводе. В нем сосредотачивались наиболее талантливые люди. Кадры в ОКБ Микулин подбирал сам лично. Он наблюдал за работой каждого работника. На заводе работать было престижно, но в то же время и ответственно. Работали - не считаясь со временем - вечерами, а иногда и ночью, в зависимости от требований главного конструктора. Необходимо было постоянно проявлять активность, быть деятельным, инициативным. Молодые специалисты, поступавшие на завод, обычно направлялись на производство, и только отличившиеся в работе переводились в ОКБ.

Душой ОКБ был перспективный отдел, где разрабатывались проекты новых двигателей. В отделе работали наиболее талантливые компоновщики. Микулин ежедневно посещал отдел, лично участвуя в разработках. В отделе активно обсуждались различные варианты. К обсуждению привлекались и конструкторы рабочих групп.

Уделяя большое внимание ОКБ, Микулин не забывал производственные цеха, экспериментальные установки, испытательную станцию, которые регулярно посещал. Обычно посещения сопровождались каким-либо событием (кто-то придумал интересную конструкцию, технологическую новинку, провел успешный эксперимент), которое становилось достоянием всего коллектива. При неполадках, просчетах, появившихся вследствие халатности, работник подвергался осуждению.

Большое значение придавал Микулин организации проектных работ. Задание на создание нового двигателя уже на первой стадии подвергалось тщательному разбору. Создавались эскизные компоновки, обсчитывались газодинамические и прочностные характеристики. Изучались отчеты ЦИАМ, ЦАГИ, ВИАМ, НИАТ. Просматривались иностранные и отечественные проспекты перспективных двигателей. Изучался Заказчик: его состоятельность и перспективы развития. Велась переписка с военными. Рассматривались перспективы форсирования двигателя с учетом его работоспособности на десятки лет. Известно - срок создания двигателя, по меньшей мере, вдвое превосходит создание самолета. По завершению проработки задания, в случае положительного решения, начиналось согласование технических условий с заказчиком.

Подписывая технические условия, Микулин обычно провозглашал: "Всю ответственность беру на себя". После выпуска эскизного проекта, в конструкторских группах приступали к рабочим компоновкам. На этом этапе привлекались технологи, металлурги и работники цехов. После завершения компоновок созывалось техническое совещание с привлечением служб завода, на котором проект подвергался тщательному разбору. Высказывались критические замечания. После принятия замечаний и внесения корректировок компоновка утверждалась главным конструктором. Затем начинался выпуск рабочих чертежей, согласование их с отделами главного технолога, главного металлурга и службой стандартизации.

Микулин призывал с большой ответственностью относиться к компоновкам и выпуску рабочих чертежей. "Прежде, чем приступать к компоновке, - призывал он - изучи, что делается по твоему узлу в родственных предприятиях, просмотри каталоги иностранных двигателей и отчеты ЦИАМ. Свяжись с металлургом. Просмотри технологические возможности предприятия и поставь задачу по освоению новых технологических процессов, необходимых для создания нового перспективного двигателя. С пустой головой за доску не садись. Изучив все материалы, делай по-своему - с перспективой".

Микулин был неординарной личностью во всем. Он практически не накладывал взысканий в обычном понимании. Вместо этого он применял отстранение от работы - иногда тоже в оригинальной форме.

На заводе одним из самых сложных в производстве был цех № 4, специализация которого - крупногабаритные сварные детали. Начальником цеха был Э.М. Ливертовский, превосходный практик, создавший, по сути, целую школу первоклассных сварщиков: рабочих, мастеров, инженеров (кстати, сам высшего образования, как и большинство микулинских начальников цехов, не имевший). При внедрении сварных корпусов для двигателя АМРД-02, как говорится, "процесс не пошел". Микулин сначала устроил разнос Эммануилу Моисеевичу, а затем издал приказ, в соответствии с которым он "Моноу" - прозвище Ливертовского - назначил заместителем, а себя начальником цеха. Срок - до получения нужных результатов.

Другой пример. Собирался мотор АМ-45 на Государственные испытания. Днем все, включая военпреда, подписали акт сборки, а вечером к Микулину пришел слесарь-монтажник Николай Анисимов и сказал, что он после сборки не смог найти один из гаечных ключей. Александр Александрович дал команду: за ночь разобрать мотор. Полностью это делать не пришлось, когда сняли картер, то обнаружили в нем злополучный ключ. В тот же день Микулин издает приказ: за проявленную бдительность объявить благодарность Н.Н. Анисимову (впоследствии Николай Николаевич был награжден орденом Ленина). Вторым пунктом - после окончания смены сборщик не уходит с работы до тех пор, пока не сдаст в инструментальную полный набор инструмента.

Большой интерес представляют эпистолярные произведения Микулина, написанные по самым различным поводам. К примеру, был период, когда на заводе срывались сроки окончания строительства научно-исследовательской базы.

Александр Александрович написал письмо, и не кому-нибудь, а заместителю председателя Совмина СССР М.З. Сабурову: "Настоящим сообщаю, что на заводе № 300 создано катастрофическое положение с обеспечением выполнения плана 1947 г.

План не может быть выполнен вследствие отсутствия корпусов научно-исследовательской базы, т.к. все многократные постановления о строительстве этой базы сорваны...

Наконец, последнее постановление Совета Министров СССР от 16 марта 1947 г. № 578-204 сс и личное указание т. Сталина, отданное при мне 20 февраля с.г. в 8 часов вечера министру авиационной промышленности т. Хруничеву, о необходимости выполнения строительства научной базы на заводе № 300, до сего дня не начато выполнением.

Все эти факты заставляют меня потерять надежду на то, что строительство на заводе № 300 будет когда-либо выполнено.

Так как без научно-экспериментальной базы на заводе № 300 я не смогу обеспечить выполнение правительственных заданий, возложенных на меня, прошу Вас освободить меня от работы и передать мое дело в Совет Министров СССР для создания специальной комиссии по расследованию указанных выше фактов.

А. Микулин. 29.05.47 г."

Вряд ли такой документ мог вызвать доброе отношение М.В. Хруничева к Микулину.

А вот еще один пример.

"Конспект выступления А. Микулина на заседании у Министра 15.07.47 г.

Прошу огласить т. Туманского С.К., после чего сдать в Первый отдел Министерства (написано мною в постели ввиду болезни).

1. Когда заводу № 300 давали задание на РД-01, то обещали создать лабораторию и испытательную станцию для полноценной доводки нагнетателя с мощностью в 12 тыс. л.с. и колеса турбины с мощностью пара в 15 тыс. л.с. Обещали также дать полноценную жаростойкую сталь и электронное литье на завод № 219.

2. Ничего из обещанного до сего дня не сделано...

Заключение

9. Если бы заводу № 300 было оказано доверие и помощь, и если бы лаборатории и металл были бы даны в 1946 г. (это любая техническая комиссия, которую прошу назначить, подтвердит), то месяцев 6-7 тому назад двигатель был бы сдан, с данными по весу и расходу не хуже "Нина".

Что же дальше?

10. Без оборудованных лабораторий, для которых уже получены гигантские электромоторы, расхода не снизить.

11. Без металла и литья веса не снизить.

12. Без 300 станочников темпов не увеличить".

Категоричные требования Микулина вынудили чиновников найти на него управу. "Они думали, что я буду повержен и паду духом, - вспоминал Микулин, - но этого не случилось". Микулин нашел для себя новые интересы. В институте двигателей АН СССР, которым руководил Б.С. Стечкин, Александр Александрович занимал скромную должность старшего научного сотрудника. Там он с большим успехом исполнял обязанности консультанта, в первую очередь по поршневым двигателям, которые Микулин очень хорошо знал и любил. Для автомобилистов он занимался теми же проблемами, которые он решал, когда работал на авиацию. Но главной темой, которая его занимала на этом этапе деятельности, стал поршневой газогенератор, работающий на газовую турбину.

Позднее С.К. Туманский неоднократно рассказывал, что П.В. Деметьев категорически запретил ему когда-либо пускать Микулина на завод. Но когда ответственным руководителем завода № 300 стал Олег Николаевич Фаворский, ситуация коренным образом изменилась, и Микулин снова появился на заводе. Нашлись "доброжелатели", которые быстренько доложили Деметьеву о том, что Фаворский допустил Микулина на территорию завода. Немедленно последовал звонок министра: "Кто тебе разрешил пускать Микулина на завод?" Но у Олега Николаевича характер был твердый и, несмотря на грозный окрик, Микулин на заводе бывал регулярно, занимаясь своими опытами по созданию поршневых газогенераторов.

В послевоенные годы Микулин частенько болел и, возможно, именно это заставило его вторгнуться в совершенно новую для себя область - медицину. Он занялся изучением влияния биотоков на жизнь человека, изучал динамику кровообращения, работу мышечного аппарата. Постепенно оформлялась гипотеза об одной из главных причин старости - из-за оседания продуктов обмена (шлаков, по выражению Микулина) в межклеточных пространствах. По мнению Микулина, именно на этом уровне человек должен начинать помогать своему организму, и помощь эта заключается в постоянном движении, правильном дыхании и рациональном питании. Несмотря на многовековую древность подобных рекомендаций, они едва ли не впервые оказались осмыслены с инженерной, конструкторской точки зрения и получили новое подтверждение.

Его книга "Активное долголетие" издавалась у нас и за рубежом вызвала известный общественный резонанс, в том числе и среди медиков. Главное ее достоинство: доступным языком Александр Александрович объяснил протекание сложных процессов, происходящих в организме человека. Конечно, с точки зрения медицинской науки здесь было много наивного, но выводы, которые были изложены в книге, правильные. Чего стоит хотя бы правило, сколько надо есть в гостях: "Сначала попросите дать только полпорции, а потом от этой половины надо съесть тоже не более половины..." Книга "Активное долголетие (моя система борьбы со старостью)" побила все рекорды - она была издана общим тиражом более 2 миллионов экземпляров. Александр Александрович говорил: "Я - Герой Социалистического Труда № 8, но никогда не был так популярен, как сегодня - после выхода книги".

Отлученный от любимого дела Александр Александрович искал выход своей неиссякаемой энергии в других направлениях. На



МиГ-21

пример, он активно занимался созданием ионизатора воздуха и "машины здоровья" - малогабаритного тренажера. Промышленное производство ее было организовано в начале 70-х годов... Потом, как всегда, дело было забыто, зато сегодня в спортивных магазинах можно увидеть импортные модели тренажеров, в которых легко угадываются контуры микулинской "машины здоровья".

Прекрасный собеседник, он черпал свои бесконечные истории из жизни крупнейших писателей, художников, спортсменов, актеров и особенно актрис, со многими из них он был коротко знаком (первые три жены Александра Александровича - актрисы). Среди его близких знакомых были такие выдающиеся деятели русской культуры и искусства, как писатель Алексей Толстой, артисты Иван Козловский, Михаил Жаров, композитор Дмитрий Шостакович, скульптор Алексей Кибальников. Со многими из них он общался на теннисных кортах, как, например, с Игорем Ильинским. В своих любимых Гаграх он играл с Александром Яковлевым и еще совсем юным Генрихом Новожиловым.

Важное место в жизни Микулина занимал Коктебель, где у него была дача. Он был душой тамошнего литературного общества, а в периоды, когда Александр Александрович был холост, женщины (в основном молодые) не обходили его своим вниманием. Именно тогда Микулин выдвинул свою идею, что у настоящего мужчины до определенного возраста сумма лет жены и мужа должна соответствовать некой константе (таким образом, по мере увеличения возраста мужчины жена должна становиться все более молодой).

Микулин практически всегда - особенно в последние десятилетия своей жизни - был в отличной спортивной форме. Он блестяще владел мотоциклом, освоил управление автомобилями десятков марок. О физическом состоянии Микулина тех лет можно судить по следующему факту. Один из авторов статьи наблюдал, как Александр Александрович самоотверженно сражался на корте в паре с красивой, но не очень-то уверенно державшей ракетку девицей против пары "почти профессионалов". Все же Микулин боролся до последнего, и когда его спросили, как ему удалась игра, последовал ответ: "Я не в форме - вспотел..."

Только в 1985 г., к его девяностолетнему юбилею, когда ушли из жизни или от руководства отраслью те, кто в свое время шельмовал его, слава стала возвращаться к Александру Александровичу. "Характерными чертами конструкторского творчества А.А. Микулина были новаторство, природная русская смекалка и активное использование при решении практических задач результатов исследований, проведенных в научных институтах и конструкторских бюро" ("Крылья Родины" № 1, 1985 г.). "Новизна и самобытность, предвидение и оригинальность - все это было характерно для Главного конструктора" ("Авиация и космонавтика", № 5, 1985 г.).

А.А. Микулин скончался 13 мая 1985 г. Нет нужды пересказывать содержание некролога, подписанного руководителями государства и выдающимися учеными, но позволим себе обратить внимание читателей на то, что в нем Александр Александрович Микулин назван "основоположником советского авиадвигателестроения". Этим все сказано, правда, после ухода его из жизни.

СТРАТЕГИЯ СОЗДАНИЯ СЕМЕЙСТВ СОВРЕМЕННЫХ ЗАРУБЕЖНЫХ АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Владимир Пономарев, доцент РГАТА

Основу современного воздушного транспорта составляют дозвуковые пассажирские самолеты (ДПС) с газотурбинными двигателями. Усложнение задач, решаемых гражданской авиацией, неминуемо ведет к расширению типоразмеров ГТД, и, как следствие, – к увеличению номенклатуры двигателей. В условиях технического прогресса, постоянно изменяющегося спроса, жесткой конкурентной борьбы за рынки сбыта возрастает цена возможных ошибок, допущенных при проектировании двигателей, особенно на этапах формирования технического задания и технического предложения. Даже незначительные на первый взгляд просчеты в определении облика будущего двигателя могут привести к неудаче программы нового изделия фирмы.

Опыт реализации программ создания авиационных двигателей свидетельствует, что наиболее эффективными с точки зрения экономики обычно бывают относительно долгосрочные программы с большим объемом производства. Значительную роль в коммерческом успехе играет политика продвижения на рынок новой продукции, ее грамотное и своевременное сертифицирование и строгое соблюдение сроков поставки двигателей заказчику. Последнее представляет особые трудности, поскольку, если сроки разработки новых самолетов составляют 3-10 лет, то для двигателя – еще на 3-5 лет больше. Несогласованность в этих сроках, не принятая во внимание проектировщиками, сказывается на потребительских качествах конечного продукта – летательного аппарата. Так, например, одновременная разработка планера самолета B-747 и двигателя JT9D привела к большим проблемам, связанным с низкой надежностью последнего, высокой стоимостью его технического обслуживания и ухудшением характеристик по мере износа деталей. Затраты Pratt&Whitney на решение указанных проблем достигли \$200 млн и сравнялись с затратами на разработку JT9D. По этим (и связанными с ними) причинам B-747 первоначально оснащался двигателем General Electric CF6-6.

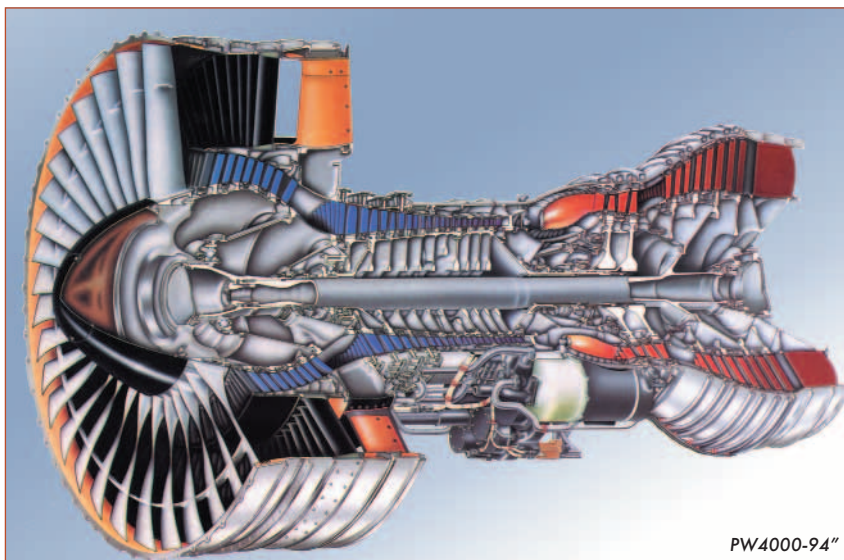
Поскольку стоимость разработки нового самолета и нового планера примерно равны (а при переходе к новому поколению двигателей этап их предварительного проектирования существенно дороже), то двигателестроителям требовалось минимизировать

возникающие технические и экономические риски, возникающие при выборе двигателя в начале работ по программе создания самолета. В связи с этим необходим был переход к новой методологии проектирования, учитывающей при создании нового двигателя неопределенность развития ситуации.

