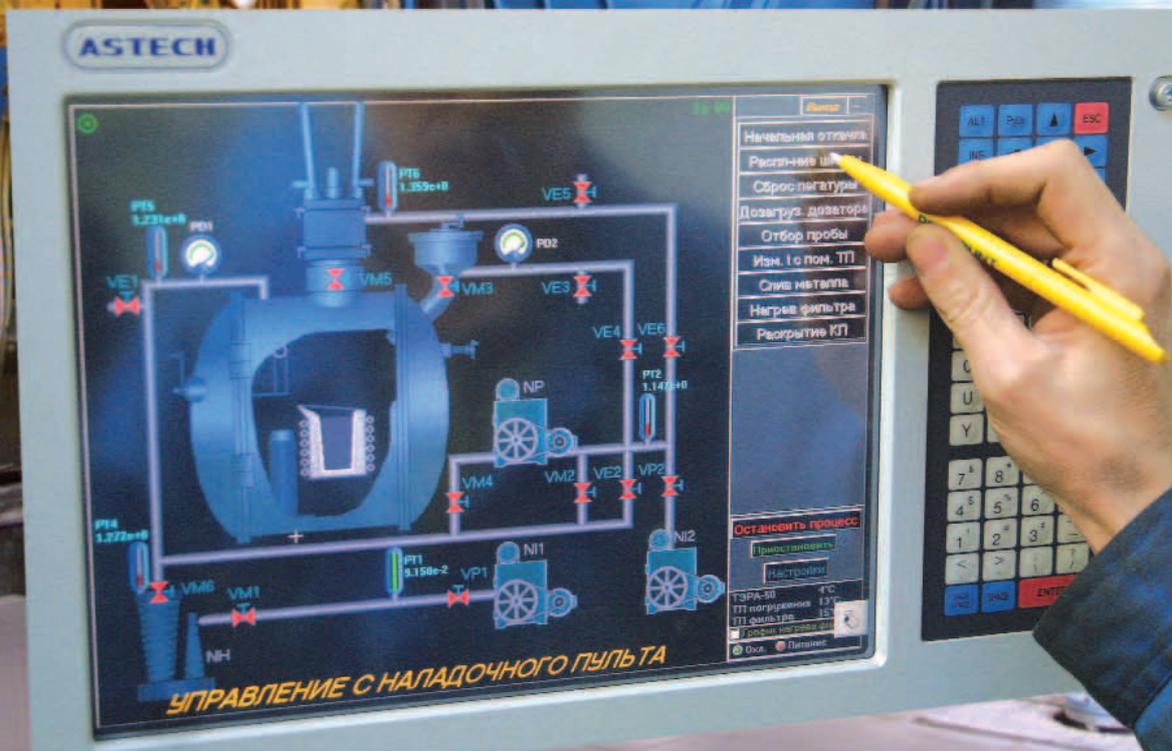


Двигатель

Научно-технический журнал № 6 (30) 2003

Производство современных двигателей невозможно без современных технологий



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
"Зоря"-Машпроект", Николаев

Гриценко Е.А.,

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

Губертв А.М.,

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

Данилов О.М.,

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

Дическул М.Д.,

пред. совета директоров ОАО "Пермский
моторный завод" и "Авиадвигатель"

Жарнов В.М.,

ген. конструктор ПО "Минский моторный завод"

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.,

руководитель проекта "Двигатель"
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

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

Селезнев Е.П.,

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

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.,

первый зам. ген. директора 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:

Александр Гомберг, Андрей Касьян,
Игорь Никитин, Валентин Шерстянников

Литературный редактор

Лидия Рождественская

Художественный редактор

Александр Медведь

Техническая поддержка

Александр Бобылев

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

Александра Бажанова,
Дмитрия Боева, Валерия Машкова,
Александра Медведа, Игоря Никитина

**Адрес редакции
журнала "Двигатель":**

111116, Россия, Москва,

ул. Авиамоторная, 2

Тел.: (095) 362-3925

Факс: (095) 362-3925

engine@zfel.ru

www.engines.da.ru

www.engine.avias.com

www.dvigately.ru

ОЧДААЕОАЕУ Е ЕСААОАЕУ

ООО "Редакция журнала "Двигатели"

генеральный директор Д.А. Боев

зам. ген. директора А.И. Бажанов

.....

Рукописи не рецензируются
и не возвращаются.

Редакция не несет ответственности
за достоверность информации
в публикуемых материалах.

Мнение редакции не всегда
совпадает с мнением авторов

.....

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

.....

Научно-технический журнал "Двигатель"

зарегистрирован

в Государственном Комитете РФ

по печати

Reg. № 018414 от 11.01.1999 г.

Отпечатано

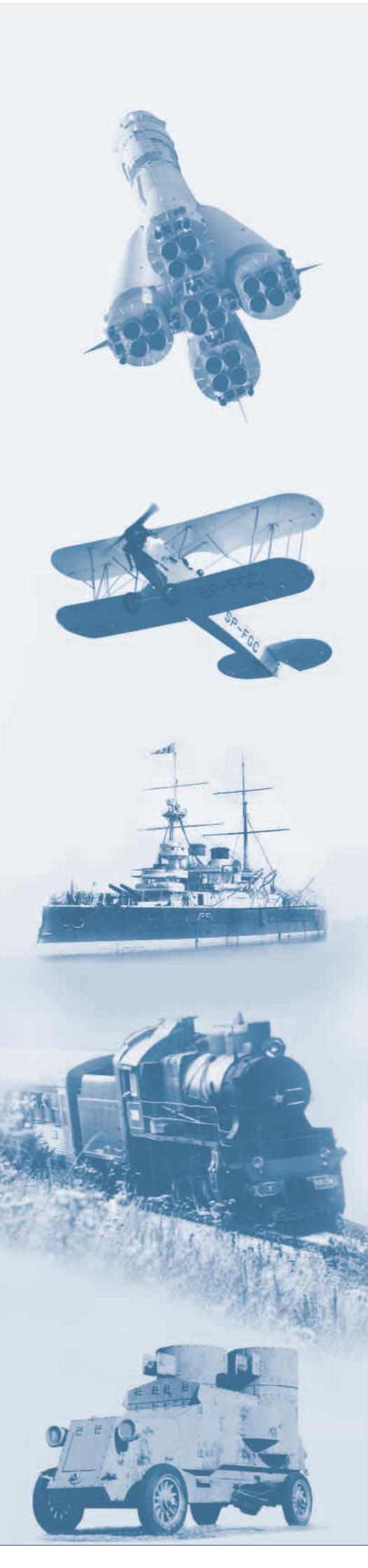
ЗАО "Фабрика Офсетной Печати"

Москва

Тираж 5000 экз.

Периодичность: 6 выпусков в год.

Цена свободная



СОДЕРЖАНИЕ

2. Интеграция - магистральный путь повышения эффективности моторостроения

Интервью с В. Чуйко

8. Современные технологии как необходимое условие создания наукоемкой продукции

Ю. Елисеев

12. Совершенство двигателя определяется совершенством технологий

В. Гейкин

16. УМПО - шаг в будущее!

В. Лесунов

18. F119 - двигатель истребителя F-22

В. Кокарев, Л. Соркин, Г. Фридман

20. Первому полету самолета - сто лет

П. Крякутный

22. История атомного самолета в кратком изложении

Н. Александров

26. "Опять не выпускают самолет..."

А. Николаев

30. Станки для электроэрозионной обработки и скоростного фрезерования фирм CHARMILLES и MIKRON

В. Полуянов, И. Костычев

33. Авиационные технологии для восстановительной медицины

А. Червяков, А. Лиознов, В. Бойных,

34. Двигателестроительная археология

Д. Боев

35. Реквием по прадедушке

Д. Боев

36. Виброактивность и вибросчувствительность турбонасосных агрегатов ЖРД

В. Шерстянников

38. Влияние величины входного угла сверхзвукового контура на разгар сопла РДТТ

Ю. Кочетков

40. К истории создания двигателя первой ступени ракеты-носителя "Энергия"

В. Рахманин

44. Кому лететь на Марс?

Д. Соколовский

46. Его величество - К.П.Д.

Е. Бугаец

48. "Нет решения более постоянного, чем временное..." (из международного "эксплуатационного" опыта)

А. Ефремов



ИНТЕГРАЦИЯ - МАГИСТРАЛЬНЫЙ ПУТЬ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОТОРОСТРОЕНИЯ

Редакция журнала "Двигатель" начинает публикацию серии статей, освещающих состояние и перспективы создания двигателей нового поколения. Наверняка у каждого руководителя промышленного предприятия или научного центра будет свое мнение о способах и путях достижения поставленной цели. Вполне естественно, что первым, к кому обратилась редакция журнала с вопросами по проблемам создания двигателей нового поколения, стал президент АССАД Виктор Михайлович Чуйко.

"Двигатель": *Какие, по Вашему мнению, важнейшие события в российском авиационном двигателестроении произошли в 2003 году и что возможно ожидать в 2004 году?*

Виктор Чуйко: Прошедший год можно характеризовать как год внедрения двигателей в серийное производство. В этом ряду можно назвать сертификацию двигателя ТВД-1500 в начале года, полученную после более чем 10-летнего периода работы над ним. С назначением М.Ю. Кузьменко генеральным конструктором ОАО "НПО "Сатурн" работы были форсированы и получен сертификат.

Завершились государственные испытания двигателя ВК-2500 разработки завода имени В.Я. Климova, получившего такой сертификат еще в конце 2002 г., в прошлом 2003 г. он принят в эксплуатацию.

Оформлено дополнение к Сертификату двигателя Д-436 для перевода его на эксплуатацию по третьей стратегии управления ресурсом. Работы завершены буквально только что - в декабре 2003 г. Все материалы поданы в Авиарегистр, и получено дополнение к сертификату. Это - достойное завершение громадной работы разработчиков, в первую очередь - ЗМКБ "Прогресс", ЦИАМ, ГосНИИГА.

Существенные продвижения произошли по двигателям Д-436Т1 для Ту-334 и Д-436ТП для Бе-200. Если в предыдущие годы осуществлялась опытная эксплуатация этих двигателей, то сейчас для серийных самолетов Бе-200 изготовлена серийная партия. Уже заказаны серийные двигатели Д-436Т1, поскольку в декабре 2003 года ожидается сертификация Ту-334. Так как и авиакомпания, и МЧС уже сделали заказы на Ту-334 и Бе-200, то в Москве, Уфе и в Запорожье производятся первые партии двигателей.

Долгожданное событие: завершен цикл стендовых испытаний и ведется подготовка к испытаниям на летающей лаборатории двигателя НК-93. Будем надеяться, что в первом квартале НК-93 поднимется в воздух. Полагаю, что мы наконец-то сможем дать оценку этому двигателю и примем решение о его установке на самолеты типа Ил-96, Ту-330 и иные.

Российским авиационно-космическим агентством был проведен конкурс на создание двигателя мощностью 800...1000 л.с. для региональной авиации. Победил двигатель ВК-800 разработки завода им. В.Я. Климova. По результатам конкурса и в рамках программы по развитию гражданской авиатехники на период до 2010-2015 гг. Росавиакосмосом уже заключен первый договор.

Наверное, следует сказать и о двигателе ТВД-20 разработки Омского машиностроительного конструкторского бюро. Этот дви-

гатель прошел заключительные испытания на самолете Ан-38, который теперь можно запустить в производство.

По договору с Росавиакосмосом пермское ОКБ "Авиадвигатель" начало работы по ПС-90 второй серии. Задержка только в решении вопроса о финансировании внебюджетной части работ (по решению Росавиакосмоса это - 50...70 % всего объема работ). Эти 50 % должна выделить компания Pratt&Whitney. Бюджетную часть (50 %) Росавиакосмос выделил, очередь за Pratt&Whitney, поскольку фирма согласилась с таким делением затрат.

Следует сказать, что по надежности двигатель ПС-90 уже не только достиг норм (определенных для него ЦИАМ), но и значительно превысил их. У ПС-90 очень хорошие перспективы, поскольку количество заказов на технику, на которой они установлены (Ту-204, Ту-214, Ил-96-300), существенно увеличилось. Сейчас компании, эксплуатирующие самолеты с этим двигателем, довольны и двигателем, и самими самолетами: они экономичнее аналогов, например, Ту-154 или Ил-86, и соответствуют мировым экологическим требованиям.

Высокая надежность работы - одно из основных требований, предъявляемых к авиационным двигателям. Надежность - наша "головная боль" конца прошлого века. Однако, когда мы в этом году подводили итоги, стало ясно, что сейчас уже все гражданские двигатели полностью удовлетворяют нормам, установленным ЦИАМ и утвержденным ведомствами.

Вероятно, в этом году существенно продвинется выполнение программ создания самолета Ан-70, так как происходят изменения в отношении к этому самолету. В прессе много говорилось о критике этого самолета главкомом ВВС В.С. Михайловым. Я считаю, что здесь пресса попросту неправильно интерпретирует слова главкома. Он не раз говорил, что авиационную технику следует брать на вооружение только после устранения недоработок. Это правильно, потому что большинство дефектов надо выявлять на стадии доводки, до начала технической эксплуатации. Однако, не эксплуатируя технику, нельзя и выявить все дефекты. За время этой опытной эксплуатации, надеюсь, удастся поднять и технические возможности двигателя Д-27.

Полагаю, что 2004 г. будет годом расширения внедрения самолетов Ил-114 и Ан-140. Надо сказать, что по числу эксплуатируемых самолетов Ан-140 опередил сегодня Ил-114. Хотя это самолеты одного класса, применимость их несколько разная. Так, если Ил-114 требует лучших аэродромов, то Ан-140 менее требователен. Зnamenательно, что как раз сегодня выкатили из цеха Ан-140 сборки Самарского авиационного завода, собранный по кооперации с Харьковским авиазаводом.



Хочется сказать также и о том, что в уходящем году двигатели много работали над улучшением экологических характеристик. Так, НПО "Сатурн" предложило путем увеличения площадей звукопоглощающих панелей и перекомпоновки компрессора низкого давления двигателей Д-30КУ и Д-30КП обеспечить выполнение норм Главы 3 ИКАО, а возможно и главы 4 по шумам. Эти доработки планируется выполнять в процессе планового ремонта, причем стоимость этих работ будет сравнительно небольшой. Данная технология применима на многих летательных аппаратах, а эффект впечатляющ. Так, когда в Дубаи летал самолет Ан-148, то от него не было привычного "самолетного" шума: если его не увидеть в небе, то можно и не узнать о его полете.

Существенно укрепились, конечно, кооперационные связи. Они могут организовываться по-разному. Например, если взять двигатель Д-436, то для координации действий создана корпорация между "Салютом" и УМПО. Работа ведется на договорных началах и весьма эффективно, хотя никакая жесткая структура для нее не создавалась. Это, можно сказать, уже интеграция вокруг определенной темы: на базе этого двигателя могут быть созданы машины с большей степенью двухконтурности, с большей тягой, с лучшей экономичностью и так далее.

Второй путь (если говорить о государственных предприятиях) - это интеграция, которая осуществляется вокруг самого "Салюта". Можно сказать, что первый этап ее завершен. Он заключается в том, что в состав "Салюта" включены КБ "Гранит", НИИД (как научно-технический центр ФГУП "ММПП "Салют", причем специалисты НИИД могут проводить работы по новым технологиям и оборудованию для всех предприятий подотрасли). Кроме того, завод купил крупные предприятия в Кишиневе и Гаврилов-Ямский агрегатный завод в Ярославской области. Поэтому структура этого предприятия тоже весьма сильно интегрировалась.

И третий путь - создание открытых акционерных обществ, таких, например, как ОАО "НПО "Сатурн", возникшее в результате слияния ОАО "Рыбинские моторы" и ОАО "А. Люлька-Сатурн". Эта структура уже полностью решила вопросы, связанные с управленческой реорганизацией, продолжается реорганизация производства.

По нашим оценкам, на большинстве предприятий наблюдалось дальнейшее увеличение объемов продаж (этот процесс идет с 1999-2000 гг.). И если первые годы этот рост достигал 150 % в год, то теперь - около 30 %. Если сравнить с ростом ВВП в государстве, то темпы весьма неплохие. Но не надо забывать, что увеличение продаж за эти годы даже в три раза позволило

нам выйти на объемы производства чуть менее половины их объема в 1990 г. Добавлю, что если по итогам 2000-2001 гг. мы говорили, что у нас существенно уменьшилось число предприятий, имеющих значительные финансовые затруднения в работе, то в 2002 г. отдельные предприятия уже не наращивали объем производства, а даже немного снизили его. То же самое наблюдается и в 2003 г.: число предприятий, более-менее устойчиво работающих, сократилось.

Вместе с тем можно утверждать, что у нас есть еще прекрасные перспективы роста. Известно, что продажа авиатранспорта зависит от общей обстановки в государстве: если растут объемы производства в стране, то увеличивается объем транспортных перевозок - значит необходима и наша техника. У людей появились деньги для того, чтобы летать. Полагаю, в следующем году продолжится рост, причем по нашим расчетам он составит порядка 25 %.

Что нового принес нам этот год в плане разработок? Головной наш институт, ЦИАМ, постепенно, хотя и несколько медленнее, чем хотелось бы и нам, и его руководству, набирает прежние силы. В ЦИАМ усовершенствованы математические модели расчета процессов, происходящих внутри двигателя. Такие же работы проведены и в области газо-, термодинамики и прочности. В ЦИАМ научились выполнять интегрированные расчеты групп элементов и блоков двигателя в целом. Главная задача нескольких ближайших лет - внедрить эти новинки в опытно-конструкторские разработки, причем на договорной основе, поскольку бюджетных средств для выполнения этих работ недостаточно. ЦИАМ провел исследования и подготовил предложения по компрессорам - как осевым, так и центробежным, а также по камерам сгорания (гомогенизации смеси, получаемой в камере сгорания). В ЦИАМ есть наработки, связанные с увеличением перепада давления, сбрасываемого на одной ступени турбины. Если раньше степень расширения на турбине принималась $\pi^*_t = 2...3$, то сейчас говорится о $\pi^*_t = 5$ и даже 6.

В другом нашем крупнейшем отраслевом институте ВИАМ создан целый ряд литейного оборудования для монокристаллического литья лопаток турбины. Было получено и установлено специальное оборудование, позволяющее контролировать состояние материала непосредственно в процессе его технологического производства и выполнять коррекцию химического состава расплава. В этом году ВИАМ на этом участке начал серийно изготавливать лопатки для многих наших двигателей.

В этом институте за последний год был внесен важный практический вклад в разработку новых материалов и коррозионно-

стойких покрытий. Считаю, что вся эта работа связана прежде всего с именем члена-корреспондента РАН, члена Президентского совета по науке и высоким технологиям Е.Н. Каблова. ВИАМ у нас был основным при "спасении" федеральной программы по гражданской авиации, которую вообще хотели убрать из бюджета. Программу отстояли. Немало было сделано для авиационной подотрасли благодаря правильному пониманию дел в промышленности ведущими фигурами в Государственной Думе: А.Н. Гончаром, Г.Н. Селезневым и некоторыми другими депутатами.

Очень серьезные достижения у нас и в системах автоматического управления. Вот пример, на ВК-2500 установлена разработанная заводом им. Климова новая система автоматического регулирования и контроля, которая отличается тем, что она оптимизирует параметры работы двигателя и повышает его надежность при одновременном понижении массогабаритных характеристик. С этим двигателем (ВК-2500) связано интересное новшество. В сертификате на него сказано, что этот двигатель выпускается одновременно и на заводе им. Климова, и в Запорожье. Напомню, что еще с советских времен все двигатели ТВ3-117 разработки завода им. Климова выпускались только в Запорожье, что сегодня не устраивает нашего военного заказчика. Генеральному конструктору А.А. Саркисову удалось сделать так, что и в сертификате, и в лицензионном соглашении зафиксировано: вертолетный двигатель типа ВК-2500 будет производиться и в Украине, и в России. Каждая из стран выпускает для себя этот двигатель на собственном заводе, а для иностранных заказчиков - по дополнительному соглашению. Сегодня ведутся разговоры о том, что "надо бы все делать в России". Может быть и так, но хорошо бы сначала сесть и посчитать. По оценкам специалистов освоение двигателя в целом будет стоить \$30...35 млн. Но, поскольку производство в Запорожье налажено, себестоимость двигателей будет ниже, что обеспечит их конкурентоспособность на рынке.

Теперь несколько слов по "наземке". Сегодня у нас нет ни одного завода или ОКБ, который на базе выпускаемых авиационных ГТД не сделал бы газотурбинные двигатели для энергетики, перекачки газа, транспорта и т.д. Раньше заказчику трудно было найти что-либо под свои конкретные нужды, приходилось комбинировать, а теперь существует масса предложений, причем зачастую это комплексные решения. Так, в Рыбинске на территории НПО "Сатурн" установили две машины по 6 МВт, и стоимость электроэнергии получилась примерно в три раза ниже, чем стоимость энергии от РАО "ЕЭС". Потом было освоено производство машины мощностью 110 МВт разработки НПК Газотурбостроения "Зоря"- "Машпроект". Первая ГТЭ-110 установлена на Ивановской ГРЭС.

Как положительное достижение этого года следует отметить и то, как предприятия отнеслись к объявленному АССАД году А.И. Ивченко. Прошли конференции, научно-технические советы, на МАКС был проведен день Ивченко. Состоялся объединенный НТС ЦИАМ и АССАД. Заключительные мероприятия прошли в Запорожье 18 декабря: был открыт памятник Ивченко на территории ОКБ, а в областном театре прошли торжества на правительственном уровне. Это очень важно, так как в годы безвременья мы стали забывать, откуда мы произошли, что означает наша общая история и каково наше место в ней.

Уверен также, что очень существенное значение имеет вышедший первый том нашего сборника "Созвездие". В нем мы рассказываем о выдающихся людях - инженерах, руководителях, главных конструкторах авиационного моторостроения, которые внесли значительный вклад в становление этой подотрасли производства авиатехники. К выставке "Двигатели-2004" ожидается выпуск второго тома.

Я коротко обрисовал наши достижения, но одновременно мне хотелось бы остановиться на негативных моментах, имевших место в уходящем году, а конкретнее о ситуации вокруг завода им. В.Я. Климова, которая мне очень не нравится. В свое время четыре моторные предприятия были включены в РСК "Миг". Первые же испытания на прочность новой корпорации, связанные с различными видением ее дальнейшей судьбы, привели к конфликту,

который не смогли погасить в Росавиакосмосе. К сожалению, даже наоборот: отдельные службы этой руководящей структуры только способствовали дальнейшему разрастанию недоразумений. В результате пошли какие-то нелогичные кадровые изменения, нормально работавший завод залихорадило, и чуть ли не все уровни государственной власти вынуждены были заниматься этим вопросом, переросшим в серьезную проблему.

А ведь все очень просто: не надо ничего изобретать, а делать так, как делают во всем мире - моторные организации должны интегрироваться на "моторной основе". Надо понять, что производство авиадвигателя является не менее сложной задачей, чем изготовление планера самолета. Ни самолетчикам, ни мотористам интеграция объективно ничего не может принести положительного, поскольку и материалы, и оборудование, и технология производства самолета и двигателя совершенно различны. А вот развивать одну из систем производства в ущерб другой при "общем кошельке" - вполне возможно. Более того: этот конфликт показал, что это происходит и насколько это неизбежно. Самолетчики моментально начали "тянуть одеяло на себя" и более того, имея внутренние долги (и немалые!) перед мотористами, все недостатки собственной работы покрывают за счет "младшего партнера". В результате завод, создающий вертолетные двигатели для всей страны и половины мира, оказался в сложном положении. Конфликт, к сожалению, не завершен: он продолжается и в новом году.

"Д": *Совсем недавно была проведена международная конференция по проблемам создания двигателя нового поколения. Что вкладывается в понятие "двигатель нового поколения"? Какими значениями параметров он должен отличаться от ныне существующего двигателя?*

В. Ч.: "Двигатель нового поколения" - в какой-то мере субъективное понятие. В начале 1990-х годов мы работали над двигателем 5-го поколения, но эта работа в силу объективных причин была провалена. Эта работа не пошла, даже когда были средства на нее, что уж говорить о современном состоянии! Поэтому, чтобы хотя бы закрепить достигнутое, у нас появилось поколение "4+". Подход к определению понятия "поколение", повторюсь, субъективен. Объективные нормативы у нас нет.

Что такое "двигатель нового поколения"? Исходя из нашего опыта, это прежде всего - оптимальные тяговые характеристики для летательных аппаратов нового поколения. Вопрос не в абсолютных значениях этих характеристик, разговор идет именно об удельных параметрах: тенденция их развития общая для всех двигателей нового поколения. Так, удельный расход топлива должен быть уменьшен на 15...20%. Примерно в тех же пределах должна снизиться удельная масса двигателя. Осуществить все это следует при безусловном соблюдении безопасности полетов (то есть эксплуатационной надежности двигателя). Требуется уменьшение общего числа деталей, в том числе - числа ступеней и компрессора, и турбины. Необходимо конструкцию сделать модульной, обеспечить простоту контроля состояния и замены отдельных элементов.

Диагностика состояния двигателей должна быть постоянной и организована таким образом, чтобы задолго до перерастания ситуации в опасную выдавала бы рекомендации о том, что надо делать с этим двигателем, чтобы начавшая развиваться опасная ситуация не привела к отказу двигателя в этом и последующих полетах. И, конечно же, новое поколение - это существенно более высокий уровень интеграции. Система управления двигателя нового поколения, безусловно, - электронная система с полной ответственностью за весь процесс управления двигателем на всех режимах работы.

Резюмируя, можно сказать, что двигатель нового поколения требует существенных изменений значений удельных параметров, существенного снижения эксплуатационных затрат, существенного повышения ресурса (сейчас уже понятие "ресурс" размыто, мы говорим о циклической долговечности). Образно говоря, двигатель должен столько работать "на крыле", сколько работает это крыло.

Есть два пути создания двигателя нового поколения, оба они с моей точки зрения достойны внимания. Один путь - создание полностью нового двигателя (но "большой скачок" требует и больших денег), второй - путь перманентного улучшения серийных двигателей. Впрочем, если говорить о перспективности, лучше требовать сразу закладки новых принципов конструирования, новых параметров, материалов и технологий в двигатели новой генерации, хотя это и дорого: если мы не будем требовать создания нового, никто и не будет это новое проектировать и создавать. Я не противопоставляю два пути создания двигателя нового поколения (так сказать, эволюционный и революционный), я просто говорю, что "мамы всякие нужны". Главное - двигаться вперед.

"Д": Двигатель нового поколения, как правило, связывают с созданием истребителя пятого поколения. Будут ли создаваться двигатели нового поколения для других летательных аппаратов (транспортных, пассажирских самолетов и вертолетов), а также для энергетики, перекачки газа, транспорта и т.п.?

В.Ч.: Создание двигателя каждого нового поколения - весьма дорогостоящая операция и проводить его "впрок", чтобы потом положить в сарай и ждать заказчика, никто не будет. Поэтому сначала выбирается заказчик. Как правило, это - военные. В процессе создания все узлы новой конструкции используются для гражданской машины. Так же делается и в международной практике. При создании CFM56, например, газогенератор был взят с двигателя боевого самолета, созданного GE: "нарастили" на него второй контур с высокой степенью двухконтурности - получился прекрасный двигатель пассажирского самолета. И у нас раньше было так - примерно через 3-4 года после создания двигателя для боевого самолета появлялся двигатель гражданский, а еще через 3-4 года индустриальный ГТУ (для перекачки газа, энергетики, судовых приводов, пожаротушения и т.д.), созданный на той же основе. Но в последнее время бывает, что все меняется местами: так, НК-93 у нас явно отстает по запуску в производство для авиации, а созданные на его основе ГТУ уже вовсю работают на газоперекачке. Конкурентный прессинг рынка настолько силен, что времени на раскачку не остается вовсе: рискуешь остаться при своих интересах.

"Д": Еще совсем недавно создание нового авиадвигателя начиналось с выхода в свет соответствующего постановления ЦК КПСС и Совета министров, выдачи заказчиком технического задания, последующего рассмотрения эскизных и прочих проектов. Затем создавалось опытное изделие, и проводились его испытания. Какие этапы существуют в настоящее время, и в каком состоянии сегодня находится программа создания двигателя нового поколения?