Относительная неудача, постигшая Pratt&Whitney, вынудила ее начать разработку турбореактивного двухконтурного двигателя (ТРДД) большой тяги следующего поколения PW4000. Новый двигатель создавался на базе ТРДД PW2037 с учетом опыта эксплуатации многочисленных модификаций JT9D. Решение о начале программы было принято в декабре 1982 г., хотя фактически работа велась уже с 1981 г. К этому времени вполне определилась тенденция развития ДПС, в частности широкофюзеляжных, для которых в основном и предназначены ТРДД большой тяги. В соответствии с указанной тенденцией, для снижения суммарных капитальных затрат разрабатывается не единичный самолет, а целое семейство модификаций, в котором есть и уменьшенные варианты базового самолета, и (значительно чаще) модификации с увеличенной по отношению к базовой взлетной массой.

Следует учитывать, что обычно от момента начала проектных работ до первого вылета ДПС взлетная масса возрастает на 5...30%. После первого полета возможен дальнейший рост (на 20...50%) взлетной массы самолета. Так, взлетная масса DC-10 через два года после первого полета возросла на 29% (DC-10-30), а через 21 год – на 46,6% (MD-11). Взлетная масса самолета B-767 за такой же период выросла на 74%.

Для сохранения летно-технических характеристик самолета параллельно должна расти и тяга двигателя. Практически все ТРДД в 70-х годах XX века развивались путем создания новых модификаций, отличающихся повышенной тягой. Так, фирма Pratt&Whitney вынуждена была увеличивать тягу упомянутого выше двигателя JT9D строго в соответствии с ростом массы самолета B-747. Первое требование о дополнительном увеличении тяги со стороны Boeing последовало в октябре 1966 г., а второе – уже в начале 1967 г. Увеличение тяги обеспечивалось путем создания новых модификаций двигателя, в частности, JT9D-3. Авиастроители, однако, не успокаивались на достигнутом, и, как следствие, рост тяги JT9D в период 1970-1983 гг. составил еще 26,0%. Стоит отметить, что при подобном развитии событий непременно возникает проблема обеспечения требуемой надежности. Единственный способ ее достижения – дорогостоящие и длительные испытания с последующей сертификацией



PW4000-94"

очередной модификации. При этом, если сохранять неизменной размерность вентилятора и газогенератора, то можно увеличить тягу не более чем на треть, что почти в два раза меньше прогнозируемого роста взлетной массы ДПС.

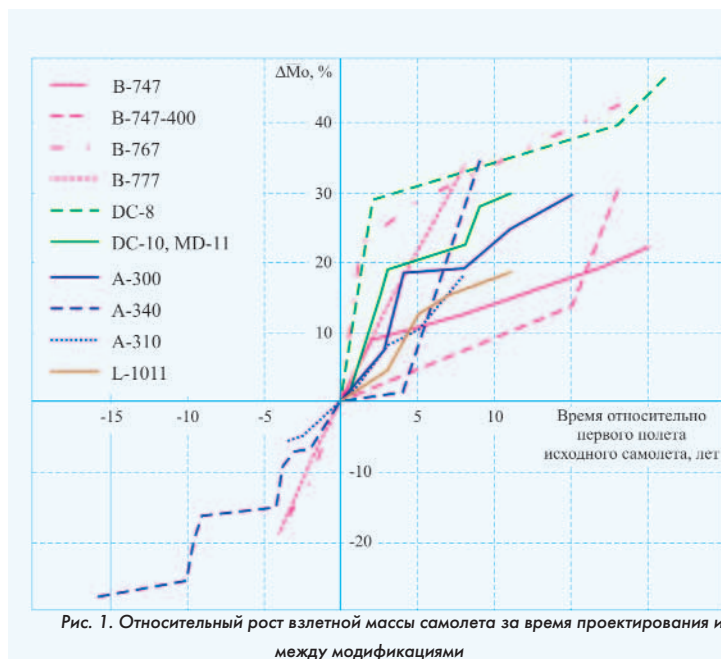
Выход был найден в одновременной разработке не единичного двигателя, модифицируемого по мере необходимости, а целого семейства модификаций ТРДД одного назначения на базе унифицированного газогенератора. Ввод в эксплуатацию производится последовательно, с интервалом около года (или чуть более), по мере возникновения надобности у заказчиков. Такой подход позволяет гибко реагировать на будущие требования заказчика, а диапазон тяг, перекрываемый семейством ТРДД, может достигать 100 %, если за исходную принять наименьшую из тяг двигателей семейства.

Семейства авиационных ГТД исторически делятся на два типа. К первому типу относят семейства JT8D, JT9D, CFM56, CF6, CF6-50, CF6-80, CF6-80C2, RB.211, НК-8. При развитии двигателей этих семейств нередко наблюдались сильное изменение формы проточной части и многочисленные конструктивные улучшения. Второй тип семейств ГТД - двигатели, создаваемые на базе полностью унифицированного газогенератора, скомпонованные с турбинами низкого давления и их вентиляторами (турбовентиляторами внешнего контура), имеющими различные наружные диаметры и число ступеней. Полная взаимозаменяемость унифицированных газогенераторов есть свойство скорее желаемое, чем достигаемое в реализованных семействах ТРДД. Комбинация газогенератора с турбовентилятором образует подсемейство ТРДД, представленное несколькими модификациями двигателей разной тяги и перекрывает свой, более узкий диапазон тяг. Характерным признаком второго типа семейств ТРДД служит быстрый рост тяги от модификации к модификации: более 60 кгс/мес. для подсемейства и 150...240 кгс/мес. для семейства (в сравнении с 35...60 кгс/мес. для семейств первого типа).

В настоящее время существуют и развиваются, по крайней мере, три таких семейства ТРДД: Trent производства Rolls-Royce, PW4000 фирмы Pratt&Whitney и BR700 консорциума BMW-Rolls-Royce. При этом Rolls-Royce сразу объявила о разработке трех подсемейств двигателя Trent: Trent600, Trent700 и Trent800, отличающихся тягой и диаметром вентилятора, степенью двухконтурности и суммарной степенью повышения полного давления. Внутри подсемейства тяга растет с уменьшением двухконтурности и увеличением суммарной степени повышения полного давления, а диаметр вентилятора сохраняется. Аналогичная картина наблюдается и в подсемействах ТРДД PW4000 и BR700. Рост тяги в рамках семейства достигает 40 % (модификации ТРДД Trent на базе одного газогенератора), 47 % (BR700), 102,7 % (PW4000), что вполне соответствует росту массы ДПС.

Стратегию создания семейства ТРДД второго типа иллюстрирует технико-экономическая политика Pratt&Whitney. Все семейство ТРДД PW4000 подразделяется на три подсемейства, называемые в проспектах фирмы по диаметру вентилятора: 94, 100 и 112 дюймов. Турбовентиляторы в каждом подсемействе имеют различное число подпорных ступеней и ступеней турбины низкого давления. Различная тяга у двигателей одного подсемейства обеспечивается изменением программы регулирования в электронной системе автоматического управления (CAU) с полной ответственностью типа FADEC. Применение такой CAU необходимо для удержания диапазона рабочих режимов двигателя в области приемлемых к.п.д. компрессора высокого давления путем простейших перенастроек программы регулирования и является необходимым условием для семейств ТРДД второго типа. Здесь Pratt&Whitney была первой. Первый двигатель семейства - PW4050, относящийся к подсемейству 94 дюймов (PW4000-94^и), был сертифицирован в 1986 г, а к 2000 г. в эксплуатации было 13 основных модификаций трех подсемейств.

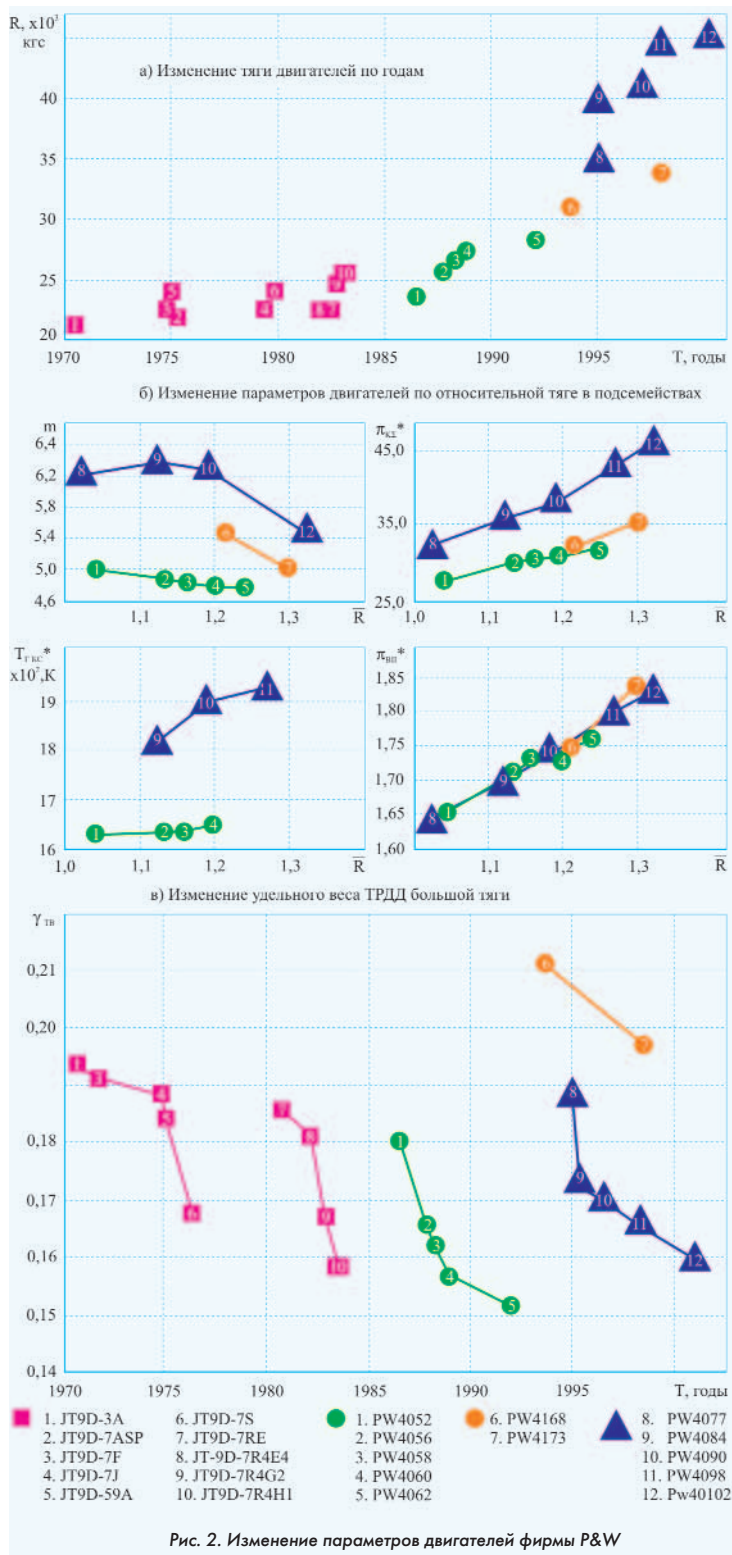
Ранние модификации первого подсемейства - PW4050, PW4052 и PW4156 соответствуют по тяге двигателям семейства JT9D-7R4 (рис. 2а). Фирмы-разработчики и фирмы-эксплуатанты самолетов охотно заменяли двигатели предыдущего поколения на новые: JT9D-7R4D на PW4050 для B-767-200, JT9D-7R4E на



PW4052 для B-767-200ER, JT9D-7R4H1 на PW4056 для A-300-600, JT9D-7R4 на PW4156 для A-310-300. Разрабатывавшиеся в конце 80-х годов модификации ДПС с большей дальностью полета и с большим взлетным весом требовали двигателей с увеличенной взлетной тягой. Возникшую потребность удовлетворили двигатели PW4058, PW4060, PW4062, устанавливавшиеся на самолеты MD-11, B-767-200ER, B-767-300 и B-747-400. Привлекательность первого подсемейства для авиакомпаний повышалась благодаря полной взаимозаменяемости газогенераторов всех двигателей подсемейства в эксплуатации, что позволяло иметь меньший оборотный фонд главных модулей двигателей и меньшее количество запасных деталей и агрегатов. С другой стороны, использование двигателей одного подсемейства позволяет экономить на подготовке технического персонала и переносить опыт технического обслуживания и ремонта на новые модификации.

Сертификация двигателей производилась с необходимым опережением сертификации самолета и не задерживала ввод в эксплуатацию последнего. За семь лет развития первого подсемейства тяга выросла на 24 %, и возможности по росту тяги двигателя с вентилятором в 94 дюйма были исчерпаны. При рассмотрении рис. 2а видно, что темп роста взлетной тяги первого подсемейства PW4000 значительно превосходит таковой для семейства JT9D. Можно предположить, что все модификации первого подсемейства в той или иной степени являются дефорсированными по температуре и тяге версиями PW4062. Постепенное, с учетом опыта эксплуатации, увеличение максимальной температуры газа перед турбиной T_r^* до ранее заложенной величины позволило обойтись без необходимости решения проблем низкой надежности и высоких затрат (осложнивших первые годы эксплуатации JT9D) и обеспечить потребности самолетостроителей в увеличении взлетной тяги.

Для ТРДД проектными параметрами являются среднемаховая температура газа перед турбиной (T_r^*), суммарная степень повышения полного давления в компрессоре (π_{Σ}^*), степень двухконтурности (η), степень повышения полного давления в вентиляторе (π_v^*), поскольку именно они определяют замкнутую систему уравнений проектного термогазодинамического расчета двигателя и могут изменяться в широком диапазоне значений. На рис. 2б показано изменение проектных параметров семейства ТРДД PW4000 в зависимости от относительной взлетной тяги. За исходное значение принята минимальная тяга в подсемействе. Для первого подсемейства изменение двухконтурности и суммарной степени повышения полного давления в компрессоре не противоречит росту T_r^* , что может служить подтверждением гипотезы о том, что все модификации первого подсемейства в той или иной степени являются дефорсированными по температуре и по тяге версиями PW4062. Второе подсемейство с венти-



Обеспечение потребного ресурса деталей горячей части двигателя при неизбежном повышении T_r^* от модификаций с меньшей тягой к модификациям с большей, как внутри подсемейства, так и при переходе от подсемейства с меньшим диаметром вентилятора к большему, облегчается уменьшением числа полетных циклов при возрастании дальности полета самолета. Однако переход на новый уровень T_r^* в следующем подсемействе возможен благодаря значительному налету двигателей предыдущего семейства и промежутку в несколько лет между сертификациями этих модификаций. Резервы для достижения наибольшей T_r^* в семействе, которая должна быть реализована в модификации с самой большой тягой, закладывались в момент выбора проектных параметров, а газогенератор создавался с соответствующими запасами по T_r^* и частоте вращения, реализованными в течение 15-20 лет. Таким образом, процесс доводки совместился по времени с эксплуатацией дефорсированных по T_r^* вариантов газогенераторов и позволил перейти в 1994 г. к фактически унифицированному для первых двух подсемейств газогенератору. По сути, сроки доводки двигателя остались прежними - 10-15 лет, но первая, дефорсированная версия начала эксплуатироваться уже через 6 лет, обеспечивая разработчикам опыт эксплуатации и окупаемость вложенных средств. Кроме того, она предоставила время для доводки более напряженных по T_r^* модификаций и дала возможность внедрения новейших конструктивно-технологических решений в конструкцию газогенераторов. Изменение удельного веса двигателей Pratt&Whitney, показанное на рис. 2в, может служить подтверждением переразмеренности первых модификаций каждого подсемейства. Из заложенного диапазона тяг для каждого подсемейства реализовывался тот вариант, который был нужен заказчику в данный момент.

Следует отметить, что повышение $\pi_{к\sigma}^*$ от подсемейства к подсемейству обеспечивается главным образом увеличением числа подпорных ступеней, которое достигло семи в последнем семействе. Поэтому название "подпорные" подходит к ним с некоторой натяжкой. Темп роста тяги двигателей третьего подсемейства очень велик и превосходит таковой для первого подсемейства вдвое (59 кгс/мес. и 102 кгс/мес.).