В.Ч.: Сейчас последовательность процесса создания нового двигателя несколько иная, чем раньше. Сложившееся у нас в последние годы безденежье, когда нет денег ни на какие работы, заставило ОКБ и заводы самостоятельно искать выход из создавшегося положения. Как говорится, "голь на выдумки хитра". Сейчас ОКБ совместно с заводами-смежниками и партнерами прорабатывают новую конструкцию на собственные средства, а потом предъявляют результат заказчику. И если раньше заказчиками выступали эксплуатационники, то сегодня чаще всего это - самолетчики или фирмы-производители по индустриальным двигателям (например, теперь Газпрому предлагается не ГТУ для станций перекачки, а готовая станция перекачки, созданная по кооперации производителями ГТД, нагнетателя, системы управления и всей конструкции). После переговоров с возможным заказчиком начинается процесс создания опытной партии. Бывает, что Правительство России принимает Программу развития и выпуска двигателя (уже, фактически, после его создания). По отдельным двигателям правительство России принимает какое-то решение, по другим бывает и межправительственное соглашение, скажем, правительству России и Украины, облегчающее таможенные барьеры по конкретным работам.

Что касается двигателя нового поколения, то есть распоряжение Правительства РФ о его создании. По этому постановлению создание нового двигателя закреплено за ОАО "НПО

"Сатурн". Это постановление "рамочное", оно предполагает выполнение некоторых мероприятий, необходимых для создания нового двигателя.

"Д": Есть ли необходимость в реорганизации (или реструктуризации) предприятий двигателестроительной отрасли для успешного решения задачи создания двигателя нового поколения?

В.Ч.: Необходимость в реорганизации предприятий для создания двигателя нового поколения, конечно, есть. Так, по инициативе ОАО "НПО "Сатурн" создан Совет главных конструкторов, на котором обсуждается конструкция двигателя нового поколения. Совет создан совместным Протоколом, подписанным руководителями ведущих предприятий. В Совет главных конструкторов входят М.И. Кузьменко, А.Ф. Ивах, В.А. Скибин, А.А. Саркисов, Ю.С. Елисеев, В.М. Чуйко, Е.А. Гриценко, А.А. Иноземцев, В.А. Белоусов - руководители практически почти всех наших ведущих фирм. Работы проводятся на базе ОАО "НПО "Сатурн". Мировой опыт показывает, что разделение риска при создании новой высокотехнологичной техники может быть только тогда, когда к этому процессу подключены несколько предприятий. Возьмите, например, проектируемый на Западе самолет JSF. Там к этому процессу подключена масса фирм. Конечно, не думаю, что самым правильным решением было бы "согнуть всех в один котел": отсутствие внутренней конкуренции между разработчиками и производителями на этапе создания нового двигателя не дает возможности создать конкурентоспособную в мировом масштабе конструкцию. Так, до 90-го года проводились какие-то конкурсы на разработку конструкций новых двигателей, по готовым проектам отраслевые НИИ давали свои заключения, и уже по ним принимались решения о производстве. И если попробовать под флагами "централизации сил" и "уменьшения расходов" устранить эту соревновательность, вместе с ней устранилась и возможность выбора лучшей конструкции из нескольких вариантов. Конечно, кооперироваться надо именно по производственной необходимости, а не по каким-то еще принципам. Интегрироваться надо вокруг дела.

"Д": Какая помощь требуется предприятиям и организациям двигателестроительной отрасли от законодательной и исполнительной ветвей власти?

В.Ч.: Законодательная власть страны должна, наконец, признать, что авиация - одна из самых приоритетных направлений деятельности Российского государства. Такая фраза записана в "Основах политики...", но это должно быть Законом! Причина такой необходимости в том, что авиация очень много обеспечивает: и безопасность, и транспорт, и развитие других областей производства, науки, промышленности. При Президенте России необходим Совет по авиации и использованию воздушного пространства страны, чтобы исключить лоббирование антироссийских программ и спекуляцию на этой теме, для обеспечения поддержки отечественных интересов. Необходим одновременно и ряд законодательных актов, связанных с созданием благоприятного климата для деятельности. Прежде всего, это всякого рода экономические льготы для организаций, занимающихся разработками в области высоких технологий. Это затратные и долговременные работы, под которые невозможно брать кредиты в силу как раз их специфики. Кроме того, мы давно уже говорим о создании "самолета содружества независимых государств". Это будет конкурентоспособная современная техника, созданная, прежде всего, для полетов в рамках СНГ. Это требует политического и законодательного решения.

Может быть, я что-то и упустил, но даже перечисленное говорит о положительной динамике в авиационном двигателестроении. Прошедший год - год интеграции, которая просматривается почти во всех происходивших событиях. Мы даже думаем, на нашей выставке, которая откроется 12 апреля 2004 г. в павильоне № 20 ВВЦ, одним из девизов будет: "Интеграция - путь к повышению эффективности моторостроения". Приглашаю всех ваших читателей участвовать в работе этой выставки. **А**





5 декабря 2003 г., буквально накануне выборов в Государственную Думу, московский завод ФГУП "ММПП "Салют" посетил вице-премьер российского пра-

вительства Борис Сергеевич Алешин. Поездка была плановая, ранее состоялись знакомства с другими двигателестроительными предприятиями страны. Многочасовое изучение технического, технологического, научного и конструкторского потенциала завода позволило Б.С. Алешину дать "Салюту", на наш взгляд, достаточно объективную оценку, которую мы и доводим до читателей журнала.

"Завод "Салют" - один из лучших заводов в Москве. Это предприятие имеет лучшие показатели как с точки зрения той техники, которая здесь производится, так и технологий, научного задела, программы переоснащения.



В зале испытательной станции

Сейчас предприятие готово при ограниченном объеме производства выпускать продукцию широкой номенклатуры. Это как раз и отвечает современному требованию рынка заказов. Предприятие уникально не только тем, что сумело за последние годы сохранить потенциал, но и, самое главное, его увеличить.

Что касается самолета пятого поколения, а это является центральной задачей будущего пятилетия, то сроки определены и следует заметить, что задел уже есть как по самолету, так и по двигателю. Самолет должен будет обладать принципиально новыми возможностями. Это будет средний самолет, и он должен будет не только стоять на вооружении российской армии, но и продаваться за рубеж. Все системы самолета должны быть принципиально новыми, в том числе и двигатель. Некоторые характеристики этого двигателя уже прошли этап обсуждения, но говорить конкретно о значениях его параметров не представляется возможным не только по коммерческим соображениям, но и из-за секретности.

По моему мнению, и завод, и его КБ готовы к этой работе. Но в каком объеме, пока говорить

рано. По всей видимости, это будет интеграция с другими предприятиями. Какое предприятие на финишной прямой будет главным, покажет время.

Правительство очень внимательно следит за всем, что делается во всех двигателестроительных центрах, будь то в Перми, Рыбинске и в Москве. Мы внимательно следим за кооперацией "Салюта". Эти три центра должны сами решить, как им жить. Готового решения, кого с кем "сливать" и как делать один моторостроительный комплекс, нет. И думается, что такие решения были бы преждевременными.

Что касается самолетостроительной компании, то следует сказать, что это не будет "братская могила", куда включаются все: и непосредственно самолетостроители, и электронщики, и двигателисты, и т.д. Пример создания РСК "МиГ", по моему, пример неудачного решения. И оно не устраивает правительство, а также многие компании, входящие в этот комплекс, и их смежников. У каждого должен быть свой бизнес".

В заключение краткой пресс-конференции Борис Алешин ответил на вопросы журналистов. **П**

Соб. инф.

18 ноября 2003 г. министр правительства Москвы, руководитель департамента науки и промышленной политики Леонид Алексеевич Пантелеев провел на заводе "Салют" совещание с руководителями предприятий ВПК по проблемным вопросам формирования инвестиционной политики. Был сделан краткий отчет за 2003 г. и рассмотрен проект инвестиционного плана на 2004 г.

Перед совещанием Л.А. Пантелеев ознакомился с заводом. Осмотр был начат с механического цеха, где установлено новейшее оборудование и применяются современные технологии. На одном из станков как раз в это время обра-

батывался по технологии "блиск" один из дисков первой ступени компрессора двигателя АЛ-31Ф.

В сборочном цехе Л.А. Пантелеев осмотрел выставку выпускаемых заводом "Салют" двигателей. Наибольший интерес вызвали такие двигатели как АЛ-31Ф, снабженный соплом с регулируемым вектором тяги, и АИ-222, предназначенный для нового учебно-тренировочного самолета Як-130. Огромный интерес вызвала демонстрация испытания двигателя АЛ-31Ф. На мониторах испытательной станции было видно, как меняет направление вектор тяги на форсаже.

В заготовительном цехе министру показали современное оборудо-

вание, обеспечивающее малоотходное производство. Большое внимание Л.А. Пантелеева привлекла информация о системе подготовки кадров на заводе. Он ознакомился с работой заводского института целевой подготовки специалистов по двигателестроению, осмотрел реконструируемый производственный участок профессионального училища ПТУ-7, обсудил вопросы ускоренной подготовки рабочих кадров в свете решений департамента науки и промышленной политики и заключенных договоров между ФГУП "ММПП "Салют" и правительством Москвы.

Министр дал высокую оценку продукции, выпускаемой заводом, быстрому техническому перевооружению "Салюта", отметил высокий уровень применяемых технологий и оборудования. Л.А. Пантелеев особо подчеркнул значение той работы, которую проводит руководство завода по подготовке и переподготовке кадров, повышению его квалификации. Сегодня на серийном заводе 52 % работников имеют высшее и среднее специальное образование,

здесь работают 12 докторов и 96 кандидатов технических наук.

После осмотра завода было проведено совещание с представителями предприятий ВПК Москвы. На нем, помимо Л.А. Пантелеева и Ю.С. Елисеева, присутствовали: президент "АССАД" В.М. Чуйко, генеральный директор ОАО "Туполев" И.С. Шевчук, генеральный директор ФГУП "Фазотрон" А.И. Канащенков, советник генерального директора АВПК "Сухой" В.И. Маханов и многие другие руководители предприятий, НИИ и КБ.

Участники совещания с большим интересом выслушали доклад Л.А. Пантелеева, выступления Ю.С. Елисеева, А.И. Канащенкова и других участников встречи. В выступлениях была отмечена роль правительства Москвы и его департамента науки и промышленной политики в решении многих проблем, стоящих перед предприятиями Москвы. Особо был отмечен большой личный вклад мэра Москвы Ю.М. Лужкова, регулярно посещающего ФГУП "ММПП "Салют". **П**

Соб. инф.



4 декабря 2003 г. Президент Российской Федерации Владимир Владимирович Путин в сопровождении губернатора Московской области Бориса Всеволодовича Громова посетил ОАО "Коломенский завод". Их принимал генеральный директор ОАО "Коломенский завод" В.Н. Власов.

Свой визит в ОАО "Коломенский завод" Президент начал с осмотра производственных участков машиноборочного цеха, ознакомился с экспозицией пассажирских тепловозов производства Коломенского завода.

На рабочем совещании Владимир Владимирович заявил, что одним из приоритетов транспортной политики является комплексное техническое перевооружение российских железных дорог. "Статистика показывает: за последние пять лет грузооборот здесь вырос на 28%. Более 80% грузовых и свыше 41% пассажирских пе-

ревозок осуществляется железнодорожным транспортом, и задача обновления локомотивного парка является важной в свете обеспечения потребности экономики страны. Сегодня директор показывал новую машину, и мне было очень приятно, что и иностранные партнеры признают результаты деятельности предприятия по отдельным направлениям в качестве лучших в Европе. Мне было приятно видеть это сегодня, прочитав эти оценки: "Самая сильная машина в Европе", "Самая экологически чистая машина в Европе"... Это говорят наши европейские партнеры. И принимают решения на тендерах в пользу вашей продукции".

Выступавший на совещании президент ОАО "Российские железные дороги" Г.М. Фадеев отметил, что "взаимодействие ОАО "РЖД" с Коломенским заводом является одним из примеров плодотворного сотрудни-



чества в реализации транспортной политики России. Коломенский завод мы считаем базовым предприятием, на которое опираемся не только в поставках пассажирских тепловозов и дизелей, но и активно сотрудничаем при разработке пассажирского электровоза и грузового тепловоза".

Во время пребывания в ОАО "Коломенский завод" В.В. Путин посетил музей предприятия, оставил запись в "Книге почетных гостей": "Динамика роста производства, настрой на результаты, опыт и кадры в сочетании с традициями - все это залог будущих успехов Коломенского завода. Желаю успехов!"

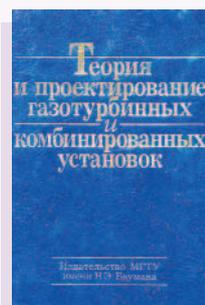
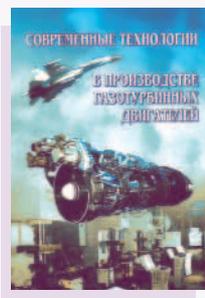
БИБЛИОТЕКА

конструктора и технолога

Проектирование и технология производства газотурбинных двигателей (труды специалистов ФГУП "ММП" "Салют", подготовленные совместно 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 "ММП" "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

ИНФОРМАЦИЯ

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 ГТД: 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 ГТД. 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 ГТД. 1997 г.	110,00
Ю.С. Елисеев, В.В. Крымов, К.А. Малиновский, В.Г. Попов. Технология эксплуатации, диагностики и ремонта ГТД. Учебное пособие. 2002 г.	160,00
В.В. Крымов, Ю.С. Елисеев, К.И. Зудин. Производство лопаток ГТД. 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 ГТД. 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
Н.В. Абраимов, Ю.С. Елисеев, В.В. Крымов. Авиационное материаловедение и технология обработки металлов. Учебное пособие для вузов. 1998 г.	
Информационные технологии в наукоёмком машиностроении. Под ред. А.Г. Братухина. 2001 г.	
Ю.С. Елисеев, В.В. Крымов, К.А. Малиновский, В.Г. Попов, Н.Л. Ярославцев. Надежность и эксплуатационная технологичность авиационных газотурбинных двигателей. Учебное пособие. 2004 г.	
Н.В. Абраимов, Ю.С. Елисеев, В.В. Крымов. Материаловедение. Технология конструкционных материалов. Учебник для вузов. 2004 г.	
Е.Н. Каблов. Литые лопатки газотурбинных двигателей. Сплавы, технологии, покрытия. 2001 г.	1100

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КАК НЕОБХОДИМОЕ УСЛОВИЕ СОЗДАНИЯ НАУКОЕМКОЙ ПРОДУКЦИИ



Юрий Елисеев, генеральный директор ФГУП "ММПП "Салют", д.т.н.

Как уже сообщал журнал "Двигатель", в начале сентября на территории ФГУП "ММПП "Салют" состоялся Международный научно-технический семинар "Прогрессивные технологии для создания газотурбинного двигателя нового поколения". На семинаре выступили генеральные директора и ведущие специалисты крупнейших предприятий авиационного двигателестроения и отраслевых научных центров. В соответствии с решением семинара был составлен перечень критических технологий, освоение которых позволит решить задачу по созданию двигателя нового поколения. Данная статья является первой в серии публикаций, в которых все участвующие в создании нового двигателя расскажут о своих достижениях в этом крайне важном деле.

Надо признать, что Россия отстает от Запада в создании двигателей пятого поколения, которые уже есть в США и Европе. У нас уже много лет ведутся только разговоры, хотя первое постановление о создании двигателя АЛ-41Ф вышло в свет более 20 лет назад. И хотя многие идеи, заложенные в этот двигатель, реализованы в АЛ-31Ф, в полном объеме выполнить техническое задание на разработку двигателя пятого поколения не удалось. Можно привести множество объективных и субъективных причин, помешавших созданию двигателя, но из-за давности лет даже эти невыполненные требования уже устарели.

Анализ развития авиационного двигателестроения на нашем предприятии, начиная с двигателя первого поколения РД-45, показывает, что повышение параметров двигателя как абсолютных, так и удельных, обеспечивалось постоянным ростом π_k и T_r^* и связанным с этим применением более жаропрочных сплавов, а затем и охлаждаемых турбинных лопаток. Одновременно росли и трудозатраты, причем значительно. В современных условиях нельзя требовать создания двигателя любой ценой. Вопрос экономики всех ресурсов выдвигается на первое место.

В общем можно сказать, что двигатель пятого поколения должен отличаться от своего предшественника следующим:

- значительным улучшением удельных параметров;
- увеличением ресурса, надежности и эксплуатационной надежности;
- снижением затрат на создание, изготовление и эксплуатацию.

Следует заметить, что эти требования не являются какими-то исключительными, они формулируются при создании каждого но-

вого двигателя, но сейчас ситуация особая. Во-первых, удельные параметры необходимо улучшить не на единицы, а на десятки процентов. Во-вторых, в конструкции двигателя пятого поколения будут применяться совершенно новые материалы. В-третьих, необходимо остановить рост стоимости двигателя от поколения к поколению, так как при сохранении существующей тенденции двигатель не выдержит конкурентной борьбы. И, в-четвертых, из-за наметившегося отставания от западных фирм следует сжимать сроки разработки. Выход может быть найден только в использовании новых организационных принципов создания двигателя.

Известно, что раньше были разработчики двигателей (КБ генеральных конструкторов, например, А. Люлька, Н. Кузнецова и других). Эти КБ свои чертежи передавали на филиал при серийном заводе (у завода "Салют" таким филиалом было МКБ "Гранит"). Далее чертежи попадали в серийные конструкторские отделы завода. И только потом чертеж детали поступал для технологической проработки в отделы главных специалистов и цехи. Эта многоступенчатость приводила к потере темпов создания техники.

Сегодня наблюдается тенденция слияния КБ и серийных заводов. Хорошо известно, что за рубежом практика объединения в одном лице разработчика и производителя считается нормальной. Необходимо и нам концентрировать усилия и материальные возможности в одних руках для разработки, технологической проработки, производства и поддержки эксплуатации авиационных двигателей. Должно появиться юридическое лицо, взявшее на себя полную ответственность за весь жизненный цикл изделия. Это теперь понятно многим, даже бывшим оппонентам инициативе завода "Салют", критиковавшим идею развертывания нового КБ в

Развитие авиационных ГТД

Поколение	Типичный представитель	Температура газов на входе в турбину, К	Тяга двигателя, кгс	Удельная тяга двигателя, кг/кгс	Ресурс до первого ремонта, ч
I	РД-45	900...1100	2270	0,35...0,6	100
II	АЛ-7Ф	1200...1275	9600	0,18...0,22	300
III	АЛ-21Ф	1350...1450	11 300	0,14...0,18	400
IV	АЛ-31Ф	1650...1680	12 500	0,12	300
V	АЛ-41Ф	1750...1900	-	0,1...0,08	-

Структура трудоемкости изготовления двигателя АЛ-31Ф



Материалы, применяемые в производстве ГТД				
Материалы		Поколения двигателей		
		II	III	IV
Жаропрочные сплавы и стали	%	26	41	58
	Марки	ЭИ-437БУ 18ХНВА	ЭП-742ИД ЭИ-698ВД	ЖС-64 ЖС-32
Нержавеющие стали	%	26	12	12,6
	Марки	ЭИ-961	ЭП-517Ш ЭИ-961Ш	ЭИ-961Ш
Титановые сплавы	%	5,5	11,5	31
	Марки	BT3-1	BT-9, BT-5-1 BT-18	BT-18У BT-20
Алюминиевые сплавы	%	7,3	1,8	0,28
	Марки			

составе нашего ФГУП. Другой путь сводится к объединению КБ и серийного завода, как это произошло в случае с КБ "А. Льюка-Сатурн" и "Рыбинскими моторами".

На ММПП "Салют" создано собственное КБ, в которое вошло КБ "Гранит". К заводу присоединился и институт НИИД. В результате образовалась мощная конструкторская и технологическая база, есть и отлаженное, сертифицированное производство. Если этих трех составляющих не будет, то и идея о создании новой, наукоемкой продукции в заданные сроки с высоким качеством и с минимальными затратами станет мечтой идеалиста.

Сегодня ФГУП "ММПП "Салют" - это и завод, и КБ, и большой институт одновременно. И только так следует подходить к созданию новых двигателей. Наличие этих составляющих дает возможность претендовать на создание чего-то нового. В противном случае потребуются большие деньги, громадные сроки, а вероятность успешного создания двигателя, отвечающего высоким требованиям по надежности, ресурсу и т.д., будет минимальной. Сейчас главное - не упустить время.

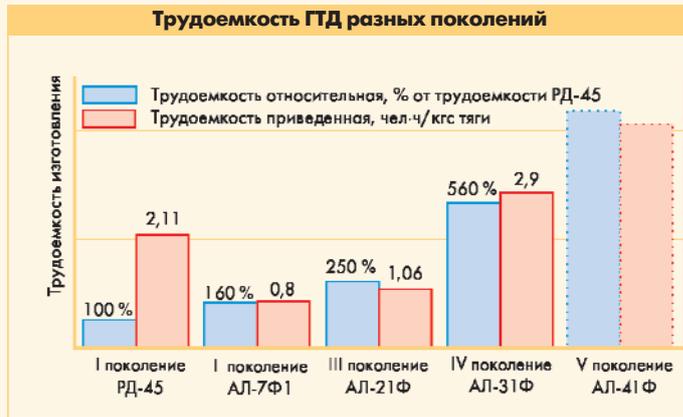
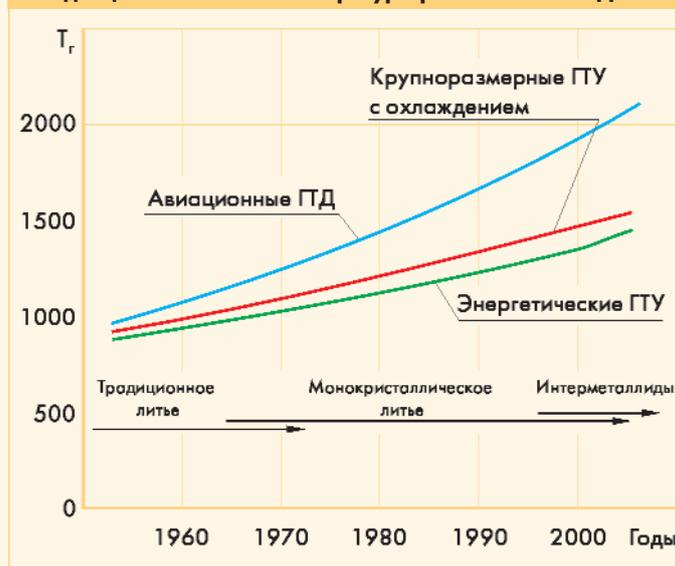
Следует понимать, что технология - это только часть проблем, стоящих перед разработчиками при создании двигателя нового поколения. Но ей принадлежит главная, основная, ведущая роль среди всех составляющих при создании ГТД.

К примеру, сегодня широко используется вычислительная техника, созданы современные методики расчетов, проектирования. На "Салюте" у конструкторов нет кульманов. Все расчеты от обвязки двигателя до расчетов газодинамического тракта выполняются на компьютерах. Можно сказать, что конструкторский труд на 100% автоматизирован. Это позволяет в разы сократить сроки создания новых изделий и значительно снижает вероятность совершения каких-либо ошибок и принятия неоптимальных решений при проектировании узлов двигателя.

К сожалению, сегодня пока нет возможности в такой степени автоматизировать разработку новых технологических процессов. А задача определена:

Обработываемость материалов, применяемых в конструкции ГТД		
Материалы	Марки материалов	Коэффициент относительной обработываемости материалов по сравнению со сталью 45
Нержавеющие и жаропрочные стали	1X12H2BMФ (ЭП961)	0,6
	ЭП537Ш, ЭП961Ш	0,26...0,3
	Титановые сплавы	0,35...0,48
Жаропрочные никелевые сплавы: - деформируемые	ВТ-1, ВТ-5, ВТ-5-1 ВТ-6, ВТ-20, ВТ-22	0,22...0,26
	ХН77ТЮР (ЭП437Б) ХН37МБТЮ (ЭП698ВД) ЭП742ПД, ЭП767	0,14...0,22
- литейные	ЖС6КП, ВЖЛ12-У ВЖ36-Л2, ЖС32-ВП	0,07...0,035

Тенденция повышения температуры рабочего тела ГТД и ГТУ



требуется найти такие технологии, которые позволили бы создать двигатель, способный конкурировать на любом рынке. С молотком и зубилом этого сделать невозможно.

Основных направлений совершенствования параметров двигателя и, соответственно, технологических процессов достаточно много. Например, считается, что температура газов перед турбиной двигателя пятого поколения должна быть доведена до 1900...2000 К (есть мнение о целесообразности еще большего ее повышения). Но лопаток, способных работать при таких температурах, не существует. Новый двигатель будет и более теплонапряженным. Это обусловлено и прямым повышением температуры газов

перед турбиной, и тем, что из-за роста удельных параметров еще больше возрастают нагрузки на отдельные элементы, детали и узлы. Раньше решение проблемы искали в применении новых материалов, новых покрытий и различных способов упрочнения. Сегодня этого недостаточно. Почти все элементы таблицы Менделеева уже перепробованы, в том числе и редкоземельные. Необходим пе-

реход к принципиально новым материалам, таким как керамика, необходимы новые открытия в физике и химии, такие, например, как самораспространяющийся высокотемпературный синтез.

Основные направления создания перспективных технологических процессов можно разделить на несколько групп. К одним можно отнести совершенствование технологий изготовления отдельных элементов конструкции двигателя, таких как лопатки турбины и компрессора, камеры сгорания и т.д. Другая группа охватывает технологии, которые связаны с заготовительным производством и контролем точности. Здесь особо следует отметить роль информационных технологий, которые пронизывают всю структуру производства и без которых оно уже эффективно существовать не может.

В короткой статье невозможно подробно остановиться на каждой проблеме, поэтому ограничимся кратким описанием того, что удалось достичь и в каком направлении следует искать пути решения проблем.



Контрольно-измерительная машина с ЧПУ, установленная в механическом цехе

1. Лопатки турбины. Из перспективных технологических процессов, обеспечивающих возможность длительной работы лопаток компрессора при высокой температуре, можно выделить метод направленной кристаллизации и монокристаллическое литье. Повышение температурного градиента на фронте кристаллизации до 200 °С/см, по данным ВИАМ, уменьшает размер жидкотвердой области, что обеспечивает получение более однородной, тонкодендритной структуры с меньшей дендритной ликвиацией, меньшим размером упрочняющих фаз и выделенной γ/γ' -фазы, меньшей пористостью. Все это повышает усталостную прочность литейных никелевых сплавов на 15...20 %. К критическим технологиям в производстве лопаток можно также отнести обработку рабочих поверхностей замка методом глубинного шлифования, получение охлаждающих отверстий малого диаметра и большой глубины методом струйной электроэрозионной обработки, защиту наружных и внутренних поверхностей лопаток от газовой коррозии и воздействия высоких температур путем нанесения современных покрытий.

И вместе с тем, для того, чтобы выйти на более высокие температуры, требуется повышение эффективности охлаждения лопаток благодаря применению проникающего (транспирационного) охлаждения, что позволит увеличить температуру газа перед турбиной до 2200 К.

Еще одним направлением обеспечения ресурса охлаждаемых лопаток турбин является использование защитных покрытий, которые предохраняют поверхность внутренней полости и внешней поверхности от высокотемпературного окисления. Предстоит разработать новые способы комплексного легирования, обеспечивающие одностадийный процесс формирования покрытий. В настоящее время одним из таких методов является метод газовых циркуляционных покрытий, который может применяться для защи-



Участок станков с ЧПУ в цехе производства шестерен

ты поверхности охлаждающих отверстий лопаток с конвективно-пленочным и проникающим охлаждением.

2. Лопатки компрессора. Одним из направлений совершенствования технологии производства лопаток компрессора, имеющих длину пера до 140 мм, можно считать штамповку "в размер". Последующей механической обработке подвергается только хвостовик лопатки на станках с ЧПУ. Это на сегодня самая дешевая технология. Альтернативой данной технологии является электрохимическая обработка пера, причем пера с большой закруткой и широким профилем. Трудоемкость изготовления лопатки по этой технологии сопоставима со штамповкой.

3. Зубчатые колеса. Это третьи по значимости и нагруженности детали двигателя, от качества которых зависит ресурс двигателя. Точность изготовления шестерен достигла 4 и 5 степени, но надежность их работы зависит от состояния поверхностного слоя, который в основном формируется в процессе химико-термической обработки. Радикальным средством улучшения качества зубчатых колес и повышения ресурса их работы является применение новых высокоэффективных технологических процессов:

- глубинного шлифования - нового процесса зубонарезания и финишной обработки зубчатых колес;
- ионной химико-термической обработки, включающей процессы ионной цементации и нитроцементации, а также ионного азотирования. При такой обработке резко повышаются несущие свойства поверхности зубчатых колес.

Немаловажное значение при изготовлении зубчатых колес для редуктора двигателя имеет и применяемое оборудование.



Машинный центр с набором из 180 инструментов

Раньше для изготовления одного редуктора требовалось до десяти единиц оборудования и 12 рабочих. А так как коробка имеет более 1500 мерных размеров, то здесь существовала возможность совершения ошибки. По новой технологии используется только одна единица технологического оборудования и один оператор. А это еще один технологический способ обеспечения качества зубчатых передач.