Можно предположить, что в момент выбора проектных параметров двигателей семейства и размерности унифицированного газогенератора (скорее всего это происходило в 1978-1980 гг.) основой послужил ТРДД с проектными параметрами, близкими к PW4084 (третьего подсемейства). Позже на его основе был определен облик газогенератора и выбраны проектные параметры двигателей всех подсемейств. Соответственно для первого подсемейства вентилятор имел входной диаметр 2377,4 мм - для обеспечения замены двигателей семейства JT9D-7R4 с таким же диаметром вентилятора на существующих самолетах (на момент сертификации двигателей первого подсемейства). Отсюда и относительно меньшая двухконтурность ТРДД первого подсемейства: 4,8...5,1. Двигатели-современники имеют двухконтурность в диапазоне 6...7,7 (CFM.56-C2, PW2037, E3 GE, E3 PW).

Для второго подсемейства вентилятор PW2037 был модифицирован по расходу воздуха с увеличением в 1,65 раза, и его диаметр составил 2535 мм. Дальнейший рост тяги, переход к третьему подсемейству и получение степени двухконтурности, предусмотренной в момент выбора проектных параметров исходного облика ТРДД каждой из будущих модификаций с одновременным увеличением удельной и лобовой тяг, обеспечил новый широкохордный вентилятор с лопатками без бандажных полок. Он разрабатывался и доводился 15 лет. В подсемействе 112-дюймовых вентиляторов имеются две разновидности: диаметром 2845 мм для PW4074, PW4077, PW4084, PW4090 и 2868 мм для PW4098 и PW40102. Вторая версия разработана для обеспечения очень больших тяг (44 452 и 46 262 кгс) вместо предполагавшегося закопированного винтовентилятора диаметром 140 дюймов.

К особенностям выбора размерности газогенератора ТРДД большой тяги Pratt&Whitney следует отнести его увеличенную, по сравнению с аналогичных ТРДД других фирм, размерность. Для JT9D-7 величина приведенного взлетного расхода воздуха через

лятором в 100 дюймов представлено только двумя модификациями - PW4068 и PW4173. Это объясняется тем, что в возможном для этого семейства диапазоне тяг востребованной оказались тяги в 30 845 кгс и 33 108 кгс для самолета А-330. Фактически второе подсемейство обеспечивает тягу в диапазоне 29 030...33 108 кгс, то есть между первым и третьим подсемействами.

В третьем подсемействе PW4000 с вентилятором в 112 дюймов впервые в практике Pratt&Whitney применен широкохордный вентилятор с полыми лопатками без бандажных полок. Еще одной особенностью двигателей этого подсемейства является их предназначение: для разных модификаций самолета В-777. Рост дальности полета и взлетной массы В-777 от одной модификации к другой вызвал соответствующее увеличение тяги двигателей третьего подсемейства PW4000.

первый контур равна 8,5 кг/с, а для CF6-6 - 5,5 кг/с. Аналогична ситуация и для новых двигателей: PW4000 - 8,17 кг/с и GE90 - 6,9 кг/с. Выбор размерности газогенератора очень важен при создании семейства ТРДД второго типа (для обеспечения возможности значительного увеличения тяги при минимальных модификациях). Очевидно, Pratt&Whitney не ставила задачу минимизации расходов топлива в первом подсемействе PW4000, поскольку PW4052 по крейсерскому удельному расходу топлива уступает не только PW2037 (базовому для PW4000), но и CF80-C2-A1, сертифицированному в том же году, но являющемуся модификацией двигателя предыдущего поколения. Крейсерские удельные расходы топлива более поздних модификаций PW4000 в рекламных материалах фирмы вообще не приводятся. Конечно, они выше, чем у конкурирующего ТРДД General Electric GE90 (0,522...0,545 кг/кгс·ч), но сертификация первой модификации семейства PW4000 была проведена на 9 лет раньше, чем GE90. В итоге двигатели семейства PW4000 устанавливаются на семи типах ДПС четырнадцати модификаций, а GE90 - только на одной модификации В-777. К 1996 г Pratt&Whitney захватила 50 % рынка сбыта ТРДД в диапазоне тяг 22 680...39 354 кгс.

Таким образом, можно отметить следующие основные черты методологии определения облика двигателей, используемой фирмой Pratt&Whitney:

- на основе анализа тенденций развития ДПС и динамики замены списываемых самолетов выполняется долгосрочный прогноз потребных тяг ТРДД;
- выбирается наиболее перспективный диапазон тяг с отношением максимальной тяги к минимальной, равным 1,6. Именно такая величина гарантированно обеспечивается применением трех различных турбовентиляторов, и при этом отличие двигателей семейств

ва от оптимизированного для конкретной тяги не настолько велико, чтобы сделать их неконкурентоспособными;

- проектные параметры оптимизируются и выбирается наилучшая по выбранному критерию комбинация обликов ТРДД для трех подсемейств. Они отличаются возрастающим диаметром вентилятора, числом ступеней турбовентилятора и соответствующим увеличением T_r^* . Верхний уровень T_r^* выбирается, исходя из имеющегося задела с расчетом его достижения через 12...15 лет. Уровень технического риска при этом очень низок. Подсемейства должны последовательно, с некоторым перекрытием заполнять весь выбранный диапазон тяг;

- ввод в эксплуатацию двигателей начинают с подсемейства с наименьшей T_r^* в освоенном ранее диапазоне тяг. Вместе с тем, непременным условием является наличие спроса на двигатели в соответствующем диапазоне тяг и существенное технико-экономическое превосходство нового двигателя, делающее привлекательной замену старого изделия на новое. Новый двигатель должен принадлежать к следующему поколению. Наилучшим вариантом является замена двигателей предыдущего поколения, однако может потребоваться сохранение диаметра вентилятора, определяющего двухконтурность двигателей первого подсемейства;

- значение T_r^* для первого подсемейства выбирается таким образом, чтобы гарантированно сертифицировать очередную модификацию двигателя в срок не более года.

- унификация газогенератора внутри подсемейства является обязательной. Кроме того, должна быть обеспечена возможность унификации газогенератора между подсемействами путем установки новых версий газогенератора на двигатели более ранних модификаций и подсемейств. ▲

ИНФОРМАЦИЯ

Уважаемые коллеги!

В 2003 г. в Центральном институте авиационного моторостроения им. П.И. Баранова будет продолжена практика проведения регулярных научно-информационных совещаний, посвященных обсуждению новейших достижений в авиадвигателестроении и смежных областях, сведения о которых публикуются в ведущих зарубежных изданиях и Интернете.

Тематика совещаний включает следующие вопросы:

- деятельность и техническая политика ведущих зарубежных авиационных двигателестроительных фирм и правительственных организаций;
- основные национальные и международные программы по разработке новых поколений авиационных двигателей различных схем и ход их выполнения;
- направления совершенствования рабочего процесса авиационных двигателей и оптимизации их узлов и элементов;

- экспериментальные стенды, оборудование и измерительная техника для исследования рабочего процесса и доводки конструкции двигательных установок;

- проблемы эксплуатации и повышения эффективности авиационных двигателей.

Наиболее интересные и актуальные сообщения прокомментируют ведущие специалисты отрасли.

Приглашаем всех заинтересованных лиц принять участие в совещаниях. Совещания проводятся на территории ЦИАМ по понедельникам два раза в месяц. Начало совещаний в 8 ч 30 мин.

За справками обращаться к Хайлову Вячеславу Михайловичу или техническому секретарю совещаний Пронину Константину Юрьевичу по телефону: (095) 362-9308, 361-6635, факс (095) 267-1354.

ИНФОРМАЦИЯ



В ОТДЕЛЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ЦИАМ ВЫШЛИ ИЗ ПЕЧАТИ СЛЕДУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ, В КОТОРЫХ АНАЛИЗИРУЕТСЯ И ОБОБЩАЕТСЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЗАРУБЕЖНОМ ОПЫТЕ СОЗДАНИИ АВИАДВИГАТЕЛЕЙ

СХЕМЫ СОВРЕМЕННЫХ КАМЕР СГОРАНИЯ АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ *Аналитический обзор № 401*

Рассмотрены различные схемы современных и разрабатываемых в настоящее время камер сгорания авиационных двигателей. Представлены всевозможные схемы с различными соотношениями зон горения, смешения, различные комбинированные схемы.

СОСТОЯНИЕ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ТРДД ДЛЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ САМОЛЕТОВ *Аналитический обзор № 403*

На основании информации, опубликованной в печати и в Интернете, проведен анализ современного состояния и основных тенденций развития зарубежных двухконтурных двигателей, предназначенных для применения на региональных самолетах различных классов.

ЗАРУБЕЖНЫЕ МАЛОРАЗМЕРНЫЕ АВИАЦИОННЫЕ ВГТД И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ *Аналитический обзор № 405*

Проведен обзор сведений о малоразмерных авиационных ВГТД и энергоустановках по основным зарубежным фирмам. Обзор выполнен с использованием материалов открытой зарубежной научно-технической литературы и проспектов фирм. На базе полученных материалов проведен анализ тенденций развития ВГТД.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ПРОГРАММА МТУ "ДВИГАТЕЛИ ЗЕ". ИТОГИ ПЕРВОГО ЭТАПА *Реферат № 0214*

Описывается деятельность моторостроительного объединения МТУ по технологической программе ЗЕ, проводимой с целью улучшения экологических характеристик авиационных двигателей. Обсуждается концепция турбореактивного двигателя с большой степенью двухконтурности. Подводятся итоги первого этапа программы и кратко освещается стратегия дальнейших работ.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ПОВЕРХНОСТИ ПЕРФОРИРОВАННЫХ ПЛАСТИН *Реферат № 0215*

Описаны результаты параметрического исследования распределения температуры на поверхности перфорированных пластин на режимах, типичных для камер сгорания. Обсуждается влияние на температуру поверхности пластины различных характеристик воздушных потоков и параметров самих пластин.

По вопросам приобретения этих и других изданий ЦИАМ обращаться к Рождественской Лидии Владимировне. 111116, Москва, Авиамоторная ул., 2. Тел.: (095) 362-5539, факс: (095) 267-1354.

ОСНОВНЫЕ ВЕХИ РАЗВИТИЯ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ АВИАЦИОННЫХ ПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

(КРАТКИЙ ОБЗОР)

Юрий Бехли

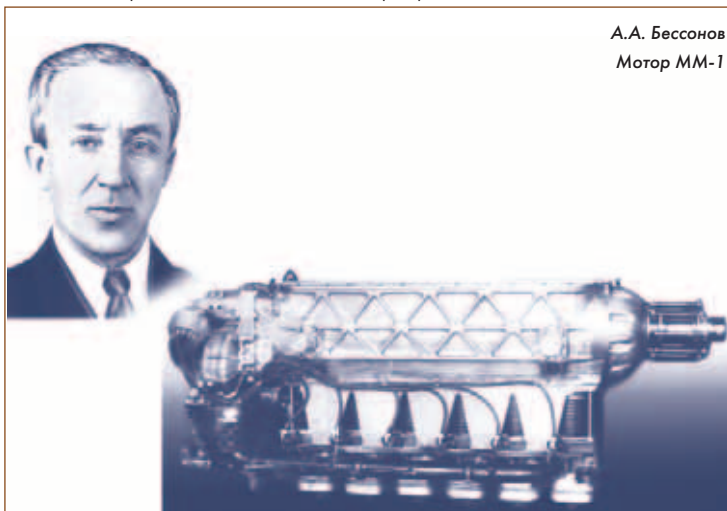
(Окончание. Начало в № 5 - 2002 г.)

Опытные двигатели и экспериментальные прототипы

Наряду со все расширяющимся серийным производством основных типов отечественных АПД продолжалась интенсивная разработка опытных образцов. Они представляли собой варианты новых оригинальных двигателей, которые в последующем, после проверки и отбора завершались созданием серийного образца. В ЦИАМ опытное строительство и создание экспериментальных образцов производились в интересах проверки новых концепций и обоснования рекомендаций для ОКБ. Из числа созданных или разрабатывавшихся в ЦИАМ опытных двигателей наибольший интерес представляют двигатели МГМ, ММ-1, М-300, М-200 и ОМ-127.

Двигатель МГМ главного конструктора Е.В. Урмина

Звездообразный двухрядный 14-цилиндровый мотор МГМ имел малое отношение хода поршня ($h = 135$ мм) к диаметру цилиндра ($\varnothing = 130$ мм). Отличительной чертой этого двигателя было высокое значение удельной миделевой мощности - 910 л.с./м². Тщательно было отработано оребрение цилиндров с целью достижения рационального температурного поля головки цилиндра. Система газораспределения включала толкатели с гидравлической компенсацией зазоров. Особенностью двигателя было применение стального картера.

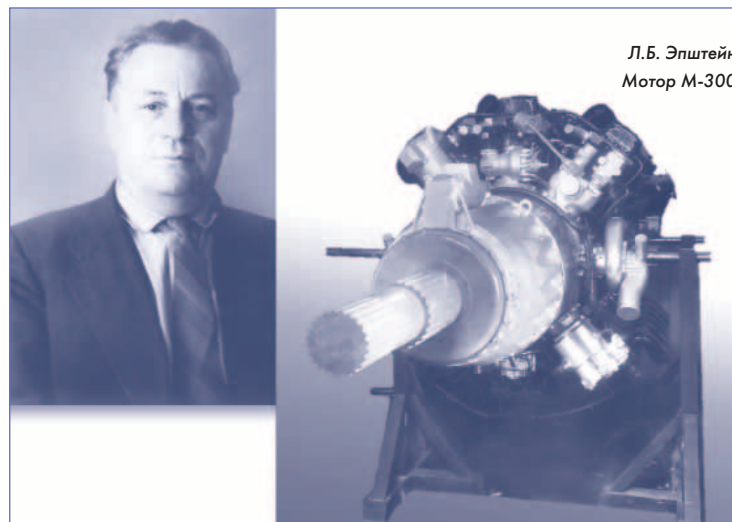


А.А. Бессонов
Мотор ММ-1

В ходе доводки двигателя широко применялись испытания цилиндро-поршневой группы в составе одноцилиндровых установок. Таким путем была обоснована возможность получения в этом двигателе литровой мощности 40 л.с./л, что для того времени (1939 г.) было достаточно хорошим достижением. Была также отработана система непосредственного впрыска топлива.

Мотор ММ-1 главного конструктора А.А. Бессонова

Однорядный 6-цилиндровый двигатель воздушного охлаждения перевернутой схемы (головки цилиндров снизу) мощностью 250 л.с. был построен в 1935-1937 гг. Простота и малая



Л.Б. Эпштейн
Мотор М-300

нагруженность мотора позволили обеспечить надежную работу. Мотор показал высокие эксплуатационные качества при летных испытаниях на самолете САМ-10. Однако в серийное производство ММ-1 не передавался, так как его опередил по срокам лицензионный мотор МВ-6 ("Рено-Бенгали"), имевший несколько меньшую мощность.

Мотор М-300 главных конструкторов А.А. Бессонова и Л.Б. Эпштейна

Этот 36-цилиндровый двигатель жидкостного охлаждения был выполнен в виде звезды, состоящей из шести блоков с углом развала между ними, равным 60°. Расчетная мощность двигателя составляла 3500 л.с. В 1940 г. изготовили один экземпляр двигателя. Нужно отметить, что схемное решение мотора соответствовало имевшейся в то время тенденции увеличения мощности путем наращивания числа цилиндров.

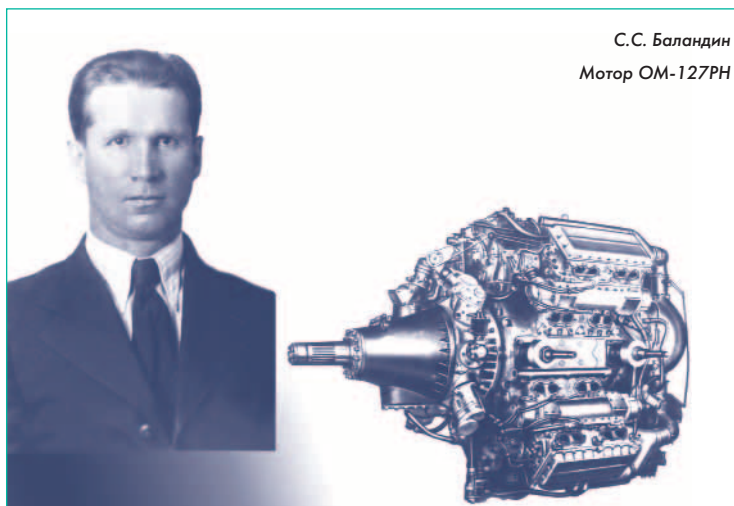
Высотность 10 000 м обеспечивалась 4-скоростным центробежным нагнетателем. Такое решение вряд ли можно считать удачным, учитывая имевшийся к тому времени положительный опыт создания турбокомпрессоров.