4. Механическая обработка. Более 60 % трудоемкости изготовления двигателя четвертого поколения составляет механическая обработка. Это наиболее длительные и трудоемкие процессы, через которые проходят практически все детали. И здесь заложен главный резерв в повышении эффективности производства. К основным направлениям следует отнести автоматизацию механической обработки (на заводе 600 единиц различного оборудования с ЧПУ) и максимальную концентрацию операций на одном рабочем месте. Уже существуют машинные центры, на которых деталь обрабатывается точением (причем возможна обработка одновременно двумя резцами по разным программам), фрезерованием, сверлением, шлифованием.

Сегодня оборудование определяет не только технологию изготовления двигателя, но и его конструкцию. Только наличие стан-

ка Turboblisk фирмы Liechti позволило приступить к проектированию и изготовлению моноколеса нового компрессора двигателя АЛ-31ФМ.

Во многих случаях целесообразна замена механической обработки электроэрозионной или электрохимической, лазерной или плазменной. Как уже неоднократно упоминалось, все это оборудование оснащено ЧПУ. Широкое применение оборудования с ЧПУ хорошо вписывается в общую стратегию компьютеризации производства. Это обеспечивает кратчайший путь от мысли конструктора через проектно-конструкторские работы, технологическую подготовку производства непосредственно к изготовлению продукции и контролю параметров на измерительных машинах. В перспективе можно говорить о внедрении компьютерной сборки и автоматических испытаниях двигателей (на испытательной станции не будет моториста, двигающего РУД).

5. Упрочнение и покрытия. Этот вид обработки необходим для того, чтобы помочь материалу деталей выдержать большие нагрузки и температуры. Диффузионные, кондиционные и комбинированные покрытия уже позволили решить некоторые проблемы, но нерешенных задач еще очень много, и для движения вперед необходимо привлечение академических институтов РАН.

6. Неразъемные соединения. На современном двигателе общая протяженность сварных соединений составляет от сотен метров до нескольких километров. К основным требованиям к таким соединениям можно отнести равнопрочность (иногда и более высокую прочность шва) и качество. Определенную сложность на сегодня представляет контроль качества сварных соединений. Необходим поиск новых способов получения неразъемных соединений, а также совершенствование технологии существующих, например, сварки трением.

7. Совершенствование методов контроля точности изготовления. На двигателе столь большое количество размеров, что их вручную проконтролировать невозможно. Да и человеческий фактор необходимо исключить. В этих случаях только применение координатно-измерительных машин, создание лабораторий для измерения всех деталей в процессе их производства позволит повысить качество и поднять производственную дисциплину.

8. Разработка новых материалов. Для изготовления целого ряда деталей двигателя пятого поколения требуются новые уникальные материалы, обладающие заранее заданными свойствами, причем разными в разных точках детали, например по теплопроводности или по твердости. Это возможно при использовании новых технологий, в том числе и самораспространяющегося высокотемпературного синтеза. У этого направления хорошие перспективы, так как из материалов, полученных в результате СВС, возможно получение, например, керамических лопаток. Эти же технологии позволяют получать специальные порошки, которые при их нанесении на детали могут резко повысить температурную стойкость.

9. Новые виды обработки. Свойства и качества деталей определяются не только механической обработкой, но и термообработкой, химико-термической обработкой, вакуумной термообработкой, ионными процессами химико-термического упрочнения детали.

Еще одним направлением получения новых свойств деталей является использование порошковой и гранульной металлургии. Перспективно внедрение специальных станков для горячей раскатки дисков, при этом получается иная структура материала диска и повышаются прочностные характеристики материала диска. Немаловажно и то, что при этом повышается коэффициент использования металла.

К новым методам обработки следует отнести и электроэрозионные и электрохимические методы. Основным их достоинством является то, что при этом возможна обработка деталей из материалов, твердость которых практически не уступает твердости инструмента. Первоначально электроэрозия в основном и использовалась в инструментальном производстве. Теперь она все чаще используется в основном производстве. Ранее уже упоминалось применение электроэрозии для прошивки в лопатках турбины охлажда-



Обработка моноколеса компрессора двигателя на станке "Турбоблиск"

ющих отверстий малого диаметра и большой глубины. Причем современные электроэрозионные станки оснащены системами ЧПУ.

10. Информационные технологии. Этот вид технологии, по сути своей, не должен стоять последним в перечне. Как уже упоминалось, информационная технология существует на каждом этапе жизненного цикла двигателя. А на этапе создания двигателя пятого поколения роль информационных технологий возрастает многократно.

В последнее время информационные технологии развиваются чрезвычайно быстро. Причем развитие идет по нескольким путям. Это и появление все более мощных компьютерных систем, это и появление всевозможных программ, охватывающих все этапы жизненного цикла двигателя. Сюда же можно отнести и рост мощности компьютерной сети предприятий. Например, если в 1996 г. на заводе "Салют" было всего 50 персональных компьютеров, то к началу 2003 г. их насчитывалось более 2500.

В этой статье перечислена незначительная часть стоящих перед двигателестроителями проблем, связанных с освоением новых технологий при создании двигателя пятого поколения. Некоторые из них уже близки к разрешению, для решения других нащупываются пути, но есть и те, над которыми предстоит серьезно поработать. В одиночку ни одному предприятию России с этим не справиться, необходимо объединение интеллектуальных и финансовых ресурсов. Московский завод "Салют" готов к такому сотрудничеству и призывает другие предприятия и организации включиться в эту сложную, но крайне важную работу.

Только концентрация усилий предприятий и КБ, финансовых и интеллектуальных возможностей при неременном условии поддержки государства позволит в кратчайший срок ликвидировать наметившееся отставание в создании двигателей нового поколения. **П**



Рабочие места одного из заводских КБ

СОВЕРШЕНСТВО ДВИГАТЕЛЯ



Валерий Гейкин, руководитель НТЦ "НИИД", д.т.н.

определяется СОВЕРШЕНСТВОМ ТЕХНОЛОГИЙ

Основным направлением в разработке технологии для создания газотурбинного двигателя (ГТД) нового поколения является формирование опережающего научно-технического задела, обеспечивающего сокращение в 3...4 раза сроков и стоимости этапов разработки и освоения производства двигателя.

Основу технологического задела для создания перспективных ГТД должны составлять работы, направленные на разработку технологических процессов создания высокотемпературных легких турбокомпрессоров; вентилятора с блиск-ступенями; элементов статора из композиционных материалов на полимерной и металлической матрицах; сегментной жаровой трубы; щеточных уплотнений; гибридных и керамических подшипников качения, рабочих лопаток турбин, в том числе охлаждаемых из интерметаллидов на основе никеля и ниобия; широкоходных лопаток вентилятора, блисков компрессоров из композиционного материала; элементов сопла и форсажной камеры из композитов на керамической матрице; экологически чистых высокотемпературных двустенных камер сгорания большого ресурса; разработку новых ресурсосберегающих технологий и высокопроизводительного оборудования с целью получения заготовок из различных, в том числе труднообрабатываемых, материалов; новых высокоэффективных экологически чистых технологий для нанесения многофункциональных, в том числе термобарьерных, покрытий для рабочих и сопловых лопаток турбин, створок и экранов сопла; перспективных технологий получения неразъемных соединений роторных и корпусных конструкций методами сварки и пайки; технологии восстановления поврежденных монокристаллических отливок лопаток ТВД и блоков сопловых лопаток с сохранением монокристаллическости; ремонт блисков вентиляторов компрессоров, турбин и др.

Способность промышленности в современных условиях эффективно развиваться определяется возможностью сокращения

сроков проектирования новых изделий и разработки прогрессивных технологических процессов для их изготовления. Одним из важных направлений в этом процессе является интеграция систем автоматизированного проектирования и автоматизированной технологической подготовки производства новых газотурбинных двигателей.

Эффективность системного подхода к решению задач технологической подготовки и производства деталей из листовых материалов и труб можно показать на примере работы автоматизированного лазерного технологического комплекса BYSTAR-3015 (фирмы BYSTRONIC, Швейцария), внешний вид которого показан на рис. 1. Толщина разрезаемого металла для сталей - до 20 мм, алюминиевых сплавов, титана - 4...6 мм. Зона обработки 3000x1500 мм. Диаметр обрабатываемых трубных заготовок - до 340 мм. Точность обработки составляет $\pm 0,1$ мм/м при скорости резания до 50 м/мин. СС-лазер мощностью 3000 Вт работает в различных режимах: непрерывный, генерация суперимпульсов, нормальный импульсный режим. Перевод лазера из одного режима работы в другой в процессе раскроя выполняется автоматической системой программного управления. Лазерное излучение подается из стационарного резонатора через систему зеркал в подвижную режущую головку. Сфокусированный луч режет неподвижное изделие, масса которого не влияет на точность и динамику процесса. Жесткая система крепления резака и фокусирующая система приводятся в движение непосредственно парой: зубчатая рейка - шестерня без дополнительных редукторов, что позволяет работать с высокими ускорениями и сократить общее время обработки при высокой точности. Загрузка стола листовым материалом осуществляется автоматически с помощью манипулятора.

Два стола челночного типа позволяют максимально использовать время работы лазерного комплекса и, тем самым, существенно повысить производительность. После окончания процесса раскроя разрезанный лист автоматически переносится челночным столом в зону разгрузки. Встроенный конвейер удаляет мелкие фрагменты, которые опускаются на него через решетку стола. В состав программного обеспечения лазерного технологического комплекса встроены специальные модули, позволяющие производить обмен информацией с абонентами компьютерной сети предприятия.

Важным направлением в создании научно-технологического задела является разработка новых технологий получения высококачественных заготовок дисков турбины и компрессора. Традиционные методы получения заготовок дисков штамповкой на молотах и прессах не являются эффективными из-за больших потерь на напуски, припуски и облой. Изотермическая штамповка позволяет увеличить коэффициент использования материала и точность размеров дисков. Однако данный метод требует применения энергоемкого оборудования и металлоемкого штампового инструмента для каждого типоразмера диска. Кроме того, в последнем случае применяются блоки нагрева, отличающиеся высокой стоимостью и энергоемкостью.



Рис. 1. Установка для лазерного раскроя листовых материалов

Применение методов локального формообразования в изотермических условиях с использованием эффекта сверхпластичности существенно расширяет технологические возможности процесса, в том числе за счет резкого снижения мощности оборудования, трудозатрат и материалов заготовок. Анализ существующих методов формообразования, свойств получаемых заготовок позволил рекомендовать для промышленного освоения метод изотермической раскатки дисков на стане АЛРД-800.

На стане АЛРД-800 осуществляется процесс раскатки дисков в режиме сверхпластичности. Исходной заготовкой является шайба с нанесенным покрытием типа ЭВТ35, с подготовленной ультрамелкозернистой структурой. Процесс формообразования диска осуществляется в нагретой печи. Существующая конструкция стана АЛРД-800 позволяет устанавливать заготовку в нагретую печь с помощью манипулятора, который способен обеспечить захват заготовки со специально предусмотренного для этих целей стапеля из дополнительных печей для предварительного нагрева. В этом случае время прогрева заготовки сокращается до 10...20 минут. Нагрев осуществляется от тиристорного регулятора, ступенчато или плавно, до температуры деформации 800...1200 °С. При этой температуре заготовки выдерживают до полного прогрева по всему объему. После предварительного нагрева заготовку перемещают в печь для формообразования и зажимают между двумя шпинделями. Раскатные ролики устанавливают в исходную позицию, т.е. подводят к раскатываемой заготовке до касания и отводят к двум основным координатам с учетом возможного температурного расширения, удлинения роликов и перемещения шпинделей при опрессовке. После выравнивания температуры в печи осуществляется опрессовка заготовки пинолями, окончательный подвод роликов в исходную позицию, заготовке придается холостое вращательное движение и одной или двумя парами роликов осуществляется формообразование. Процесс раскатки может осуществляться поперечным и продольным перемещением роликов одновременно или по отдельности. При раскатке обеспечивается подъем реборд, лабиринтных уплотнений, оформление полотна и обода диска. После окончательного формообразования заготовки ролики выводятся за пределы заготовки диска, а сама заготовка, закрепленная на оправке, удаляется манипулятором из зоны деформации после разжима шпинделей.

Изотермическая раскатка обеспечивает получение дисков, наружный диаметр которых в 1,5...2 раза превышает диаметр заготовки. Использование эффекта сверхпластичности, благоприятная схема напряженно-деформированного состояния в очаге деформации способствуют увеличению технологической пластичности и улучшению качества изделий. Это особенно важно при деформировании сплавов с ограниченным ресурсом пластичности и узким температурным интервалом горячей обработки. Экономичность изделия определяется возможностью управления поперечными размерами в широком диапазоне их соотношений и получения профиля, максимально приближенного по форме и размерам к окончательной детали с минимальными отходами. Требования к деталям, подлежащим обработке на линии: Наименование деталей: диски турбин и компрессоров из титановых и жаропрочных сплавов на основе никеля и железа, включая порошковые сплавы.

Предельные параметры дисков:

- наружный диаметр - 400...800 мм;
- высота (толщина) ступицы - 20...150 мм;
- высота (толщина) полотна - 10...60 мм;
- масса заготовок - 50...250 кг.

В перспективных изделиях повышаются требования к лопаткам и ставятся новые задачи в технологии их обработки. Так, например, появилась необходимость обработки лопаток, которые имеют сложную пространственную конфигурацию, высокую геометрическую точность и низкую жесткость конструкции, что делает невозможным обработку этих лопаток механическими методами.



Рис. 2. Трехступенчатый ротор с блиск-ступенями

Перспективным с этой точки зрения является применение новых методов электрохимической обработки (ЭХО). Речь идет об электрохимической обработке с применением импульсных режимов и новых технологических схем. Для получения проточной части лопаток методом ЭХО применяют "круговую схему обработки", подачу электродов-инструментов под углом. Проведенные в последние годы исследования показывают принципиальную возможность достижения высокой точности копирования ЭХО и получения высокого качества поверхности, практически без измененного слоя (0,5...2,0 мкм). Однако для широкой промышленной реализации этих процессов требуется оборудование нового поколения с повышенной конструктивной точностью, специальные импульсные источники питания, новые технологические схемы обработки.

Учитывая вышеизложенное, совместно со специалистами Казанского моторостроительного производственного объединения был создан станок для электрохимической обработки лопаток.