Доводка двигателя не была завершена в связи с началом войны.

Мотор М-200 главного конструктора В.Н. Фомина

Двухтактный рядный 6-цилиндровый бензиновый двигатель водяного охлаждения, работавший по схеме с противоположно движущимися поршнями и двумя коленчатыми валами (ЦДЛ), имел расчетную мощность 900 л.с. Далее предполагалось построить на его базе 18-цилиндровый мотор, соединив три блока треугольником с тремя коленчатыми валами.

Номинальная мощность 600...700 л.с. сохранялась до высоты 4000 м с помощью приводного центробежного нагнетателя. Двигатель имел размерность $h = \varnothing = 100$ мм; частота вращения коленвала, соответствующая номинальной мощности, 3500 мин⁻¹; сухая масса двигателя составляла 370 кг.



С.С. Баландин
Мотор OM-127PH

Экспериментальные работы в области форсирования и повышения экономичности АПД и поиски новых форм ведения рабочего процесса

В практике создания новых отечественных АПД за рассматриваемый период достаточно продолжительно сочетались опытные и экспериментальные разработки. Первые были связаны с соблюдением заданных характеристик двигателя и сроков его предъявления на официальные испытания, поэтому они могли опираться лишь на достаточно апробированные теоретические посылки и конструктивные решения. Вторые же, поисковые, служили для нахождения новых путей развития. Они не были регламентированы столь строго, как первые, поскольку здесь нередко возникали труднопреодолимые препятствия.

После 1936 г., с организацией ОКБ при заводах-изготовителях моторов, разработка и исследование экспериментальных объектов стало основным содержанием деятельности ЦИАМ.

Рассмотрим некоторые результаты исследований рабочего процесса в цилиндрах АПД, направленных на форсирование двигателей, повышение их экономичности и поиск связанных с этим способов обеспечения надежной работы цилиндро-поршневой группы.

Для проведения таких работ широко использовались одноцилиндровые двигатели, состоявшие из универсального картера и экспериментальной цилиндро-поршневой группы. Универсальные картеры позволяли испытывать цилиндры различных типов двигателей с диаметром цилиндра от 110 до 160 мм, с ходом поршня от 110 до 200 мм. Устройству картера допускало установку цилиндров как с жидкостным, так и с воздушным охлаждением. Весьма универсальным был привод к органам газораспределения - предусматривалась возможность применения верхнего и нижнего привода клапанов, осуществлялось на выбор золотниковое, дисковое или гильзовое распределение. Была создана серия таких одноцилиндровых двигателей легкого и тяжелого топлива.

Приведенные ниже сведения о содержании работ, выполнявшихся на экспериментальных одноцилиндровых двигателях, далеко не охватывают весь круг проводившихся исследований. Всего было создано более 40 подобных двигателей. Кроме того, применялись специализированные одноцилиндровые двигатели и отсеки полноразмерных двигателей с экспериментальными цилиндрами и блоками.

Экспериментальные работы велись по следующим основным направлениям:

1. Повышение литровой мощности.

Исследовалось влияние давления, температуры воздуха на входе в цилиндры двигателя и частоты вращения коленвала на рабочий процесс, в том числе на достижимые индикаторную мощность, мощность, затрачиваемую на трение и насосные ходы, наполнение цилиндров, температурное состояние цилиндро-поршневой группы, детонационные свойства топлива и др.

На одноцилиндровом двигателе легкого топлива было достигнуто давление наддува - $6,25 \text{ кгс/см}^2$ и среднее индикаторное давление 50 кгс/см^2 при работе на бензине БУ №5/145, что при частоте вращения 3000 мин^{-1} давало литровую мощность около 170 л.с./л.

2. Улучшение экономичности.

Исследовались возможности стабилизации процессов смеобразования и сгорания при работе двигателя легкого топлива на переобогащенных смесях путем применения послыного смеобразования, форкамерного и струйного зажигания, специального завихрения воздуха в цилиндре, дифференцированной подачи воздуха на ходе сжатия. Исследовалось также влияние газобразного водорода в качестве присадки к топливу. При этом оценивалось изменение склонности двигателя к детонации и стабильность воспроизведения индикаторных диаграмм.

Для повышения экономичности на форсированных режимах, связанных с работой на переобогащенных смесях, исследовались возможности использования тепловой, кинетической и химической энергии выхлопных газов.

Верхний и нижний картеры двигателя соединялись стальными гильзами цилиндров, затянутыми гайками. В среднем сечении (по высоте гильзы) размещались две форсунки для непосредственного впрыска топлива, две свечи зажигания и клапан для подачи сжатого воздуха при запуске двигателя. Коленчатые валы соединялись между собой зубчатой передачей.

Цилиндры имели продувочные (нижний пояс) и выхлопные (верхний пояс) окна для обеспечения эффективной продувки цилиндров.

Доводка двигателя затянулась и к 1940 г. была прекращена.

Бесшатунный двигатель OM-127PH главного конструктора С.С. Баландина

Принципиально новая схема двигателей с бесшатунным механизмом была разработана С.С. Баландиным еще в 1936 г. С этого момента до 1951 г. было разработано и построено несколько двигателей такого типа мощностью от 80 до 3200 л.с. Последним из построенных двигателей (1949 г.) был 8-цилиндровый мотор жидкостного охлаждения X-образной схемы. Он работал по 4-тактному процессу двойного действия (рабочий процесс шел по обе стороны поршня). Двигатель развивал мощность 3200 л.с. на взлетном режиме при частоте вращения 2650 мин^{-1} . Цилиндры двигателя имели размерность: $h = 155 \text{ мм}$, $\varnothing = 146 \text{ мм}$. Общий объем цилиндров 22 л. Использование процесса двойного действия позволяло получить высокую по тем временам литровую мощность 145 л.с./л при давлении наддува 2100 мм. рт. ст. Удельная масса двигателя составляла $0,635 \text{ кг/л.с.}$

В 1951 г. двигатель прошел комплекс официальных испытаний.

На основании результатов доводки OM-127PH был выполнен проект 24-цилиндрового двигателя M-127 мощностью 10 000 л.с. при частоте вращения 2600 мин^{-1} и давлении наддува 1600 мм. рт.ст. Двигатель был снабжен турбокомпрессором и импульсными турбинами. Высотность двигателя достигала 12 000 м. Удельный расход топлива на крейсерском режиме был весьма малым - всего $165 \text{ г/л.с.}\cdot\text{ч}$ у земли и $148 \text{ г/л.с.}\cdot\text{ч}$ на расчетной высоте.

Были также проработаны варианты M-127 в бесклапанном варианте - с дисковым газораспределением и в варианте дизеля.

Дисковое газораспределение давало возможность существенно упростить конструкцию цилиндра, поскольку дисковые золотники располагались по боковым сторонам блоков цилиндров, и головки блоков были освобождены от клапанных гнезд. Это позволяло также улучшить условия работы камер, расположенных под нижним доньшком поршня.

В обоснование проекта M-127 были построены экспериментальные отсеки двигателя и одноцилиндровые установки. Полноразмерный же двигатель не был построен, так как работы по созданию новых образцов мощных АПД всех типов были в 1951 г. прекращены.

Такая судьба постигла и ряд других мощных турбопоршневых двигателей оригинальной конструкции, находившихся к 1951 г. в стадии проектной разработки и экспериментальной проверки цилиндровой группы и других узлов.

Было экспериментально показано, что в схеме турбопоршневого двигателя легкого топлива использование всех видов энергии выхлопных газов позволяет иметь эффективный к.п.д. на расчетной высоте 10 000 м, равный 44...49 %, а для двигателя тяжелого топлива - до 53 %. Результаты данных исследований были широко использованы при создании турбопоршневого двигателя ВД-4К.

3. Разработка простой и рациональной системы бесклапанного газораспределения.

Были экспериментально исследованы системы газораспределения с перекрытием окон впуска и выпуска поршнями, а также с перекрытием впускных окон поршнем и выхлопных - цилиндрическим золотником. Обе эти системы были применены для двухтактного рабочего процесса. Гильзовое распределение - того же типа, какой применяла английская фирма "Бристоль" - было разработано для 4-тактного процесса.

Наиболее универсальным, применимым и для 2-тактного, и для 4-тактного процесса, было дисковое распределение, которое всесторонне исследовалось теоретически и экспериментально на многих установках и в различных вариантах.

Детальное изучение конструктивных особенностей дискового газораспределения показало, что эта система наиболее применима для блочных двигателей жидкостного охлаждения. Основным элементом системы являлся плоский вращающийся диск, прилегающий своей боковой поверхностью к наружной плоской поверхности блока цилиндров.

В диске имелось профилированное окно, периодически соединявшее полость цилиндра с каналом в головке цилиндра. Проработка ряда вариантов показала, что весьма эффективной явилась разработанная В.И. Шальновым оригинальная система, в которой одна группа дисков управляла впуском, а другая - выпуском газов. Такая двухдисковая система давала возможность развить "дыхательную" способность двигателя и позволяла существенно сократить высоту цилиндра (например, у двигателей семейства "АМ" на 215 мм). Отсутствие возвратно-поступательного движения в системе газораспределения и хорошее наполнение цилиндра давало возможность повысить частоту вращения.

На экспериментальном цилиндре с таким газораспределением была получена мощность более 400 л.с. Использование 2-дисковой системы газораспределения давало возможность превратить отработанный четырехтактный двигатель в двухтактный путем изменения передаточного отношения к газораспределению с 1:2 на 1:1. Эта идея была экспериментально проверена с положительным результатом. Ценной особенностью 2-дисковой системы газораспределения было отсутствие необходимости изменения конструкции поршня. Все доработки заключались в регулировке моментов впрыска и зажигания и соответствующем сдвиге фаз впуска и выпуска.

4. Исследование особенностей работы бесшатунных двигателей.

Среди различных типов бесшатунных двигателей, динамика и конструкция которых рассматривалась и изучалась отечественными двигателястами, наибольшее внимание было уделено схеме, предложенной С.С. Баландиным еще в 1935 г. Отличительной чертой этой схемы была возможность осуществления рабочего процесса двойного действия, т.е. по обе стороны поршня. Для такого способа ведения рабочего процесса характерны большие тепловые нагрузки, что требует специальной системы принудительного охлаждения. Помимо того, через нижнюю рабочую полость (под поршнем) проходит шток, несущий поршень, что оказывает влияние на распределение топлива по объему и на прохождение фронта пламени. Газообмен в нижней полости при клапанном газораспределении несколько затруднен ограниченным пространством, в котором размещается нижний клапанный механизм. Все это требовало детального экспериментального исследования на модельных, одноцилиндровых и блочных установках. Результаты экспериментальных работ показали, что возможные вредные последствия указанных особенностей процесса двойного действия в схеме, предложенной С.С. Баландиным, можно полностью устранить соответствующими мерами, и в работе верхней и нижней полостей можно достичь практически одинаковых к.п.д.

Нужно отметить, что в институте был создан и испытан экспериментальный отсек 2-тактного дизеля двойного действия по схеме С.С. Баландина. В таком двигателе конструктор подошел к предельным возможностям тепловой машины в смысле использования рабочего объема и частоты циклов цилиндров, поскольку в каждом цилиндре за один оборот коленчатого вала совершалось два рабочих хода. Работы по этому двигателю были прекращены в 1951 г. в связи с переходом ЦИАМ на газотурбинную технику.

5. Экспериментальные работы по агрегатам АГД.

Параллельно с развитием отечественных АГД велось совершенствование агрегатов, комплектующих эти двигатели. Это касалось создания многоскоростных приводных центробежных нагнетателей, турбокомпрессорных агрегатов, карбюраторов, систем непосредственного впрыска топлива, высотных систем зажигания, систем запуска, систем охлаждения и смазки, систем автоматического регулирования. Конкретное рассмотрение хода этих работ и достигнутых при этом результатов выходит за рамки данной статьи. Отметим только, что эти работы велись широким фронтом и не только способствовали улучшению показателей отечественных поршневых моторов того времени, но и создали предпосылки для быстрого освоения в последующие годы оригинальных отечественных газотурбинных двигателей. **▲**

ИНФОРМАЦИЯ

БИБЛИОТЕКА

конструктора и технолога

Проектирование и технология производства газотурбинных двигателей (труды специалистов ФГУП "ММПП "Салют" с учеными НИИ и ВУЗов)

Книги можно приобрести по безналичному расчету.

Заявки на приобретение литературы необходимо направлять по адресу:

105118, Москва, пр-т Буденного, д. 16. ФГУП "ММПП "Салют".

Институт целевой подготовки специалистов (ИЦПС) по двигателестроению.

Тел.: (095) 369-8598.

Факс: (095) 369-8045.

Реквизиты ИЦПС:

Р/с 40502810800001000153

в НАЦПРОМБАНКЕ г. Москвы.

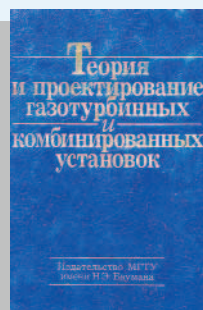
Кор./с 3010181070000000989

БИК: 0446652989

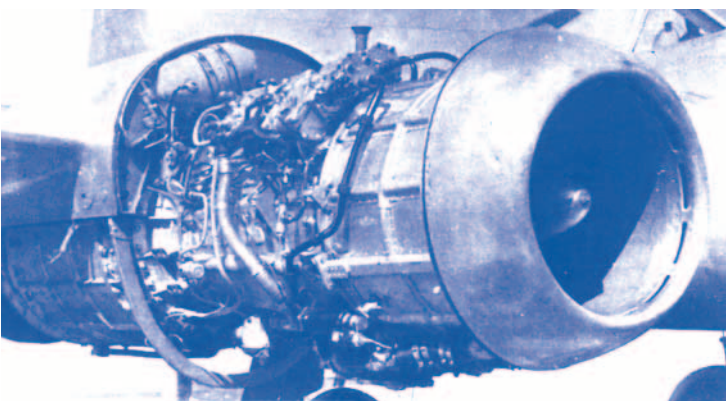
ИНН: 7719030663

Код по ОКОНХ: 14720

Код по ОКПО: 07507216



Название	Цена, руб
Н.В. Абраимов, Ю.С. Елисеев. Химико-термическая обработка жаропрочных сталей и сплавов. 2001 г.	150,00
Ю.С. Елисеев, В.В. Крымов, И.П. Нежури и др. Производство зубчатых колес ГД: Произв.-практ. издание. 2001 г.	130,00
Ю.С. Елисеев, С.Б. Масленков, В.А. Гейкин, В.А. Поклад. Технология создания неразъемных соединений при производстве ГД. 2001 г.	140,00
Б.А. Колачев, Ю.С. Елисеев, А.Г. Братухин, В.Д. Талалаев. Титановые сплавы в конструкциях и производстве авиадвигателей и авиационно-космической техники. 2001 г.	130,00
Ю.С. Елисеев, Н.В. Абраимов, В.В. Крымов. Химико-термическая обработка и защитные покрытия в авиадвигателестроении. 1999 г.	120,00
Ю.С. Елисеев, Э.А. Манушин, В.Е. Михальцев и др. Теория и проектирование газотурбинных и комбинированных установок: Учебник для вузов, 2-ое изд., перераб. и доп. 2000 г.	140,00
Г.К. Язов, Б.Е. Карасев, Ю.С. Елисеев, В.В. Крымов, И.П. Нежури. Под ред. А.Г. Братухина. Современные технологии в производстве ГД. 1997 г.	110,00
Ю.С. Елисеев, В.В. Крымов, К.А. Малиновский, В.Г. Попов. Технология эксплуатации, диагностики и ремонта ГД. Учебное пособие. 2002 г.	160,00
В.В. Крымов, Ю.С. Елисеев, К.И. Зудин. Производство лопаток ГД. 2002 г.	160,00
Ю.С. Елисеев, В.В. Крымов, А.А. Митрофанов и др. Под ред. Б.П. Саушкина. Физико-химические методы обработки в производстве ГД. Учебное пособие. 2002 г.	200,00
Ю.С. Елисеев, В.В. Крымов, И.А. Хворостухин, А.Г. Бойцов. Технология производства двигателей летательных аппаратов. Учебное пособие. 2002 г.	170,00



О СОЗДАНИИ ПЕРВОГО ОТЕЧЕСТВЕННОГО

ТУРБОРЕАКТИВНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Как известно, первые работоспособные турбореактивные двигатели (ТРД) и опытные самолеты с ТРД были созданы в Англии и Германии в конце тридцатых - начале сороковых годов прошлого века. Так случилось, что группе ученых и конструкторов, занимавшихся созданием отечественного ТРД, не хватило лишь нескольких месяцев для завершения работы: помешала война. Кто знает, какой дорогой пошло бы газотурбостроение (и самолетостроение) в СССР, если бы накануне нападения Германии на СССР руководство наркомата авиапромышленности уделило коллективу А.М. Люльки больше внимания, поддержало бы его усилия более энергично. Увы, в тот период практически ни один из крупных руководителей НКАП, включая наркомов М.М. Кагановича и А.И. Шахурина, не осознавал, сколь важной работой занималась очередная "группа инженеров, работающая даром"...