Станок оснащен импульсным источником питания, системами автоматического управления процессами обработки и переработки и утилизация шлама. Конструктивными особенностями станка является высокая точность подачи электродов. Для обеспечения возможности отработки всей проточной части лопаток рабочие привода должны располагаться под углом к оси лопатки.

Точность позиционирования электродов должна быть не хуже 0,005 мм. Эта точность достигается последовательностью построения моделей электродов с применением CAD/CAM системы Cimatron. Модели электродов строятся исходя из следующих предпосылок:

При обработке на станке электроды формируют одновременно окончательный по точности профиль пера со стороны спинки и корыта, трактовую поверхность (полку) лопатки и радиус сопряжения пера с полкой.

Для получения требуемой шероховатости и внешнего вида поверхности после операции ЭХО возможно применение безразмерной полировки со снятием припуска до 0,01 мм.

Точность по профилю пера обрабатываемых лопаток - ±0,03 мм. Точность по полке - ±0,1 мм.

Получение кромок требуемой точности при их радиусах меньше 0,8...1,0 мм невозможно, поэтому при малых радиусах кромок делается расширение по хорде лопатки на 0,5...1,2 мм и после операции ЭХО кромки лопаток дорабатываются механически. Величина расширения уточняется при корректировке профиля.

Номинальный рабочий зазор между электродами и обрабатываемым профилем составляет 0,2 мм. Исходя из этого, первичная модель электродов строится по эквидистанте к обрабатываемому профилю на величину 0,2 мм. Однако в силу нестабильности процесса ЭХО (большое соотношение максимального и минимального припуска Z_{max}/Z_{min} , недостаточный припуск для выравнивания, влияние гидродинамики течения электролита в межэлектродном промежутке) приводят к тому, что качественная лопатка при при-

менении электродов, построенных с учетом только эквидистанты, не получается. Поэтому требуется корректировка профиля электродов по результатам пробных обработок лопаток.

Следует учитывать, что на станке с ЧПУ не могут быть обработаны с требуемой точностью участки модели, на которых радиус кривизны вогнутых поверхностей меньше радиуса обрабатывающего инструмента.

Одной из тенденций в авиационном двигателестроении является применение рабочих моноколес (рис. 2), которые имеют существенные преимущества по сравнению со сборными конструкциями. Вместе с тем возникает проблема с ремонтом моноколес.

Получение лопаток высокой точности ставит задачу контроля их геометрических параметров. Обычно контроль проводят с помощью визуальных шаблонных приборов и прибора типа ПОМКЛ. На каждую операцию с изменением припуска изготавливается соответствующий шаблонный прибор. Погрешность измерений шаблонных приборов составляет 0,03...0,05 мм, а прибора типа ПОМКЛ - до 0,1 мм. Ресурс шаблонных приборов - от полугодя до 2 лет. Обычно изготавливают 2-3 комплекта шаблонных приборов на каждый типоразмер, что пропорционально увеличивает затраты. Кроме того, для проверки самих шаблонов дополнительно требуются контршаблоны. Общее количество шаблонных приборов на один двигатель доходит до сотен комплектов.

Совместно с фирмой "ОПТЭЛ" (Уфа) создаются и внедряются на предприятии лазерные системы, позволяющие контролировать геометрию лопаток после круговой электрохимической обработки.

Системы предназначены для бесконтактных измерений профиля геометрических параметров практически любых изделий сложной формы, выполненных из различных материалов, в том числе из хрупких и мягких: компрессорных и турбинных лопаток ГТД, пресс-форм, стержней, восковых и гипсовых моделей и т.д.

Системы "ОПТЭЛ" имеют в своем составе управляемые от компьютера высокоточные координатный и поворотный столы и развитое специализированное программное обеспечение для контроля геометрии изделий сложной формы. Последние версии систем также обеспечивают точные измерения малых радиусов кромок (с радиусами менее 1...0,03 мм) и проведение автоматических измерений за одну установку лопаток при их автоматическом вращении.

Системы "ОПТЭЛ" характеризуются:

- возможностью проводить бесконтактные быстрые автоматические измерения трехмерных объектов;
- автоматизацией трудоемких измерений, исключением субъективности и обеспечением 100 % контроля ответственных изделий ГТД с регистрацией результатов в базе данных;
- количеством контролируемых точек - от одной до тысячи;
- временем измерения одного сечения - до 2...5 с;
- диапазоном измерений - до 1800x929x300 мм;
- высокой разрешающей способностью - 0,001 мм;



Рис. 3. Ротор компрессора ДЖ-59 после электронно-лучевой наплавки

- высокой точностью - погрешность менее 0,01 мм;
- высокой гибкостью: измерения сотен типоразмеров изделий проводятся в соответствии с электронным чертежом (математической моделью) изделия с временем перехода на другой типоразмер менее 1 мин.

Высокоточные и быстродействующие системы "ОПТЭЛ-Л", включающие в себя специализированное математическое и программное обеспечение для отечественных пользователей, выполняют измерение фактических размеров профиля изделий и сравнивают с заданными по чертежу (математической моделью), с оптимизацией определения смещения и углового разворота профиля сечений, с созданием базы данных.

При контроле лопаток автоматически измеряются профили пера спинки и корыта, а также входных и выходных кромок, включая определение их радиусов (от 0,02...0,03 мм). Кроме этого имеется режим измерения геометрических параметров и замковой части (хвостовика) лопатки.

Автоматическое базирование по координатным осям изделий в зависимости от конкретного исполнения может осуществляться как по базировающим элементам, так и по базовым поверхностям изделия, например, по замку (хвостовику) лопатки, а также по эталонным точкам или сечениям фактического профиля (например, для турбинных лопаток это спинки, корыта, среднее между ними или точки полок).

Системы позволяют измерять смещения и развороты профилей сечений, а также форму и радиусы входных и выходных кромок изделий с выдачей этих значений на экране в текстовом и графическом видах. Результаты измерений отображаются в наглядной форме на дисплее, а также могут быть оформлены на бумаге в нужном для пользователя виде (графики, таблицы, протоколы измерений, статистические данные, отчетные формы и т.д.). Результаты измерений автоматически сохраняются в памяти компьютера в виде файла, что позволяет создать базу данных по различным изделиям. Кроме этого возможно проведение и сопоставление повторных измерений изделий после дополнительных воздействий, в том числе обработки, механических нагрузок и пробной эксплуатации.

Таким образом, технология изготовления лопаток методом круговой ЭХО отвечает современным требованиям автоматизации производства и вписывается в CALS-технологии.

На начальных этапах электроэрозионная обработка (ЭЭО) получила наиболее широкое применение в инструментальном производстве при изготовлении ковочных и вырубных штампов, пресс-форм, различного инструмента.

Однако в настоящее время ЭЭО все шире внедряется в основном производстве ГТД. Это обусловлено несколькими причинами:

- по своим физико-механическим свойствам современные конструкционные жаропрочные материалы приближаются к свойствам инструментальных материалов, стойкость режущего инструмента, применяемого для обработки деталей, мала;
- возможность получения элементов конструкций двигателя, которые невозможно получить другими методами обработки;
- для повышения тяги, ресурса ГТД в их конструкции находят все возрастающее применение охлаждаемые перфорированные детали;
- резкое улучшение технических характеристик электроэрозионного оборудования, позволяющих получать высокую точность и качество обрабатываемых деталей;
- автономность работы оборудования, т.е. будучи запрограммирован один раз, станок не требует присутствия оператора.

Наиболее характерным примером разработанного и внедренного технологического процесса при обработке деталей ГТД является высокопроизводительная струйная электроэрозионная обработка глубоких отверстий диаметром 0,2...2,0 мм.

Для повышения эффективности охлаждения отверстия в лопатках имеют тенденцию к уменьшению диаметров до 0,2...0,5 мм, увеличению соотношения глубины отверстия к диаметру и вход от-

верстий в обрабатываемую поверхность осуществляется под острыми углами.

Традиционными методами ЭЗО изготавливают отверстия диаметром 0,4...1,2 мм при соотношении глубины к диаметру менее 10. Поэтому эти методы ЭЗО не могут быть использованы для получения глубоких отверстий малого диаметра. Другие методы (в том числе механические) также не могут быть применены для этих целей, учитывая геометрические размеры, расположение отверстий и то, что материалы деталей двигателей имеют высокие физико-механические характеристики.

В результате проведенных исследований были определены условия обработки глубоких отверстий (до 30...50 мм) диаметром 0,2...2,0 мм в указанных деталях методом струйной электроэрозионной обработки.

Суть струйной ЭЗО заключается в электроэрозионной обработке глубоких отверстий трубчатыми электродами, через которые прокачивается диэлектрическая жидкость под высоким давлением. В качестве рабочей жидкости используются диэлектрические жидкости на водной основе или на основе углеводородного сырья. Это позволяет получать наряду с высокой производительностью хорошее качество поверхности.

Анализ существующих конструктивных решений и технологических процессов в производстве ГТД показал, что одним из путей повышения качества и технологичности конструкций, коэффициента использования металла, снижения трудоемкости изготовления изделий является применение сварных и паяных конструкций. Так, например, общая протяженность сварных и паяных швов в современном ГТД составляет более 1000 м, поэтому их высокое качество во многом определяет ресурс и надежность двигателя.

При производстве роторных конструкций из жаропрочных титановых и никелевых сплавов успешно используется электронно-лучевая сварка как на отечественном оборудовании, так и на автоматизированных комплексах типа EBOCAM-KS120-G150K фирмы "Штайгервальд-Штральтехник" (Германия). ЭЛС благодаря возможности достижения высокой плотности энергии в пятне нагрева, надежной вакуумной защите металла сварочной ванны, малому объему расплавленного металла, кратковременности теплового воздействия при сварке обеспечивает незначительные деформации соединяемых деталей и имеет значительные преимущества по сравнению с традиционными методами сварки плавлением. Однако с уменьшением размеров новых двигателей возникают проблемы с удалением корневой дефектной части швов из-за ее труднодоступности. Таким образом, одной из задач получения неразъемных соединений дисков роторов перспективных ГТД является разработка технологии ЭЛС с формированием обратного валика без последующей механической обработки корня шва.

Для более надежного формирования обратного валика швов роторов из титановых сплавов типа BT9 и BT20 толщиной 5...16 мм использовалась сварка горизонтальным пучком электронов в горизонтальной плоскости на сварочной установке EBOCAM-KS120-G150K с ускоряющим напряжением до 150 кВ.

Ремонт деталей и узлов ГТД является одним из важных направлений использования различных методов сварки и пайки. Однако применение сварки в процессе ремонта требует последующей термической обработки для снятия остаточных напряжений и для получения необходимых механических свойств. Как показывает практика, общая печная термическая обработка не всегда возможна из-за больших габаритов изделий, нарушения геометрических размеров конструкций. Данная проблема может быть решена применением локальной термической обработки электронным лучом.

На рис. 3 показан внешний вид ротора компрессора газотурбинного двигателя ДЖ-59 из жаропрочной стали типа 13X11H2B2MФ (ЭИ961) после восстановления гребешков лабиринтных уплотнений методом наплавки и последующего отжига электронным лучом на установке ЭЛУ-20.

Величина наплавляемого слоя составляет 6 мм при толщине



Рис. 4. Роботизированный комплекс для плазменного напыления

стенки ротора 4 мм. Присадочный материал - ХН60ВТ (ВЖ98). Учитывая то, что восстановление гребешков лабиринтных уплотнений должно осуществляться без разборки ротора, с жесткими требованиями к его геометрическим размерам, к уровню остаточных напряжений и качеству окончательно обработанных рабочих поверхностей, общую термообработку проводить было нельзя.

Современные технологии предлагают в зависимости от расположения и размеров дефектов различные способы ремонта: методами аргодуговой, электронно-лучевой и лазерной сварки, а также возвратно-поступательной сварки трением. Однако следует признать, что сегодня отсутствует надежная промышленная технология ремонта моноколес, что связано с их сложной геометрией и необходимостью использования дорогостоящего уникального оборудования.

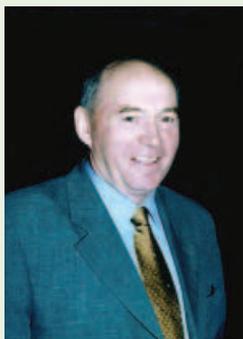
Как известно, важное место в производстве авиационных двигателей занимают процессы нанесения уплотнительных и теплозащитных покрытий, качество нанесения которых во многом определяется квалификацией оператора. Поэтому одним из основных направлений повышения качества покрытий и снижения трудоемкости изготовления деталей является использование автоматизированных комплексов для плазменного напыления (рис. 4) с применением роботизированных манипуляторов (рис. 5).

Все изложенное дает основание считать, что разработка и освоение в производстве газотурбинных двигателей прогрессивных технологических процессов является необходимым условием создания наукоемкой продукции, в том числе авиационных двигателей пятого и последующих поколений. **▲**



Рис. 5. Робот-манипулятор для нанесения плазменных теплозащитных покрытий

У М П О - ШАГ В БУДУЩЕЕ!



Валерий Лесунов, генеральный директор ОАО "УМПО"

Открытое акционерное общество "Уфимское моторостроительное производственное объединение" - крупнейшее российское двигателестроительное предприятие, основанное в 1925 году.

ОАО "УМПО" владеет пакетом лицензий и сертификатов на производство авиационной техники и обладает полным технологическим циклом производства авиационных двигателей. На предприятии внедрена и успешно работает система качества, отвечающая требованиям международных стандартов серии ISO.

В объединении имеются значительные технологические и конструкторские наработки в области производства так называемых изделий двойного назначения. На базе двигателя АЛ-31Ф созданы стационарные газотурбинные приводы АЛ-31СТ и АЛ-31СТЭ для газоперекачивающих и электростанций.

Сегодня потенциальным заказчикам предлагается целая гамма продукции в различной компоновке, включая сдачу "под ключ" целых станций. Рынок газо-энергетического оборудования стремительно развивается, и в стоимостных показателях потенциал этой тематики для УМПО вскоре станет сравнимым с производством авиадвигателей.

Все годы в УМПО идет планомерная модернизация производства. Постановлением Правительства РФ ОАО "УМПО" включено в состав предприятий, задействованных в серийном производстве авиадвигателя пятого поколения. Освоенные технологические процессы, набор оборудования и квалификация персонала позволяют нам успешно решать поставленные задачи.

Сегодня, когда в результате глобализации мировой экономики российский авиапром испытывает жесткую конкуренцию, особенно в части информационных технологий, необходима переоценка былых приоритетов. В полной мере понимая необходимость сохранения и повышения конкурентоспособности нашей продукции на мировом рынке, ОАО "УМПО" приняло концепцию развития инженерных технологий, в которой ведущее место занимают CALS-технологии и RP-технологии.