Александр Николаев

Спустя тридцать лет после окончания Великой Отечественной войны Герой Социалистического труда, академик, генеральный конструктор Архип Михайлович Люлька вспоминал: "Идея турбореактивного двигателя (ТРД), к которой мы логически пришли из работ с газотурбинной установкой, конечно, не была новинкой. О ней знали и у нас в Союзе, и за рубежом. Однако практическое воплощение схемы турбореактивного двигателя в металл в те времена вызвало серьезные сомнения. Основным камнем преткновения при конструировании ТРД являлась газовая турбина. Дело в том, что ее применение в ТРД теоретически экономично при высоких температурах газов перед лопатками. А так как в те времена жаропрочных сплавов для лопаток, работающих в условиях высоких температур, не было, то и создание газовой турбины для ТРД казалось нереальным или, по крайней мере, делом далекого будущего..."

Эти работы не находили, осторожно говоря, энтузиазма и поддержки у руководителей института (в то время А.М. Люлька работал преподавателем в Харьковском авиационном институте - прим. авт.), так как не входили в их планы работ и отвлекали, по их мнению, сотрудников от преподавательской деятельности. В это время я читал лекции по термодинамике, проводил практические занятия по курсу теплопередач. Поэтому все расчеты, конструктивные проработки мы делали в нерабочее время, буквально ночами, используя любую возможность. Все материалы были нами оформлены в толстый том, который назывался "Проект РТД-1" (ракетный турбореактивный двигатель). Сейчас такое название звучит не совсем грамотно, но нужно учесть, что в те времена установившейся терминологии еще не было".

Технический Совет института встретил проект необычного двигателя довольно холодно. И хотя расчетная часть сомнений не вызвала, раздавались многочисленные иронические замечания о нежизненности конструктивного решения ТРД, об "абсурдности" расположения вала турбины в зоне камеры сгорания, о нереальности охлаждения наружных корпусов камеры сгорания и т.д. Однако не все члены Техсовета отнеслись отрицательно к проекту, разработанному группой Люльки. Его поддержал академик Г.Ф. Проскура, который порекомендовал направить материалы проекта в Москву, в Комитет по изобретениям и открытиям.

"Мы так и сделали, - продолжает свои воспоминания А.М. Люлька. - Я отправился в Москву с нашим проектом. В наркомате оборонной промышленности в авиационном отделе состоялось заседание экспертной коллегии, которая рассмотрела наш проект и дала ему высокую оценку. Особенно знаменательным был факт положительной оценки профессором Уваровым, крупным специалистом по газовым турбинам, реальности применения турбины в авиации в условиях относительно низких температур. Проект был рекомендован к дальнейшей разработке, на что были ассигнованы значительные суммы".

Можете себе представить, с какими радужными мечтами о будущем возвращался, а, вернее, летел, Архип Михайлович обратно в Харьков. Однако московские восторги скоро сменились глубоким разочарованием. Использовать полученные суммы и развернуть работы в ХАИ не удавалось. С одной стороны, мешала неразвитость экспериментальной базы учебного института, с другой, само предназначение ХАИ не соответствовало поставленной задаче - разработке конструкции и изготовлению натурного газотурбинного двигателя, да к тому же еще и первого в СССР! Все эти соображения были изложены руководством института в специальном письме, которое было направлено в ЦК ВКП(б) и правительство. Вскоре последовала реакция госструктур: все работы по паро- и газотурбинным установкам, а также по турбореактивному двигателю передавались из ХАИ в Ленинград в специальное конструкторское бюро. Все наработки, материалы исследований и экспериментов предлагалось отправить "ленинградским дядям". Энтузиастам реактивного

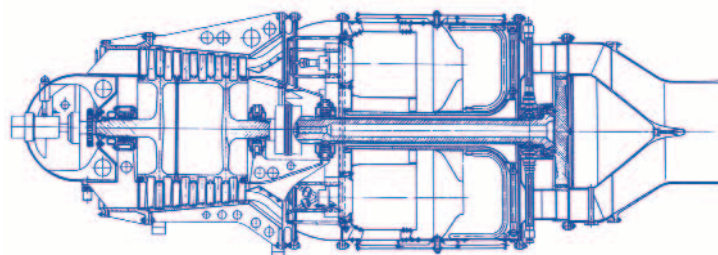


Схема РТД-1

двигателя в авиации из ХАИ оставалось заниматься основной работой "по назначению" - читать лекции, проводить семинары, вести курсовые проекты и т.п.

Однако "страсть к реактивному двигателю" не позволяла единомышленникам А.М. Люльки отступить, они уже не мыслили себя вне этой новой заманчивой области. После очередного жаркого обсуждения сложившейся ситуации было решено добиваться отмены фактического запрета или создания конструкторской организации по ТРД в Харькове. Коллеги Люльки были уверены в том, что им, специалистам, проработавшим несколько лет по реактивной тематике, получившим большой опыт, следовало и дальше заниматься столь нужным и полезным для нашей страны делом.

Архип Михайлович, как представитель своих товарищей и единомышленников по работе, снова отправился в Москву. Дирекция и парторганизация харьковского института "пошли ему навстречу" хотя бы в том, что поехал он не за свой счет: Люльке оформили командировку в наркомат. Ежедневно в течение почти двух недель, пунктуально, с 8 часов утра и до 6 часов вечера, Люлька дежурил в разных приемных, доказывая и защищая свои права на работу по этой тематике. *"По-видимому, мое упорство и одержимость идеей возымели свое действие, - вспоминал Архип Михайлович. - Я добился перевода в Ленинград, в заветное СКБ-1, как руководитель проекта по созданию турбореактивного двигателя. Однако мои товарищи пока оставались в Харькове"*.

Это было в 1939 г., незадолго до начала войны. Международная политическая обстановка складывалась очень напряженная и сложная, в десятках старых и вновь созданных КБ начиналось создание боевых самолетов нового поколения, и на большие масштабы по развертыванию опытных и экспериментальных работ по ТРД руководство наркоматом не шло. Причину понимали все, кто сталкивался с оборонной промышленностью и ее нуждами: стране не хватало средств даже на традиционные виды вооружений.

Но Люлька сдаваться не собирался. Пришлось, правда, поумерить аппетиты и согласиться на работу в "чужом" КБ. *"Я был тогда в расцвете сил, был очень энергичен, мне было всего 30 лет, - вспоминал он. - Я был самым молодым из наших энтузиастов. Поэтому мои харьковские товарищи, да и я сам, рассматривали мое пребывание в Ленинграде как разведку, как передовой форпост. Они готовились соединиться со мной, чтобы продолжить наше общее дело. Но случилось это не так скоро, как мы думали. Все перепутала война"*.

"Ленинградский" период деятельности А.М. Люльки был очень плодотворным, хотя и непродолжительным по времени. В коллективе СКБ-1 при Кировском заводе оказалось много таких же, как он, энтузиастов реактивного двигателя в авиации. Завод располагал относительно солидной производственной и экспериментальной базой. Здесь работали С.П. Кувшинников, Э.Э. Лусс, А.П. Котов, Е.В. Комаров и другие конструкторы, впоследствии составившие костяк ОКБ А.М. Люльки. В короткие сроки с участием этих специалистов был разработан проект двигателя РД-1 и выпущены рабочие чертежи всех его узлов и деталей.

"В.М. Голубев, Пекин и А.П. Котов занимались расчетом и проектированием компрессора, - рассказывал А.М. Люлька. - Б.Л. Бухаров проводил конструкторские и экспериментальные работы по камере сгорания. Э.Э. Лусс компоновал первую форсажную камеру с регулируемыми наружными створками реактивного сопла. С.П. Кувшинников проектировал и рассчитывал систему регулирования. Системой запуска занимался Е.В. Комаров. На экспериментальном трехступенчатом осевом компрессоре снимались характеристики, и мы занимались их обработкой. Это, между прочим, был первый наш осевой компрессор".

Именно в Ленинграде, размышляя о способах повышения экономичности реактивного двигателя, Люлька пришел к идее двухконтурного ПТД. Наряду с этим он обдумывал и схему с "дополнительным дожиганием топлива в сопле", т.е. схему форсажной камеры. Все эти мысли способствовали дальнейшему совершенствованию ТРД и, в частности, реактивного прервенца РД-1. К маю 1941 г. этот двигатель был на 70 % изготовлен "в металле". Уже работали на

стенде камера сгорания и газовая турбина; заканчивалось изготовление семи ступеней осевого компрессора, частично были отлиты силовые корпуса. Двигатель почти во всех его элементах можно было видеть в натуре. Оставалось несколько месяцев труда, и к концу 1941 г. двигатель РД-1 обязательно заработал бы. Конструкторы надеялись, что им удастся подтвердить заявленные параметры: тягу - 530 кгс и удельный расход 1,43 кг/кгс·ч.

Но помешала война. Ленинград стал фронтовым городом. Начались бомбежки и обстрелы. Опытные работы по реактивному двигателю пришлось законсервировать. По решению правительства СКБ-1 было эвакуировано на Урал, а изготовленные элементы и чертежи РД-1 Люлька захоронил в укромном месте на территории Кировского завода, "до лучших времен".

Лишь во второй половине войны, когда, с одной стороны, самые грозные для судьбы страны события остались позади, а с другой - стали известны достижения германских и английских конструкторов ТРД, руководство наркомата авиационной промышленности вновь проявило интерес к указанной проблеме. По решению ГКО СССР от 18 февраля 1944 г. в системе НКАП было решено создать специализированный НИИ, задачами которого должны были стать исследование и конструирование всех видов реактивных двигателей для авиации, в том числе и ТРД.

Люльке предложили срочно, самолетом, отправиться в еще фронтной Ленинград, чтобы вывезти оттуда в Москву укрытые на Кировском заводе детали и агрегаты РД-1, а также чертежи. Ночью, под обстрелом, Архип Михайлович вместе с коллегами по "дороге жизни" переправил эти бесценные сокровища, плоды трудов двух коллективов, в Москву. Далее работы развертывались в широких масштабах. При НИИ-1 были созданы отделы под руководством Л.С. Душкина, М.М. Бондарюка и других. Руководителем отдела по исследованию и конструированию ТРД был назначен А.М. Люлька.

"Отдел постепенно пополнялся новыми специалистами, - вспоминал Архип Михайлович. - В основном это были молодые кадры из МАИ и МВТУ: А.В. Воронцов, В.И. Комлев, К.В. Кулешов, М.М. Липовицкий, К.П. Новак, Сюда пришли опытные конструкторы А.А. Иевлев, И.И. Жуков, Г.Ф. Новиков, Р.А. Майков, Е.И. Вольпер и многие другие".

В течение очень короткого срока был разработан рабочий проект двигателя С-18, который отличался от ленинградского прототипа более высокими параметрами, а также более совершенной и технологичной конструкцией. Однако в НИИ отсутствовала собственная производственная база. Пришлось размещать заказы на различных авиамоторных заводах, что изрядно тормозило дело. И хотя коллектив еще не успел как следует познакомиться с производством, да и просто друг с другом, все сотрудники отдела работали с небывалым энтузиазмом.

В 1945 г. первый опытный С-18 был изготовлен.

"Впервые в Советском Союзе мы установили первый отечественный ТРД на испытательный стенд, - рассказывал А.М. Люлька. - Эти дни, часы и даже минуты возникают в моей памяти, как живые. Я ясно вижу бокс, созданный и оборудованный нашими руками, пульт управления, сектор газа, многочисленные U-образные манометры, мердозу для замера тяги..."

Холодная прокрутка. Она необходима, чтобы опробовать ходовую часть двигателя. Двигатель раскручивался сжатым воздухом баллонов. Воздух поступал на лопатки турбины через специальные сопла. Однако расход был велик, и запасов баллонов на стенде не



Конструктор А.М. Люлька

хватало. Тогда нашли старый электродвигатель огромных размеров и приспособили его для раскрутки к валу компрессора. Чтобы электродвигатель развивал обороты постепенно, нагрузку давали с помощью ступенчатого реостата. Э.Э. Лусс включал один за другим три рубильника, и С-18 постепенно набирал обороты.

Первый горячий запуск. Инженеры и техники отдела заняли места за приборами... Все притихли и с замиранием сердца ждут результата. Хлопнули факелы на пусковых блоках, и двигатель запустился... На двигателе не было установлено реактивное сопло: в первую очередь нас интересовала работоспособность камеры сгорания, компрессора, газовой турбины. Поэтому пламя вырывалось в атмосферу прямо с лопаток газовой турбины. Ее вращающееся огненное колесо походило на фантастический фейерверк.

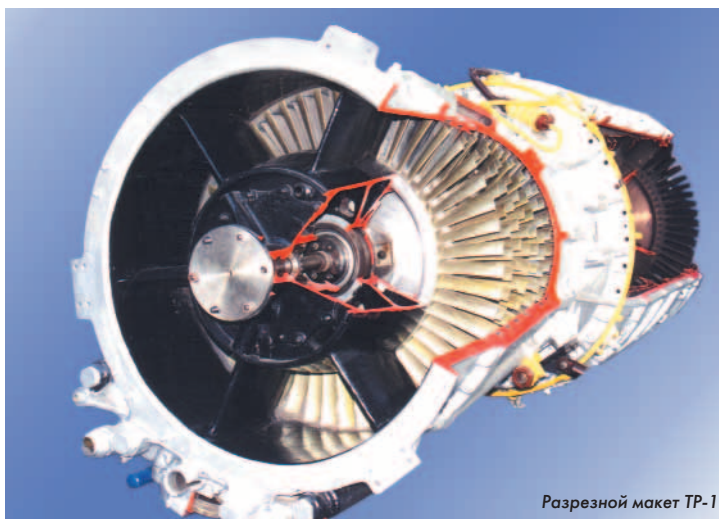
Двигатель С-18 работал! Его звенящее пение было приятнее всех звуков и всех песен на свете. Восторг, который охватил всех присутствовавших на запуске, я едва ли смогу описать. Мы поздравляли друг друга, целовались, кричали "ура".

Топливные насосы и очень примитивный регулятор располагались на отдельной подставке в углу бокса. Ввиду упрощенной автоматики работа с сектором газа была очень ответственной. Все с уважением смотрели на Лусса, Кувшинникова, а впоследствии первого начальника летной бригады В.В. Ефимова. Нетрудно себе представить, как волновался Люлька, когда обрабатывались данные замеров тяги и удельного расхода топлива. И вот прозвучали два заветных числа: тяга - 1250 кгс, удельный расход 1,36 кг/кгс·ч, соответствовавшие заявленным.

Успех испытаний привлек внимание конструкторов-самолетостроителей. В отделе А.М. Люлька побывали делегации из наркомата, представители ВВС, главные конструкторы А.Н. Туполев, С.А. Лавочкин, С.В. Ильюшин, П.О. Сухой и многие другие. Было решено в кратчайшие сроки изготовить летный вариант двигателя С-18, получивший название ТР-1. Наконец-то Люлька получил в свое распоряжение опытный завод, а сам он был назначен главным конструктором.

Следует отметить, что в СССР стендов для испытаний ТРД в то время не существовало. Пришлось спешно изучать опыт поверженного противника - Германии. Теория и практика газотурбостроения находились в зачаточном состоянии, причины многих явлений, с которыми почти ежедневно сталкивались конструкторы, были совершенно неясными.

"Вспоминается такой случай, - рассказывал А.М. Люлька. - При очередных испытаниях ТР-1 произошел "срыв" на последних ступенях осевого компрессора. Компрессор попадал в зону нерабочих характеристик, и наступал так называемый помпаж. Оказалось, что рабочие лопатки компрессора имели существенные отклонения от заданной геометрии. Новая технология их изготовления еще не была отработана как на производстве, так и в конструкторском бюро. Тогда опытные конструкторские кадры пошли на производство в качестве контролеров. Узкое место в цехах, изготавливавших лопатки, было ликвидировано".