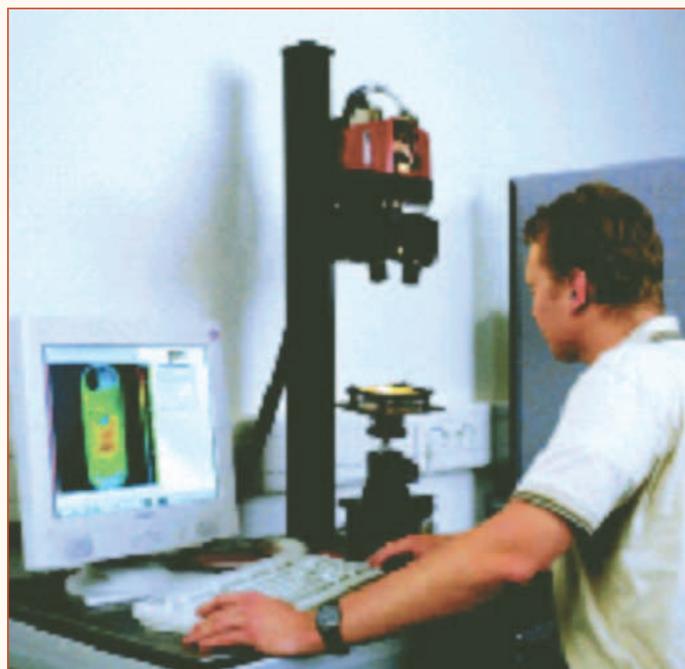
CALS-технологии(Continuous Acquisition and Life Cycle Support) - единая технологическая поддержка стадий создания/производства и эксплуатации.

CALS-технологии определяется как информационное сопровождение наукоемкой продукции на всех этапах: от проектирования, производства, эксплуатации и ремонта, до утилизации отслужившей продукции с представлением каждого инженерного решения документа, описания, конструкции, технологии и т.п. в электронном виде. Информация образует единое целое, каждая часть которого связана друг с другом. Например, изменение конструкции детали должно автоматически приводить к изменению технологии ее изготовления, которая, в свою очередь, влияет на планирование производства.

CALS-технологии базируются на трех "китах". Первый - это функционирующая в УМПО интегрированная система организа-



Участок сборки верхнего редуктора двигателя АЛ-31Ф

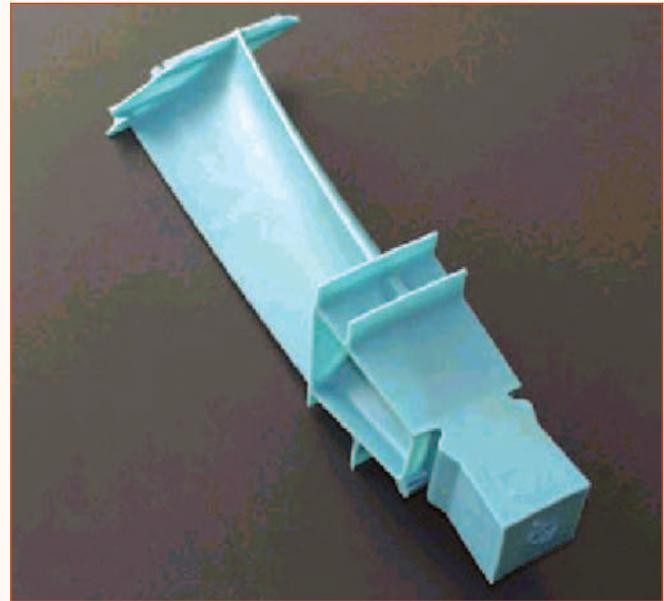


Работа с бесконтактной оптической системой оцифровки измерений ATOS

ции управления производством "БААН". Второй - комплекс систем САПР, существенно повышающих качество, скорость и, в конечном итоге, эффективность исполнения инженерных проектов, включая техпроцессы. Третий - система PDM, управляющая инженерными данными проекта и предназначенная для организации, хранения и управления конструкторско-технологической информацией. В системе PDM размещается, например, информация о составе изделия, технологических процессах его изготовления, справочники по материалам, базы данных по оснащению.

При таком обилии инженерных данных особое значение приобретают средства доступа и извлечения информации - они должны быть эффективными. Поэтому сегодня в УМПО проводится модернизация корпоративной компьютерной сети для обеспечения скоростного бесперебойного информационного потока предприятия. Следующим кирпичиком в здании информационного пространства становится современная технология управления компьютерной сетью, рабочими станциями и программным обеспечением. Проектный объем "электронной паутины" объединения составляет около 4,5 тысяч портов. Использование традиционных "обходчиков" для обслуживания такого количества компьютеров невозможно в принципе. На помощь должны прийти технологии дистанционного управления всем комплексом компьютерной техники и программного обеспечения.

Мы ведем последовательную линию, направленную на оснащение рабочих мест инженеров компьютерами и программным обеспечением САПР. Проводим оптимизацию технологии механообработки, компьютерный анализ литейных процессов. Готовим к запуску инженерный центр прототипирования, обеспеченный

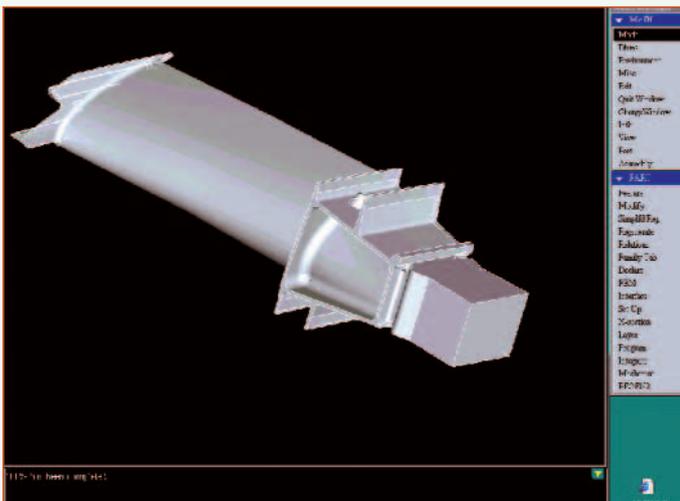


Выплавляемая модель лопатки турбины

тельным, в десятки раз, сокращении времени и затрат на разработку новых изделий, а также повышении качества разработки. Конструктор получает в свои руки рабочую модель почти так же легко и быстро, как чертеж с принтера или плоттера, что позволяет значительно повысить эффективность его работы.

В ОАО "УМПО" имеется оборудование фирмы 3D Systems, в котором наиболее широко применяется имеющая наилучшие технические показатели технология, основанная на использовании фотополимеризации лазерным излучением - лазерная стереолитография (ЛС). Эта технология позволяет получать очень сложные цельновыращенные модели, а используемые в ЛС материалы обладают рядом преимуществ (прочность, прозрачность, влагостойкость, легкость обработки поверхности, возможность склейки и т.д.). Ее внедрение в технологический процесс позволяет добиться высокой точности моделей, необходимых для изготовления оснастки. Имеется возможность получения прозрачных деталей для аэродинамического и родственных последнему видов тестирований. Учитывая полную совместимость технологии литья металлических деталей по выжигаемым моделям со стандартным производственным процессом, высокую экономичность метода (неотвержденный материал остается в ванне и участвует в процессе изготовления следующих деталей) можно говорить о приоритетной важности его внедрения.

Наряду с уже внедренными прогрессивными технологическими процессами, внедрение CALS и RP - технологий позволит ОАО "УМПО" успешно работать и развиваться в XXI веке.

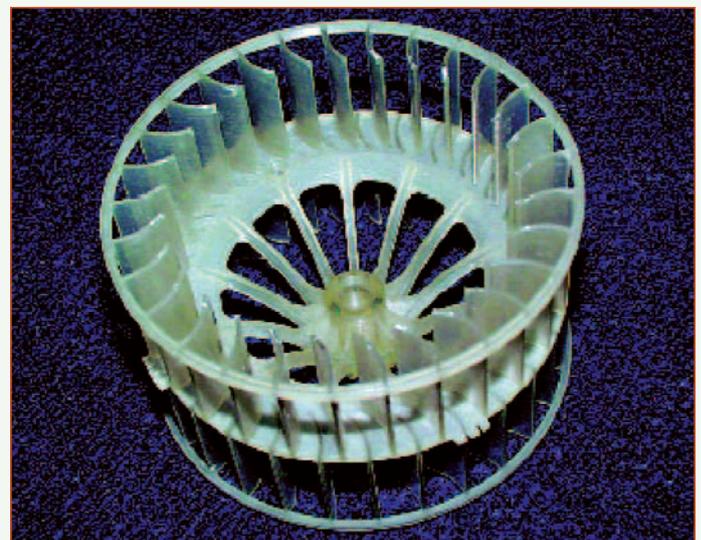


CAD - модель лопатки турбины

печивающий быстрое получение из объемных моделей восковок, литейных форм и образцов, с использованием которых идет отработка литья. Современные системы компьютерного проектирования (CAD) позволяют значительно сократить затраты времени и средств на разработку и конструирование новых изделий. Возможности внедряемой в объединении компьютерной системы прототипирования уникальны - математическую модель с монитора компьютера можно легко "овеществить" напрямую, без предварительного изготовления рабочих чертежей, технологических карт и специальной оснастки.

RP-технологии (Rapid Prototyping - быстрое проектирование) заключаются в получении прототипов (моделей) деталей и изделий, зачастую и готовых изделий без изготовления технологической оснастки в сочетании с методом реверсивного инжиниринга и контроля геометрических параметров путем применения оптических измерительных систем. Это позволяет сократить время на проектирование и изготовление деталей и технологического оснащения, имеющие сложные формообразующие элементы в 3-5 раз.

Во всем мире крупные промышленные компании отдают предпочтение подобным системам. Эффект от использования компьютерной системы прототипирования проявляется в значи-



Мастер-модель выплавляемой детали

F119 - ДВИГАТЕЛЬ ИСТРЕБИТЕЛЯ F-22

ФГУП ГНЦ ЦИАМ: **Владимир Кокорев**, к.т.н., **Лев Соркин**, к.т.н., **Геннадий Фридман**, к.т.н.

Еще в самом первом номере журнала "Двигатель" в 1999 году была размещена аналитическая статья, рассказывающая об истребителях ближайшего будущего и их двигателях. Описывались достаточно конкретно их небывалые (пять лет назад) параметры и возможности. И вот - время прошло. Мы стали на пять лет ближе к новым американским истребителям. Посмотрим, что получилось.

Двигатель F119-PW-100, которым оснащен истребитель F-22 "Рэптор", создан на базе ТРДДФ F100 и рассчитан на обеспечение сверхзвукового крейсерского полета самолета без включения форсажной камеры. Силовая установка состоит из двух двухвальных ТРДДФ F119 с малой степенью двухконтурности. Это двухвальный ТРДДФ с такими основными (оценочными) характеристиками: $R_f = 156$ кН, $m = 0,45$, $C_{уд\ взл} = 1,943$ кг/(кгс·ч), $L_{дв} = 4800$ мм, $M_{дв} = 1400$ кг. По сравнению с базовым двигателем он развивает вдвое большую тягу на нефорсированном режиме и на 50 % большую тягу на форсажном режиме, содержит на 40 % меньше деталей и имеет на 80 % лучшие показатели надежности, ремонтнопригодности и обслуживаемости.

Некоторые особенности конструкции основных узлов F119-PW-100

Вентилятор F119-PW-100 - трехступенчатый, рабочие лопатки - полые широкохордные, без антивибрационных полок. Это первый двигатель с широкохордными лопатками у американского истребителя. В них использована технология, разработанная для аналогичных лопаток гражданского ТРДД PW4000. Не имеющие антивибрационных полок лопатки с малыми относительными удлинениями и диаметром втулки обеспечивают увеличенный расход воздуха и отличную повышенную прочностью, эффективность, запасом ГДУ, а также лучшей стойкостью к повреждениям при попадании в двигатель птиц и других посторонних предметов. Полые лопатки применены только в первой ступени вентилятора. Это позволило снизить его массу.

Диски и лопатки трех вентиляторных ступеней выполнены как одно целое (конструкция "блиск") для снижения массы и улучшения характеристик. Эта конструкция предотвращает утечку воздуха в корневой части лопаток, что бывает в роторах с механическим соединением лопаток с диском. Роторы изготовлены из титана, отдельные ступени соединены с использованием сварки трением.

Входной корпус вентилятора имеет монолитную конструкцию из композиционного материала, он легче (на 7 кг) и дешевле исходного титанового корпуса. Входной корпус с помощью ряда профилированных стоек поддерживает передний подшипник. Технология изготовления корпуса не требует его дополнительной обработки и обеспечивает гладкую наружную поверхность.

Компрессор - шестиступенчатый, также с блисковыми роторами. Для обеспечения максимального к.п.д. рабочие лопатки имеют малое относительное удлинение и откорректированную диффузорность, а статорные лопатки выполнены наклонными. Укороченные и более прочные рабочие лопатки компрессора также отличаются повышенной стойкостью к повреждениям и возмущениям воз-

душного потока. Корпуса вентилятора и компрессора - разъемные для обеспечения лучшего доступа при техническом обслуживании.

Камера сгорания - кольцевая; стенки "плавающей конструкции" имеют как конвективное, так и пленочное охлаждение. Ступенчатые форсунки улучшают характеристики.

Турбины - высокого и низкого давления - одноступенчатые. Вращение турбин осуществляется в противоположные стороны. Оснащены турбины монокристаллическими лопатками с воздушным охлаждением. Конвективное и пленочное охлаждением обеспечивает снижение нагрева лопаток и увеличение их срока службы. Параметры каналов и отверстий для прохождения охлаждающего воздуха рассчитаны с применением методов вычислительной газодинамики и уточнены после проведения стендовых испытаний на специально подготовленном двигателе.

Каскады ВД и НД двигателя вращаются в противоположных направлениях, что в сочетании с высокой частотой вращения повышает эффективность компрессора, турбин и подшипников. В частности, сочетание противоположного вращения каскадов и высокой частоты уменьшает поворот воздушного потока между ступенями и повышает к.п.д. При производстве диски турбины подвергаются двойной термообработке. Их материал образует мелкозернистую структуру в центральной части и крупнозернистую по ободу, что повышает стойкость к повреждению.