Разрезной макет ТР-1


В 1947 г. двигатель ТР-1 успешно прошел государственные 25-часовые испытания на стенде и был установлен на опытные самолеты главных конструкторов П.О. Сухого, С.В. Ильюшина и С.М. Алексеева (самолет "211"). Двигатель развивал тягу 1360 кгс при удельном расходе 1,3 кг/кгс·ч. 28 мая 1947 г. был осуществлен первый полет самолета Су-11 с двигателями ТР-1.

"Ясный весенний день. Наша группа на наблюдательном пункте. Техника опробована. Все работает нормально. И, тем не менее, это Первый Вылет, первый в моей жизни ответственный момент, когда судьба самолета и двигателя находится в руках летчика, а судьба летчика зависит от самолета и двигателя, - с волнением вспоминал об этом дне Архип Михайлович. - Я же нахожусь только в качестве наблюдателя. Команда на взлет. Двигатели запущены, и их нарастающий звенящий гул все больше и больше увеличивает волнение. Кажется, что минуты тянутся крайне медленно, но вот самолет двинулся. Разбег. Все быстрее и быстрее убегают самолет по взлетной полосе. Незаметная секунда отрыва, и машина в воздухе. Еще несколько секунд, и самолет плавно набирает высоту. Круг над аэродромом и заход на посадку. Это очень ответственный момент. Необходимо точно рассчитать момент приземления, так как если летчик "промажет" посадочную полосу, то заход на второй круг весьма усложняет обстановку. Необходимо вновь набирать высоту, но уже не постепенно, как на взлете, а резко, форсируя двигатель, испытывая его приемистость и многие другие еще неизвестные особенности поведения как самолета, так и двигателя в воздухе.

Однако все было сделано четко и аккуратно. И вот уже самолет рулит по дорожке, сбавляя обороты двигателей и, наконец, останавливается. Обычно в художественной литературе пишут, что конструктор должен вытирать пот с головы или расстегивать ворот рубашки. Я хочу быть искренним в своих воспоминаниях. Я не могу припомнить, как я очутился около самолета. Качали летчика, поздравляли друг друга, обнимались - все это я очень хорошо помню. А вот как я очутился около самолета - этого я не помню. Потом я, конечно, спрашивал летчика о двигателе. Конечно, я заглядывал в реактивное сопло. Конечно, я похлопывал обшивку мотогондолы. Конечно, все это было!"

В ходе дальнейших испытаний самолет Су-11 смог развить максимальную скорость 900 км/ч. Испытания ильюшинской машины проходили в июле-августе 1947 г. Ил-22 представлял собой многомоторный тяжелый моноплан, на пилонах его крыла подвешивались четыре мотогондолы с двигателями ТР-1. Машину испытывал известный летчик В.К. Коккинаки. Второй вылет Ил-22 совершил в начале августа, а третий проводился в рамках генеральной репетиции перед воздушным парадом в Тушино. Испытания самолета "211" главного конструктора С.М. Алексеева продолжились несколько позже.

В тушинском авиационном параде 1947 г. участвовали самолеты Су-11 и Ил-22. По его итогам большая группа конструкторов, испытателей, летчиков, рабочих, технологов, участвовавших в создании самолетов и двигателей, была награждена орденами и медалями Советского Союза. А.М. Люлька была вручена Сталинская премия III степени, вскоре после этого его наградили орденом Ленина. Но, увы, трехлетний перерыв в работе над ТРД, обусловленный войной, сделал свое дело: по уровню технического совершенства и эксплуатационной надежности турбореактивные двигатели Люльки, безусловно, уступали английским "Нинам" и "Дервентам". Не воспользоваться представившейся возможностью закупки "англичан" было бы опрометчиво. Трофейные немецкие двигатели к этому времени морально устарели, а коллективу А.М. Люльки предстояло еще долгий, растянувшийся почти на десятилетие, путь совершенствования и доводки своего варианта ТРД.

В 1947 г. на двигателестроительном заводе № 45, получившем заказ на 75 ТР-1 и 14 модернизированных ТР-1А, сумели изготовить всего полсотни люльковских "моторчиков". И пусть они не стали "сердцами" серийных самолетов, фактически именно с этих двигателей началось освоение промышленного производства авиационных ТРД в нашей стране. 

СЕГОДНЯ НАДО ТРУДИТЬСЯ ХОРОШО И МНОГО

Федеральное государственное унитарное предприятие "ММПП "Салют", пережившее перестройку и насчитывавшее в самый сложный период менее 4,5 тыс. человек, сумело подняться и завоевать достойное место в экономике России. Если в 1997 г. объем произведенной продукции составил \$60 млн, в 1999 г. – \$120 млн, в 2001 г. – \$239 млн, то в 2002 г. ожидается продажа продукции на сумму более \$300 млн. К 2007–2008 гг. планируется достичь \$1 млрд. Это не только авиационные двигатели для боевых и гражданских самолетов, но и стационарные газотурбинные приводы для энергетических и газоперекачивающих установок, мусоросжигающие заводы и другая продукция. О современном состоянии предприятия, перспективах его развития и проблемах журналу "Двигатель" рассказал генеральный директор "Салюта", д.т.н., Юрий Сергеевич Елисеев.



"Двигатель": В период глобализации, когда все объединяются, в том числе и авиадвигательные фирмы, такие как P&W, GE, SNECMA, какое место в этом процессе занимает российское предприятие "Салют"?

Ю. Елисеев: Прежде всего, мы будем работать вместе с теми, кому мы интересны и кто интересен нам. Причем во главу угла мы ставим интересы "Салюта". "Жениться" ни на ком мы не собираемся - мы сами по себе солидная фирма. Именно поэтому мы вышли со своим предложением о создании интегрированной структуры, которая будет не простым набором предприятий. Закладывается идея, что такая интегрированная структура будет способна разрабатывать, создавать, производить, ремонтировать и эксплуатировать газотурбинные двигатели, сопровождать их на протяжении всего жизненного цикла вплоть до утилизации. В России необходимо создание Федеральных научно-производственных центров по газотурбостроению. Зная истинное положение в отрасли, мы считаем, что таких центров должно быть в нашей стране три-четыре. Основой одного из таких центров должен быть завод "Салют". На самом заводе сейчас работают более 12 500 человек (хотя несколько лет назад было менее 4500). А если посчитать всех работников, работающих на предприятиях, экономически ассоциированных с "Салютом", в том числе и тех, у которых приобретены пакеты акций, то это составит более 20 тысяч.

"Д": Нужна ли помощь государства в создании Центра?

Ю.Е.: Как создать Центр, мы достаточно хорошо представляем. Но, конечно, есть вопросы, которые должны решаться в соответствующих министерствах и ведомствах: Мингосимущество, Росавиакосмосе и др. Мы видим, какие предприятия нам надо поддерживать, так как у них нет возможности выжить самостоятельно, а их гибель приведет к потере уникального оборудования, технологий и специалистов. В составе "Салюта" эти предприятия и поднимутся сами, и снимут часть нагрузки с завода. Сегодня портфель заказов "Салюта" позволяет создать дополнительно порядка трех тысяч рабочих мест в течение 1,5-2 лет. Непосредственно на основной площадке завода такого количества рабочих найти не удастся, так как в Москве острый дефицит квалифицированной рабочей силы. В портфеле завода есть не только авиационные двигатели, но и наземные энергетические установки, и приводы газоперекачивающих агрегатов, есть даже производство мусоросжигающих заводов. И не одна только Москва нуждается в десятках энергетических установок для производства электрической и тепловой энергии. Мощность подобных установок от 4 МВт и более. Одна из таких установок (МЭС-60) сооружается на московской ТЭЦ-28. По результатам ее испытаний будет принято решение об оснащении энергетического хозяйства Москвы аналогичными установками. Выполнение этой программы даст городу дополнительно еще не менее двух

тысяч рабочих мест. А если добавить к этому еще и специалистов металлургической промышленности, изготовителей комплектующих и т.д., то это число будет гораздо больше.

"Д": На какие еще регионы России ориентирован завод "Салют" при создании энергетических установок?

Ю.Е.: Все помнят о событиях прошлых зим, когда снег и ветер обрывали провода линий электропередач в районах Черноморского побережья Кавказа, Дальнего Востока и др. Конечно, эти события подтолкнули руководство регионов к решению застарелых проблем, и уже заключено несколько контрактов на поставку энергетических установок. Ведутся переговоры и с зарубежными партнерами.

"Д": С кем ММПП "Салют" проводит совместную разработку и производство двигателей?

Ю.Е.: К нам обратилась P&W Canada. Переговоры с этой фирмой шли в течение года, но - не сложилось, поскольку нас не устраивали условия. Впрочем, несмотря на кажущийся провал партнерства, завод "Салют" производит для этой компании около ста наименований деталей. Видимо, для более тесного контакта время еще не наступило. Впрочем, несомненны и положительные моменты от проводимых переговоров: они позволили лучше узнать друг друга, понять принципы работы наших фирм и требования к качеству выпускаемой продукции.

С французской компанией SNECMA в течение нескольких лет осуществлялись интенсивные контакты. Ее специалисты изучили наше производство, систему качества и передали на освоение производства изготовление нескольких деталей. TURBOMECA, одно из подразделений SNECMA, в середине декабря 2002 г. получило от нас пять комплектов тестовых деталей - специальных валов с зацеплением типа "курвик". В ближайшем будущем "Салют" приступает к серийному изготовлению нескольких наименований деталей для французской компании. И это только начало (с чего-то надо начинать), а что получится, покажет будущее. В любом случае работа с разными фирмами всегда обогащает всех участвующих. Как говорится, идет нормальный рабочий процесс.

"Д": В одном из своих выступлений Вы говорили о необходимости определения "стратегических партнеров", какой смысл был вложен в эти слова?

Ю.Е.: Стратегический партнер в нашем понимании - это такой партнер, на которого можно оказывать влияние. Можно, конечно, работать просто по договорам, а можно совместно вырабатывать техническую политику, осваивать новые технологии, приобретать новое станочное оборудование. Например, у нас есть пакет акций Гаврилов-Ямского машиностроительного завода "Агат", и мы отвечаем за его технический уровень. Нами передано этому заводу в лизинг технологическое оборудование, поручено изготовление некоторых узлов масляной системы двигателя.

Нашим заводом приобретены пакеты акций некоторых предприятий из бывших союзных республик. Можно сколько угодно долго рассказывать о наших общих корнях, дружбе, общей истории с любым народом - украинским, белорусским и др., но до тех пор, пока не будет работать общая экономика, пока нас не будет связывать взаимовыгодный бизнес, все это будут пустые слова. Не надо забывать, что в этих республиках живут наши люди, которые приехали туда не всегда "просто так": в большинстве случаев в свое время туда "завозили" разными органами, путевками и направлениями - строить, восстанавливать, осваивать, трудиться. Теперь же они остались там и как бы никому больше не нужны. Российский завод "Салют" первым из оборонных предприятий протянул руку помощи - купил 94 % акций кишиневского завода "Топаз" (советское оборонное предприятие, построенное в конце 70-х годов). Его работники раньше жили в Томске, Тюмени, Саратове и других городах СССР. Теперь они оказались отделенными двумя границами от своих родных мест, по сути - никому не нужными. Но как только в молдавских газетах появилось сообщение о том, что "Топаз" приобретен "Салютом", было подано более 600 заявлений о приеме на работу, в основном русскими людьми. Сейчас на этом заводе работает 650 человек (а до всех событий там оставалось 30).

"Д.": А как в этом плане строятся отношения с украинскими предприятиями?

Ю.Е.: Конечно, эти предприятия теперь формально за рубежом. Но по глубине связей, можно считать, что и запорожское КБ "Прогресс", и завод "Мотор Сич" являются нашими стратегическими партнерами. Конечно, сейчас много разговоров о том, что будет, если Украина вступит в НАТО? Но история, как известно, не любит сослагательных наклонений. А для того, чтобы добиться политической стабильности в отношениях между государствами, надо укреплять между ними экономические связи. И то, что мы говорим на одном языке, способствует совместному бизнесу. Все наше сотрудничество строится на основе подписанных межправительственных соглашений, в том числе и касающихся разработки и производства авиационных двигателей Д-436, Д-27 и АИ-222. Сегодня намечается перспектива нашего сотрудничества по энергетическому оборудованию.

"Д.": Правительствами России и Украины подписаны соответствующие соглашения по разработке и производству этих двигателей, а какие средства завод получает от государства на выполнение планов?

Ю.Е.: Планы выполняются за счет собственных средств. Мы из прибыли, а в 2002 г. она составила около \$70 млн, на перевооружение производства выделили \$40 млн, и \$20...25 млн направили на разработку новой продукции.

"Д.": В ноябре президентом был подписан Закон "О государственных и муниципальных унитарных предприятиях". Может быть, положения этого Закона облегчат условия, в которых осуществляется деятельность завода?

Ю.Е.: За время перестройки было совершено немало ошибок. Полагаю, что и этот закон можно отнести к ошибочным законодательным актам постперестроечного периода. Причем к не самым безобидным из уже принятых. Это мое мнение, как руководителя Федерально-государственного унитарного предприятия "ММПП "Салют".

Всегда считалось, что главной задачей правительства любого государства, в том числе и нашего, является улучшение жизни его людей, повышение их благосостояния, создание новых рабочих мест, а в целом - создание мощного и богатого государства. Если вникнуть в содержание закона о госпредприятиях, то можно подумать, что главная беда нашей экономики - это наличие госпредприятий и если их не будет, то экономика "резко пойдет в гору". Раньше шла необъявленная война с госпредприятиями, теперь она объявлена. И когда говорят, что ГУП - тяжелое бремя на плечах государства, на его бюджете, то, как минимум, пытаются ввести слушателя в заблуждение. Например, ФГУП "ММПП "Салют" только за 2001 г. заплатил в федеральный и местный бюджеты более \$50 млн, что сопоставимо с тем, что получила вся авиационная промышленность от государства. Конечно, есть госпредприятия, которые "лежат на боку", но в этих случаях надо разбираться с каждым конкретно: определить причины, наметить мероприятия и их выполнить. Это кропотливая работа, требующая большого профессионализма.

А ведь известно, что результаты деятельности фирмы, организации совершенно не зависят от формы собственности. Эти слова не мои, они принадлежат Черчиллю. Примеры успешной деятельности госпредприятий дает нам Китай. Помните: "Все равно, какого цвета кошка, лишь бы ловила мышей".

Вот еще один пример несовершенства этого закона. Отныне только для того, чтобы оформить кредит, руководству завода необходимо получить разрешение у Мингосимущества, Росавиакосмоса. Но как может человек, не знающий жизнь коллектива и его проблемы, решать за него, что ему надо и что не надо, покупать ему станок или не покупать? Деятельность руководства ГУП резко ограничена, и это скажется на работе предприятия не в лучшую сторону.

Все говорят об обеспечении большей самостоятельности предприятий, а в отношении ГУП делается все наоборот. На одной из предвыборных встреч с В.В. Путиным, будучи его доверенным лицом, я задал вопрос о его отношении к разгосударствлению оборонного комплекса, к акционированию госпредприятий. В своем ответе он сказал, что все предприятия разных форм собственности должны быть в одинаковых условиях. Что же касается оборонных предприятий, то только в том случае, если государство оказалось неэффективным хозяином, их можно продавать частнику. Только таким должен быть подход. Надеюсь, что у президента он не изменился. На практике пока все происходит совсем не так: идет борьба за "жирные куски", а за заводы, которые "лежат", никто не борется. Можно привести множество примеров, например, Комсомольское-на-Амуре АПО, живое, прекрасно работающее градообразующее предприятие, давно является центром такой борьбы.

Видимо, закон о ГУП надо снабдить какими-то дополнениями и разъяснениями. Ведь он резко ограничивает возможности по расходованию средств на приобретение оборудования, а также запрещает образовывать дочерние предприятия. Тем самым связывает "Салют" по рукам и ногам. Так, на основной площадке завода, находящейся в Москве, работает, повторюсь, более 12 тыс. человек, средняя зарплата которых выше 14 тыс. рублей (на меньшую в столице трудно найти квалифицированного специалиста). Кроме того, в Москве высокие налоги на землю и т.п. Поэтому одной из наших задач является вывод серийного производства из Москвы на периферию. А в Москве на базовом предприятии будут создаваться новые конструкции и разрабатываться новые технологии, сохранится опытное производство.

Такое разделение труда позволило бы гораздо эффективнее решать экономические проблемы завода. Недаром западные фирмы создают дочерние предприятия в Азии, где избыток дешевой рабочей силы. Нам не обязательно пока идти в Азию, у нас и в 200-х километрах от Москвы есть свободная, причем еще и квалифицированная рабочая сила. И этим решается масса проблем. В том же Гаврилов-Яме на заводе работало 600 человек с зарплатой в 600 рублей, причем на руки выдавалось 300, а остальные - "когда-нибудь потом". Но после приобретения "Салютом" пакета акций этого предприятия, на нем стало работать почти две



Кишинев. Завод "Топаз"

тысячи человек, а средняя зарплата выросла до 5 тыс. рублей. Вот что дало ГУП заводу в глубинке. Теперь по новому закону нам запрещено организовывать дочерние предприятия, а можно только иметь филиалы без хозяйственной и финансовой самостоятельности. Это означает, что налоги от таких предприятий не будут поступать в местные бюджеты, и, следовательно, местные власти будут против существования таких филиалов.

Из-за недостатка квалифицированной рабочей силы в Москве нам приходится приглашать на завод более 500 иногородних специалистов, в том числе и из Украины, Молдовы, Белоруси и т.д. Они получают столько же, сколько и московские рабочие, так как расценки едины для всех. Но эти люди оторваны от своих семей, что отрицательно сказывается и на отношении к работе, и на здоровье. Создавая дочерние предприятия, мы даем работу людям по месту их жительства. Это правильное решение с экономической и житейской точек зрения.

Вспомните кишиневский завод "Топаз". Теперь там при средней по Молдавии зарплате в \$20 высококвалифицированные рабочие получают \$300 (на "Салюте" такие же рабочие получают \$700...800). По этой же причине приобретается завод "Прибор" в городе Бендеры. В результате оживет завод, на котором будут работать в основном наши соотечественники. Российскому государству от этого только польза, причем не только экономическая, но и политическая.

Вот по всем этим причинам и следует либо приостановить действие закона о ГУП, либо дополнить его и разбираться, повторяю, с каждым предприятием в отдельности.

"Д": Совсем недавно прошел III Всероссийский конкурс "Российская организация высокой социальной эффективности". В отраслевой номинации "Оборонная промышленность" завод "Салют" занял третье место, причем почти все призы были государственными предприятиями, да и у акционированных предприятий социальная сфера закладывалась и развивалась тогда, когда они были государственными. Практически одновременно с утверждением закона о ГУП вышло распоряжение правительства №1453-р от 17 октября о социальной сфере госпредприятий. Какова Ваша оценка этого документа?

Ю.Е.: По идее, руководящие документы, которые появляются в стране, должны быть направлены на улучшение жизни народа, облегчение предприятиям условий развития и т.д. На деле же все происходит с точностью до наоборот.

Так, с 1 января отменены налоговые льготы: раньше 50 % средств, направленных на техническое перевооружение и развитие социальной сферы, не облагались налогами, т.е. уменьшалась налогооблагаемая база. Известно, что общий износ активной части основных производственных фондов превышает 80 % даже в оборонной промышленности. Теперь те, кто проедает прибыль, и те, кто развивает производство, поставлены в равные условия. Это, по крайней мере, нелогично.

Что касается последнего распоряжения правительства, то подобрать слова для его комментирования довольно трудно. Надо четко понимать, что социальная сфера не является нагрузкой, она делает из группы работающих на одном предприятии людей коллектив. Трудно представить завод "Салют" без дома культуры "Чайка", без стадиона "Крылья Советов", без домов отдыха и санаториев. Ведь задача руководителя предприятия создавать нормальные условия производства, обеспечивать выплату нормальной зарплаты и отдых. Дети работников предприятия должны иметь возможность заниматься спортом, искусством и просто отдыхать. Сотрудник, зная, что о нем и его ребенке заботится предприятие, будет и трудиться плодотворнее.

На Западе, который нам часто ставят в пример, давным-давно все крупные компании имеют свою социальную сферу. Тот же Boeing имеет и спортивные сооружения, и больницы, и учебные заведения, и рестораны и многое другое. Есть это и у нас, но почему-то "социалку" хотят отобрать. Опять же, понятно, что если есть предприятия, которые не в состоянии (или у них нет желания) содержать социальную сферу, надо дать им возможность ее передать. Но не обязывать это делать всех. Не надо всех причислять под одну гребенку.

Ведь это очень несправедливо!

Прибыль прошлого года мы не потратили на зарплату (ее при таком подходе можно было бы поднять и до \$3 тыс. вместо \$500), а частично направили на развитие производства и его техническое перевооружение, а частично - на поддержание и развитие социальной сферы. Теперь эту сферу просто отбирают. По сути, этим обижают тех людей, которым в свое время недоплатили. Причем не только ныне работающих, но и тружеников предыдущих поколений, усилиями которых создавалась социальная сфера и благами которой они и их дети и внуки пользуются по праву. Забрать у них все - несправедливо с любой точки зрения.

По отношению к "Салюту" это тем более несправедливо. Ведь завод "Салют" работает не три дня в неделю, а все семь. И прибыль, заработанная его сотрудниками, может быть израсходована на строительство домов отдыха, санаториев, детских оздоровительных лагерей и т.д. И как это все у них отобрать?

У нас были высокие темпы развития социальной сферы. Только в этом году в Анапе были построены два корпуса на 45 человек каждый. Теперь, когда наступила неопределенность с социальной сферой, принято решение о снижении расходов на нее. Дальнейшее строительство приостановлено, в том числе и жилья для работников завода. Не хочется забирать деньги у коллектива и вкладывать их в то, что вскоре не будет ему принадлежать. Надеюсь, что это временное явление, и в скором времени будет принято правильное, справедливое решение.

Следует высказать несколько критических замечаний и в адрес профсоюзов. Сейчас, когда стране необходимо прилагать максимум усилий для ускорения темпов роста производства и выхода из кризиса, когда надо работать по десять часов шесть дней в неделю, в КЗОТ записано, что сверхурочно разрешается работать не более 4-х часов два дня подряд. Т.е., как бы проявляется забота о человеке - освободить его от работы, чтобы он очень свободный, но нищий суетился вокруг ларька и собирал бутылки на опохмелку. Забота должна проявляться в другой форме: надо дать человеку возможность работать столько, сколько он захочет и сможет, и за это хорошо заплатить. Тогда он будет в состоянии выбрать себе место отдыха - у себя на даче, на Черном море, в Париже или на Канарах. Если же сейчас директивно гулять все революционные, демократические и религиозные праздники, то ничего хорошего не выйдет. Чудес не бывает! За 30 лет работы на заводе я как-то не видел, чтобы кто-то на рабочем месте от труда умер, а вот от безделья и водки - сколько угодно. Никакие внешние займы нас не спасут, если не будет у нас кропотливого добросовестного труда, продуманно организованного и справедливо оплаченного. Надо правильно оценить положение и правильно расставить акценты - сегодня надо трудиться хорошо, эффективно и много. Причем, очень много. Чудес в реальной жизни не бывает.



Анапа. Новые корпуса санатория

21 ноября 2002 г. в Ступино прошло техническое совещание Ассоциации "Союз авиационного двигателестроения", основной целью которого было выработать меры, направленные на совершенствование технологий производства металлических полуфабрикатов для авиационных предприятий, повышение качества продукции и сокращение затрат на их производство.

С докладом выступил генеральный директор Ступинской металлургической компании (ОАО "СМКкомпания") В. Прокофьев. Он подробно рассказал о работах, проводимых совместно с ВИАМ по совершенствованию производства литых прутковых заготовок из сплавов типа ЖС6У, ЖС30, ЖС32, а также по оптимизации и внедрению в серийное производство усовершенствованной технологии изготовления штамповок из сплава ЭП742-ИД.

Общий объем поставок полуфабрикатов ОАО "СМКкомпания" авиа-

ционному предприятиям составил за 9 месяцев 2002 года - 745,6 млн руб. (на 28 % больше, чем в 2001). Объем заявок моторных заводов на 2003 год по состоянию на ноябрь 2002 года составил 946,6 млн руб. И это, видимо, еще не предел - по многим позициям моторные заводы заявки еще не оформили.

Ступинскими металлургами проведена модернизация, монтаж и пуск в эксплуатацию кольцеракатного пресса, обеспечивающего возможность изготовления кольцевых заготовок диаметром до 1 м, шириной до 250 мм из сталей, железоникелевых и никелевых сплавов. В ходе экскурсии по цехам компании этот пресс был показан участникам совещания в работе. Были продемонстрированы также возможности лаборатории по анализу качества выпускаемой продукции. Об эффекте от деятельности этой лаборатории можно судить по тому, что доля несоответствий стандарту выпускаемой продукции, проконтролиро-



ванной этим подразделением за 10 месяцев 2002 года составляет 1,7 % (по сравнению с 2,4 % за 2001 год). По всем выявленным случаям нестандартности разрабатываются и внедряются корректирующие и предупреждающие мероприятия, позволяющие улучшить качество поставляемой продукции. С той же целью увеличен объем входного контроля исходных материалов, поступающих на ОАО "СМКкомпания".

Руководители как принимающего Совещание металлургического

предприятия, так и ВИАМ на конкретных примерах обрисовали присутствующим специалистам возможные направления совместной работы. Сознвая финансовые проблемы в отрасли, экономисты СМК предложили такую схему организации отношений в отрасли, при которой возможно сокращение цен на металл при одновременном понижении затрат производителя. Визит в цеха СМК подтвердил, что у предприятия есть реальные возможности обеспечения новых контрактов. П

28 ноября 2002 года в Москве, на территории ФГУП "ММПП "Салют" состоялось очередное, XVI заседание Межгосударственного Координационного Совета по сотрудничеству в области двигателестроения. В работе Совета приняли участие ведущие специалисты России и Украины - создатели самолетов Ту-334 и Бе-200, двигателей для них - Д-436Т1 и Д-436ТП. В президиуме заседания - сопредседатели МКС: заместитель генерального директора Росавиакосмоса С.Ю. Рынкевич и заместитель государственного секретаря Министерства промышленной политики Украины В.П. Казаков. Руководил работой заседания заместитель сопредседателей - президент АССАД В.М. Чуйко.

Наиболее животрепещущая проблема современной авиации -

снижение шума. По данному вопросу выступили главный конструктор ОАО "Туполев" И.С. Калыгин и начальник КБ силовых установок ОАО "ТАНТК им. Г.М. Бериева" И.П. Ковалев. По их словам, оба самолета в настоящее время имеют запасы по шумам, что подтверждается проведенными замерами, но величина этих запасов относительно норм Главы 3 ИКАО у Ту-334 составляет всего 6 дБ. В то же время, у американского самолета того же класса В-717-200, этот запас составляет 20 дБ, а у европейского А-318-100 - даже 25 дБ. Это вынуждает продолжить работы по снижению шума самолета Ту-334, например - путем установки дополнительной звукоизоляции мотогондолы. Сертификация двигателей, оснащенных поглощающими покрытиями и обеспечивающих выполнение требо-



ваний норм Главы 4 ИКАО по шумам, может произойти в 2003 г.

Следующей, не менее важной темой, поднятой на заседании, был вопрос эксплуатационного ресурса двигателей упомянутых самолетов. Для этого в ЗМКБ "Прогресс" разработан специальный план работ, пре-

дусматривающий эксплуатацию по "2-ой стратегии управления ресурсом" после внедрения наземных бортовых систем контроля.

На заседании МКС были рассмотрены и другие вопросы, а также утвержден план работ на 2003 год. П

6 декабря 2002 г. ФГУП "ММПП "Салют" провело семинар, на котором были рассмотрены вопросы конструирования и производства зубчатых колес. В работе семинара приняли участие ученые ведущих академических и отраслевых институтов, конструкторы и технологи завода "Салют". Работой семинара руководил заместитель генерального директора ММПП "Салют" В.В. Крымов. В своем выступлении он рассказал о тех технологиях, которые уже освоены на заводе при производстве зубчатых колес. Однако, двигатели пятого и следующих поколений должны будут иметь более высокие удельные параметры, что невозможно без значительного снижения массы двигателя и, соответственно, его коробки агрегатов, основу которой со-

ставляют зубчатые колеса. О путях решения некоторых проблем зубчатых передач рассказали Н.М. Рыжов (МГТУ), Э.Б. Вулгаков (ЦИАМ), А.Л. Филиппенков (ВОЕНМЕХ) и др.

Создать современную, а тем более перспективную зубчатую передачу невозможно без применения компьютерных методов проектирования, расчетов на прочность и виброактивность. Их применение позволит ускорить проектирование и снизить затраты на внедрение в производство. О разработке нового программного комплекса "Эксперт" для синтеза и анализа конических передач с круговыми зубьями рассказала Г.И. Шевелева (СТАНКИН).

Но мало спроектировать, надо изготовить зубчатое колесо. На "Са-



люте" широко используются зубошлифовальные станки фирмы "Рейсхауэр". О новых разработках этой фирмы доложил ее представитель в России А.С. Калашников.

Завершился семинар посещением цехов предприятия, участвующих в технологической цепочке изготовления и обработки зубчатых колес. П

Электроэрозионные станки - сложнейшие машины. Выбрать, какой станок лучше, непросто.

Однако, если сравнивать и анализировать конструкции станков по законам физики, законам логики, законам здравого смысла - выбор будет правильным.

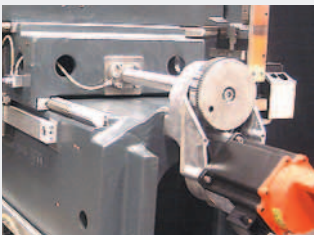
Все электроэрозионные станки неодинаковы! Сравните сами:

(сравнение на примере проволочно-вырезных станков)

Обычные ЭЭ вырезные станки

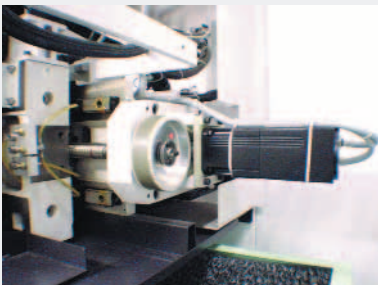
ШВП-приводы

Приводы электромоторами вращения через ШВП (шаро-винтовую пару) с помощью зубчатых или ременных редукторов или непосредственно.



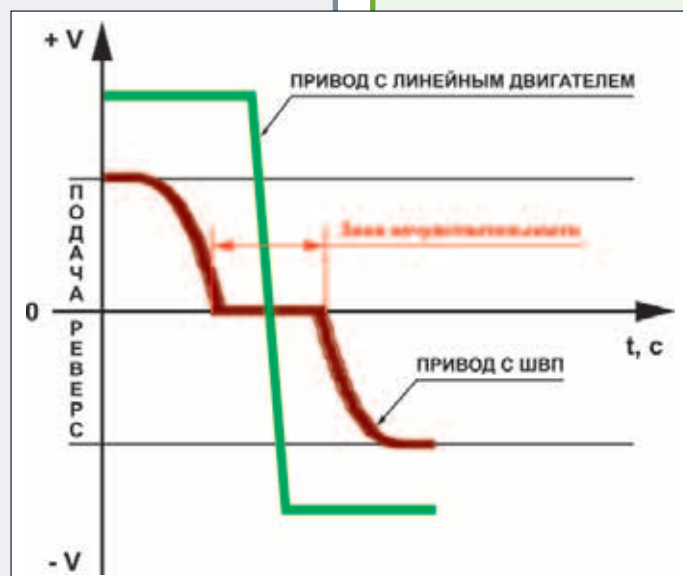
Ременный привод с ШВП швейцарского производства

- Крайне сложная и длинная цепь преобразования энергии в линейное движение.
- Сложная цепь преобразования вращательного движения в линейное.



Ременный привод с ШВП другого швейцарского станка

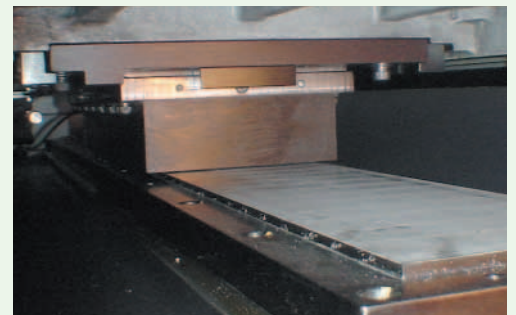
- Низкая динамика, задержка от момента подачи энергии до начала движения.
- Люфты, мертвые ходы и большая зона нечувствительности ШВП складываются с люфтами и зоной нечувствительности редуктора.
- Прерывистые и скачкообразные подачи. Снижение как статической, так и динамической точности и точности обработки.
- Искажения траектории в моменты изменений осевых подач (углы, реверс подач ШВП). Особенно негативное влияние на круглость. Динамическая корректировка положения невозможна.



ЭЭ станки Sodick

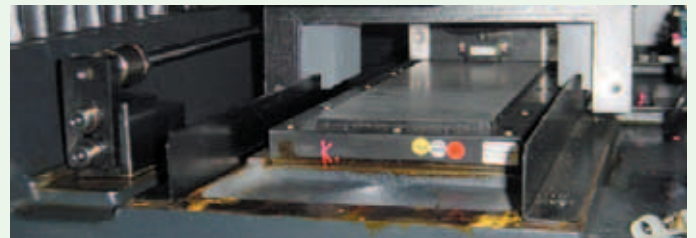
Линейные приводы

(приводы с линейными электродвигателями) с линейными датчиками (оптическими линейками)



Линейный привод оси X станка AQ535L

- Нет длинной сложной цепи преобразования энергии в движение.
- Нет преобразования вращательного движения в линейное.



Привод оси Y станка AQ325L

- Превосходная динамика, моментальность и непревзойденная динамическая (!) точность.

- Отсутствие люфтов, мертвых ходов, нет зоны нечувствительности, прерывистых и скачкообразных подач!!!
- В механике станка не используются шаро-винтовые пары, ремни, зубчатые колеса, подшипники и т.д. В результате - нет изнашиваемых частей!
- Сохранение неизменно высокой начальной точности в течение долгих лет эксплуатации.
- Положение по осям корректируется 500 раз в секунду.

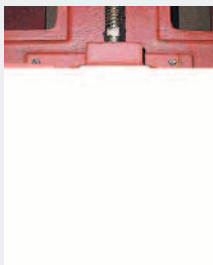
Конструкции приводов: недостатки и достоинства

Все электроэрозионные станки неодинаковы!

Обычные ЭЭ вырезные станки



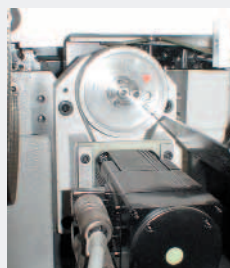
Зубчатые редукторы ШВП-приводов японского станка



Механизм возникновения люфтов в зубчатом редукторе. Похожим образом люфты возникают в зубчатом ременном редукторе, однако в таком редукторе точек возникновения люфтов вдвое больше (как минимум!).

- Температурные деформации валов, винтов и т.д. отрицательно влияют на точность приводов и на точность обработки.
- Сложность конструкции, монтажа на станке и отладки, крайняя сложность ремонта (особенно ШВП!), наличие погрешностей в шаге винтов, большая металлоемкость, необходимость в смазке и т. д.

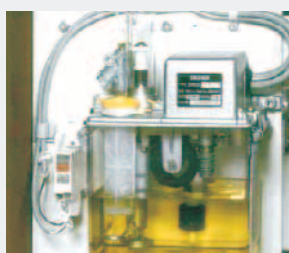
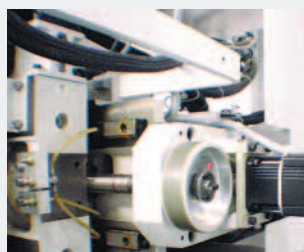
Осевые **энкодеры** (датчики углового положения) **вместо линейек** (датчиков линейного положения) или линейки с малой дискретностью



- Энкодер на оси электродвигателя измеряет лишь угол поворота вала, но не фактическое положение приводимого органа.
- Неизбежны потери точности через несколько лет эксплуатации.

Необходимость в смазке

- Сложные системы ручной смазки с множеством точек обслуживания **или**
- Системы автоматической смазки, у которых в ходе эксплуатации засоряются подводящие трубки и прекращается подача масла к точкам смазки



ЭЭ станки Sodick

Линейный привод оси V конусного механизма Sodick



- Возможные температурные деформации постоянных магнитов и электромагнитов линейного привода на точность работы привода не влияют.
- Простота конструкции, надежность. Если по какой-либо причине потребуется ремонт привода, более ремонтпригодную конструкцию трудно вообразить.



В линейном приводе всего две основные части: электромагнитный блок и плита постоянных магнитов. Взаимодействие магнитных полей создает тягу, которая заставляет подвижную часть двигаться относительно неподвижной. Третья необходимая часть - "линейка". Вот и все!

Ломаться фактически нечему!!!

Линейные датчики HEIDENHAIN с дискретностью 10 нанометров (0,01 мкм) на осях X, Y, U, V (полнозамкнутая петля обратной связи).



До апреля 2002 г. устанавливались "линейки" SONY с дискретностью 0,1 мкм (100 нм).

Смазка не требуется!

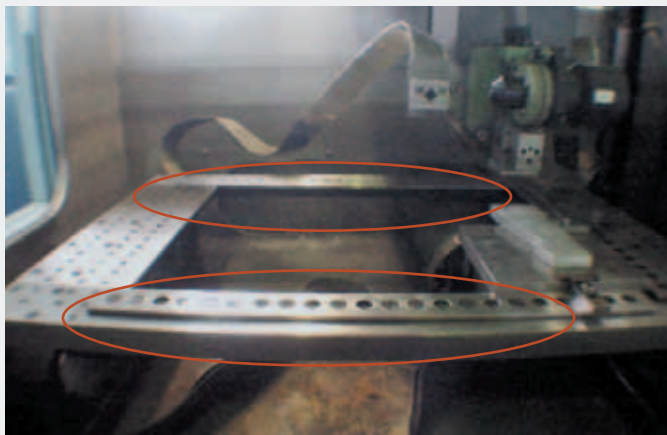
- В станках Sodick нет ШВП и редукторов - **смазывать фактически нечего.** В линейных приводах нет ШВП и подшипников, нет потерь точности из-за износа. Точность сохраняется неизменно высокой в течение длительного периода.
- Направляющие станков Sodick **в смазке не нуждаются.**



Все электроэрозионные станки неодинаковы! Сравните сами:

Обычные ЭЭ вырезные станки

- **Опоры стола - нержавеющая сталь.** Поскольку материал опор имеет очень высокий коэффициент температурного расширения ($15...18 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$), колебания температуры в процессе обработки (неравномерный нагрев) негативно влияют на геометрию стола и точность обработки.
- Опоры плит стола на длинной стороне установлены только по углам. В результате стол обладает недостаточной жесткостью, его поверхность деформируется под воздействием тяжелой детали.



- Стол не изолирован от остальной конструкции станка. В результате часть энергии искровых разрядов теряется с токами утечки, снижая к.п.д. станка.

Металлопластиковая рабочая зона



- “Геометрию” конструкции держат только материалы с высоким коэффициентом температурного расширения (углеродистая или нержавеющая сталь) - $12...18 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$ и нежесткий пластик.

Амплитуда тепловых деформаций при электроэрозионном резании у таких конструкций в 3...5 раз выше, чем у керамических. Это предопределяет худшую точность обработки на станках с металлопластиковой рабочей зоной.

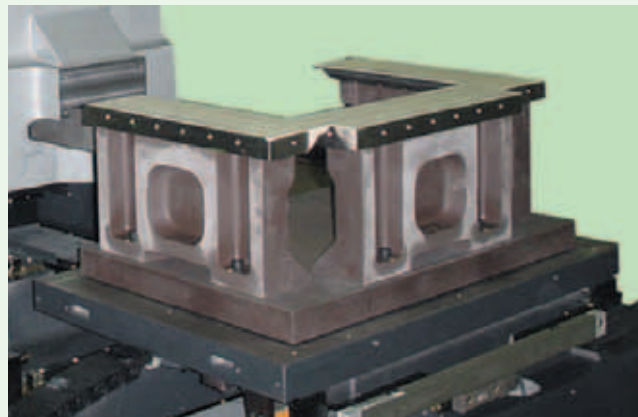
- Жесткость конструкции снижена из-за использования пластиковых электроизолирующих вставок.
- Для повышения точности обработки приходится прибегать к дорогостоящим техническим решениям, таким как термостабилизирующие системы или системы “отделения тепла от области ЭЭ обработки”.

Низкая электроизолированность

- Этот недостаток обуславливает значительные потери производительности в ходе эксплуатации (быстрые потери качества изоляции и возникновение токов утечки).
- За 5 лет работы производительность металлопластикового станка уменьшается примерно на 30 %, как минимум в три раза больше, чем у керамического станка.

ЭЭ станки Sodick

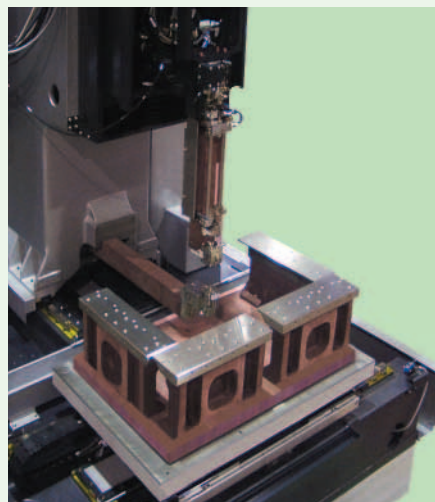
- **Опоры стола - из специальной керамики.**
- **Опоры сплошные** - они обеспечивают идеальную жесткость.
- Керамика FineXCera® имеет коэффициент температурного расширения вдвое меньший ($4,7 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$), чем у гранита. Как результат - зависимость от колебаний температуры слабая, что способствует повышению точности обработки.



Благодаря отличным электроизоляционным характеристикам керамики энергия электрических разрядов используется с высочайшим к.п.д., практически полностью реализуется в искровых разрядах, а не теряется с токами утечки.

В результате обеспечивается высокоскоростная, высокоточная и высококачественная обработка в течение всей долгой жизни станка.

Керамическая рабочая зона



- Все несущие конструкции зоны резания (кронштейны направляющих проволоки, плиты стола и опоры) выполнены из электроизолирующей керамики с особо малым коэффициентом температурного расширения, в 3...5 раз меньшим по сравнению с материалами обычных ЭЭ станков.

Значительно повышена точность обработки и минимизированы тепловые деформации.

- У керамических станков **выше геометрическая точность**, чем у сложных и дорогостоящих станков с собственной термостабилизирующей системой и, тем более, чем у рекламируемых станков с невнятным “отделением тепла от области ЭЭ обработки”.

Идеальная гальваническая развязка

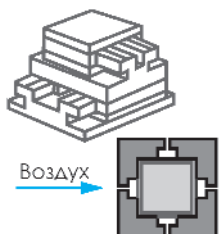
- Керамика FineXCera® - превосходный изолятор (10^{14} Ом/см). Это качество обеспечивает минимизацию потерь изоляционных свойств в ходе эксплуатации. Керамические станки значительно долговечнее металлопластиковых. В керамических станках практически нет токов утечки.
- Благодаря идеальной электрической изоляции стало возможным использование биполярных импульсов для безэлектролизного чистового резания.

Самый точный в мире ЭЭ вырезной станок! Дискретность подач - 10 нм (0,01 мкм)

- ✓ Специальные бессердечниковые сдвоенные линейные двигатели.
- ✓ Закрытые аэроэстатические направляющие (воздушная подушка).
- ✓ Стол XY, заимствованный у линейного ультрапрецизионного обрабатывающего центра Sodick NANO-100.
- ✓ Уникальные нанометровые линейные датчики Heidenhain и собственная система управления SMC (Sodic Motion Controller).
- ✓ Полнокерамическая конструкция на гранитной станине.
- ✓ Автозаправка проволоки $\varnothing 0,01 \dots 0,03$ мм.
- ✓ **Достижимая точность на детали < 1 мкм на всей толщине.**
- ✓ **Круглость $R_{max} = 0,35$ мкм!**
- ✓ **Достижимая шероховатость $Ra = 0,03$ мкм (∇ класс 12).**
- ✓ Прецизионный холодильник-термостат диэлектрика с дискретностью 0,2 °С.
- ✓ КЧПУ-генератор LQ 1W помимо CAD/CAM-системы Heart NC оснащен системой 3D моделирования Q3vic-Solution (совместно с Solid Works, США).



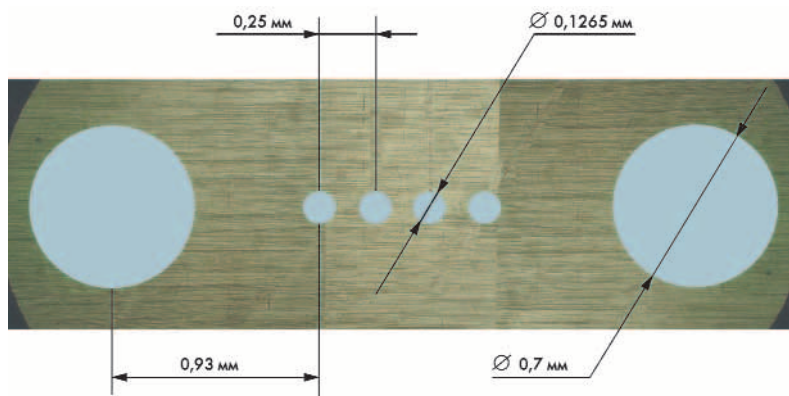
EXC-100L



Механизм аэроэстатических направляющих стола EXC100L изготовлен из FineXCera® – электроизолирующих керамик со сверхмалым тепловым расширением

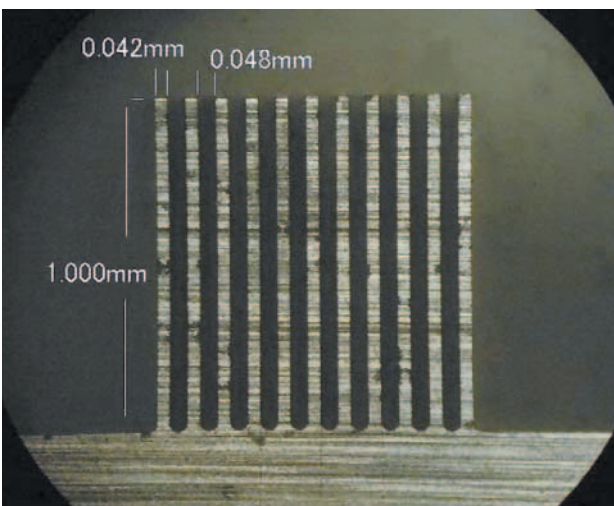
Поколение НАНО

EXC-100L - новая блестящая разработка Sodick, еще один шаг в мир нано-технологий. Впервые машина демонстрировалась на международной выставке JIMTOF'2002 в Токио. EXC-100L заменяют в производственной линейке отлично зарекомендовавшие себя нелинейные EXC-100, которые выпускались с 1995 года и пользовались, несмотря на цену, большим спросом. Только в Японии в 2000-2002 годах было продано более 90 таких станков. EXC-100 продавались и в другие страны, включая консервативную Швейцарию.



Пример обработки

Материал заготовки	Сталь толщиной 0,6 мм
Диаметр проволоки	0,05 мм
Число проходов	3
Шероховатость	$R_y = 0,62$ мкм ($R_a = 0,095$ мкм)
Точность контуров и шага отверстий	0,5 мкм

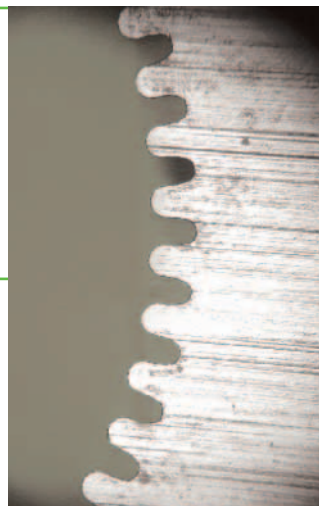


Пример обработки

Модуль колеса	0,052
Число зубьев	60
Материал заготовки	Карбид вольфрама толщиной 3,0 мм
Проволока	0,03 мм
Число проходов	2
Шероховатость	$R_y = 0,50$ мкм ($R_a = 0,08$ мкм)
Точность обработки	0,8 мкм

Пример обработки

Материал заготовки	Карбид вольфрама G5 толщиной 3,5 мм
Диаметр проволоки	0,03 мм
Число проходов	1
Шероховатость	$R_a = 0,08$ мкм
Точность обработки	0,5 мкм



nano

Universal Insurance Company

ВСЕОБЩАЯ СТРАХОВАЯ КОМПАНИЯ



*Интересы клиентов -
приоритет нашей деятельности*



ЗАО "Всеобщая страховая компания"
Россия, 101990, Москва,
Петроверигский пер., 4.
Тел./Факс: (095) 923-2102.
E-mail: univac@chat.ru