Сопло у двигателя плоское, с отклонением вектора тяги. Включает створки суживающейся и расширяющейся частей, обеспечивающие независимое управление площадью критического и выходного сечений. Створки расширяющейся части охлаждаются для уменьшения ИК-излучения, кроме того, им придана особая форма для уменьшения радиолокационной заметности. Сопла истребителя F-22 отклоняются на углы $\pm 20^\circ$ (время перекладки 1 с). Симметричное отклонение обоих сопел применяется для управления по тангажу, чтобы усилить действие горизонтального хвостового оперения на малых скоростях и больших углах атаки. Применение отклоняемых сопел увеличило массу конструкции на 15...25 кг, в то же время эквивалентное увеличение площади горизонтального оперения повысило бы эту массу на 180 кг.

В ТРДДФ F119 предполагалось применить поршень привода расширяющейся части сопла, изготовленный из конструкционных материалов с титановой матрицей. Масса этого поршня производства фирмы "Атлантик Ресерч Корпорейшен" на 40 % меньше массы аналогичной детали из нержавеющей стали. Поршень длиной ~30,5 см, с диаметром втулки 5,1 см и диаметром головки 10,2 см изготавливается как одна деталь.

Система управления - FADEC с двойным резервированием, объединена с системой управления истребителем F-22. Осуществ-

ляет управление вектором тяги, регулирует расход топлива, управляет поворотными направляющими лопатками вентилятора и компрессора. Двигатель F119-PW-100 оборудован системой диагностики, которая контролирует его техническое состояние, ведет запись событий и передает о них данные в бортовую ЭВМ истребителя. CAU FADEC ТРДДФ F119-PW-100 способна автоматически компенсировать отказы датчиков или устройств обратной связи.

Для отладки и проверки программного обеспечения CAU FADEC F119-PW-100 применяется автоматизированный функциональный имитатор всего диапазона полетных и большого числа всевозможных неустановившихся режимов. Типичный цикл имитационных испытаний с автопилотом может включать 2900 пунктов маршрута, 65 ч работы двигателя, в том числе 26 ч на форсированном режиме, свыше 3300 включений камеры сгорания и свыше 300 тактических циклов. Объединение имитатора с летным тренажером, оснащенным устройством графического представления полетных данных, позволяет изучать проблемы системы человек-машина.

ТРДДФ F119-PW-100 характеризуется улучшенной эксплуатационной технологичностью и ремонтпригодностью. В верхней части двигателя агрегаты не размещаются, а заменяемые на самолете узлы и детали (LRU) устанавливаются в один слой. Каждый из 29 блоков LRU может быть снят и заменен в среднем за 20 мин. Снаружи двигателя контрольная проволока не используется, вместо нее применяются крепежные элементы зажимного типа. В результате применения таких соединений масса двигателя увеличилась на 0,68 кг, однако экономия стоимости жизненного цикла значительно возросла. Различие размеров крепежных элементов сведено к минимуму, и для съема почти всех блоков LRU требуется только один инструмент.

Примером тщательного учета технологических процедур обслуживания двигателя является выбор места установки CAU FADEC. Ее масса составляет 16,8 кг, и поскольку она располагается на уровне плеча человека, то техобслуживание затруднительно для техников небольшого роста. В связи с этим CAU снабжена рукояткой, позволяющей отвернуть блок от двигателя перед съемом, а затем снять двумя руками. Другое новшество - применение гибких трубопроводов, которые составляют 40 % всех магистралей ТРДДФ F119-PW-100. Хотя стоимость и занимаемый объем гибких трубопроводов выше, чем жестких, они более удобны для технического обслуживания. Также тщательному анализу и модернизации подвергнут инвентарь инструментов для наземного обслуживания двигателя. В результате для техобслуживания требуется только около 220 наименований инструментов, в то время как для ТРДДФ F100 - 400 инструментов. Почти все крепежные средства обеспечивают удержание деталей во время ремонта, предотвращая их падение и потерю. Еще одним новшеством стало использование для соединения трубопроводов блокирующих зажимов вместо хомутов, которые часто сдвигаются и теряются после снятия. Благодаря блокирующим зажимам одна половина узла остается прикрепленной к корпусу двигателя, а вторая - отсоединяется после отвинчивания болта. Для того, чтобы вторая половина зажима не потерялась, она прикрепляется к первой с помощью гибкой привязи, изготовленной из специального материала.

Изменения коснулись также маслобака и дроссельного клапана двигателя. В результате маслобак вмонтирован непосредственно в корпус коробки приводов агрегатов, что позволило убрать 18 трубопроводов и тем самым устранить 18 зон возможных утечек. В дроссельном клапане благодаря унификации было уменьшено число деталей, в результате чего все 12 соединительных элементов, используемых на клапане, являются однотипными. Кроме того, все трубопроводы были подключены к дроссельному клапану, что позволило отказаться от многочисленных уплотнений в пользу только одного уплотнительного узла.

При создании двигателя F119-PW-100 очень жестко ограничивался объем сопроводительной документации. Из начального пакета военных технических условий и стандартов после тщательного рассмотрения были изъяты 88 % (164 наименования), а перечень контрактных программных данных сокращен на 72 %. Объем отчетного доклада о работах по программе F119 (в страницах) уменьшен на 50 %, а цикл обмена технической информацией между подрядчиками и правительственными ведомствами сведен от 60 дней до двух недель. Активное использование видеоконференций и электронный обмен информацией в реальном времени позволили сократить транспортные расходы персонала на 75 %.

Эксплуатационная технологичность ТРДДФ F119 будет улучшена благодаря применению диалоговых инструкций по эксплуатации. Фирма "Пратт-Уитни" планирует перевести все инструкции на магнитные диски CD-ROM, что позволит отказаться от печатного текста объемом около 85 000 страниц. Для пользования такими инструкциями техсостав должен располагать портативным прочным компьютером, в котором можно будет использовать взаимозаменяемые модули, содержащие ограниченные объемы информации.

Усилиями разработчиков двигателя F119 был внесен большой вклад в программу летных испытаний истребителя F-22. Для летных испытаний было поставлено 25 двигателей, безотказно проработавших в полетах и позволивших достичь ключевых рубежей испытаний. Авиационный комплекс F-22/F119 налетал при испытаниях более 860 ч с набором высоты 15 000 м, крейсерской скоростью свыше $M=1,5$, перегрузкой более 7 g и углом атаки 60°. Развертывание истребителя F-22 в авиационных частях в полном составе ожидается в 2005 г. Эволюционная модель ТРДДФ F119 - двигатель F135 - будет устанавливаться на перспективном боевом самолете F-35 (прежнее название истребителя-штурмовика JSF для авиации различных видов вооруженных сил США - Joint Strike Fighter).

По мнению американцев, на мировом рынке военной авиационной техники основными конкурентами истребителю F-22 являются российские самолеты МиГ-29 и Су-27 различных модификаций, оснащаемые двигателями семейств РД-33 и АЛ-31. Как и F-22, российские самолеты, находящиеся на вооружении ВВС более чем в 25 странах мира, считаются коммерчески эффективными боевыми самолетами среднего и легкого классов.

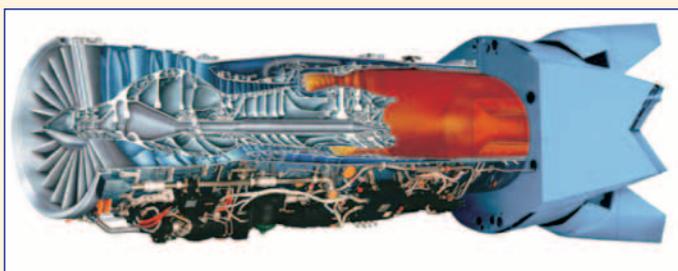
Наиболее близкий по параметрам к F119 двигатель АЛ-31 (который по словам руководства Росавиакосмоса служит базой силовой установки истребителя пятого поколения) развивает

стендовую тягу $R_{\phi} = 12\,500$ кгс на режиме "полный форсаж" и 7770 кгс - на режиме "максимал". Удельный расход топлива на максимальном режиме работы $C_{уд\ max} = 0,75$ кг/(кгс·ч), на форсаже - 1,92 кг/(кгс·ч), минимальный крейсерский удельный расход топлива составляет $C_{уд\ кр} = 0,67$ кг/(кгс·ч). Сухая масса

двигателя $M_{дв} = 1530$ кг, удельный вес 0,122.

Создание истребителя F-22 и его последователя истребителя F-35 стало мощным стимулом к интеграции западных авиационных фирм и укреплению их позиций на мировом авиарынке. В первую очередь это укрепление позиций американской промышленности. Тенденция развития парков истребителей средней размерности является за рубежом преобладающей и долгосрочной. Это, с одной стороны, формирует структуру парка тактической авиации, а с другой, определяет характер спроса на международном рынке авиационной боевой техники. В целом развитие американских военных программ тактической авиации ставит перед ведущими авиационными державами необходимость более внимательного анализа соответствия отечественных разработок в области многоцелевых истребителей сценариям будущего.

▲



ПЕРВОМУ ПОЛЕТУ САМОЛЕТА - СТО ЛЕТ

Пимен Крякутный, к.и.н.

Есть ряд нами же сотворенных мифов, которые настолько хорошо уложились в сознании, что их почти и не отделить от происходившего на деле. Среди них достойное место составляет легенда о двух полуграмотных самоучках - мелких торговцах и механиках из захолустного Дэйтона, которые вдруг ни с того ни с сего взяли - да и полетели. Не шибко удачно. Да еще и не сумели толком воспользоваться этим случаем. Конечно, есть здесь крупницы правды. Но, в целом, конечно, все было не так. "Случай приходит на помощь умам подготовленным" (Энгельс). Природа - не лотерея: везет тому, кто везет.

Уилбур Райт родился в 1867 г. в городе Мелвилл, а его брат Орвилл появился на свет на четыре года позднее в Дейтоне (штат Огайо). Высшего образования они не получили, ограничившись лишь школьным курсом. Молодые люди обладали живым умом и явными техническими способностями. В 1892 г. они открыли мастерскую, где продавали, чинили, а после и сами выпускали велосипеды.

Конец позапрошлого века - время, когда стала приобретать конкретные очертания мечта о свободном полете. На шарах-то летали уже не первый век, по привычке. Но аппарат легче воздуха слишком зависим от капризов атмосферы. Воздухоплавание, это - не полет птицы или насекомого, скорее - путешествие на облаке. Мечта о "птицеподобности" (в переводе на латынь - "авиации") продолжала будоражить умы. Заметим, что в конце XIX века идея полета притягивала уже не только самых романтически настроенных изобретателей, но и людей вполне прагматичных. И каких только летательных аппаратов не придумывали. В общем, все примерно так же, как сейчас с аппаратами для полета в космос. Современному кошмару "звездных войн" соответствовало в те времена предчувствие "воздушных сражений". Энтузиасты, увлеченные полетами, строили летающие модели и даже парили на планерах: Лилиенталь ездил с демонстрационными полетами по всему миру. Его книгами зачитывались многие, в том числе и братья Райт (которым в то время не было и тридцати).

В 1899 г. они сами занялись проблемами управляемого свободного полета. В декабре 1903 г., после четырех с лишним лет упорных исследований, проб и ошибок (но что уходил практически весь доход от их весьма успешного бизнеса), Райты полетели - таки. Им повезло, потому что они смогли в полной мере воспользоваться плодами труда предшественников. Они смогли добиться успеха там, где другие терпели неудачу. Как заметил один классик (Карл Маркс): "Когда истории требуется личность, она ее находит".

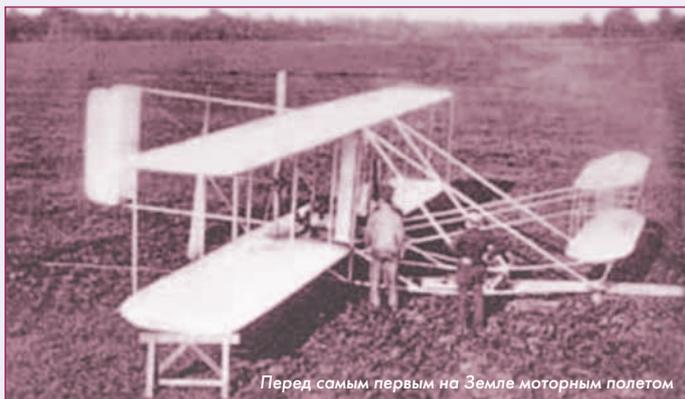
В немалой степени усилия братьев Райт увенчались успехом потому, что они действовали методично и последовательно, не пыта-

ясь, как многие предшественники, сразу начать с постройки летательной машины с двигателем. Сначала следовало научиться летать без мотора, освоить навыки управления, понять важнейшие закономерности, соблюдение которых абсолютно необходимо. Планеры и воздушные змеи в "просвещенный век" уже никого не удивляли. Уилбур и Орвилл выучились летать на планерах. С 1899 по 1903 г. в известном сегодня на весь мир (именно благодаря Райтам) местечке Китти Хок, штат Северная Каролина, они испытали три модели планера, причем достаточно большие, способные поднять человека. Специалистам известно, что часть полученных братьями в 1903 г. патентов была связана с конструкцией именно планеров, а не их первого самолета с двигателем внутреннего сгорания.

На своем третьем планере они совершили более тысячи успешных полетов. Райты, прежде чем приступить к строительству самолета с двигателем, стали, наверное, самыми искусными и опытными в мире пилотами-планеристами. От этого оставался буквально шаг до полета свободного. Конструкторы поняли, что не так важно будет оторвать конструкцию от земли, как обеспечить управление самолетом в воздухе. Поэтому они потратили большую часть своего времени и усилий на то, чтобы изобрести методы управления и стабилизации полета, открыть способы изменения направления вектора подъемной силы.

Райты заметили, что для управления по крену птицы отклоняют вверх или вниз задние кромки раскрытых крыльев. Конструкторы попробовали таким же образом управлять коробчатым воздушным змеем. С помощью специального тросика Райты с земли отклоняли передние и задние кромки его крыльев. Направление вектора подъемной силы менялась, и змей послушно кренился в одну или в другую сторону (впоследствии этот метод был назван "гошированием" - с французского "перекашивание"). Заметим, что на самолете Райтов синхронно с отклонением кромок крыла с помощью другого тросика отклонялся руль направления. Еще до самолета братья построили полноразмерный планер, который по всем трем пространственным осям (тангажу, рысканию и крену) управлялся с помощью рулей высоты, направления и гоширования крыльев, причем руль высоты у планера располагался перед крылом. Сегодня подобная аэродинамическая схема называется "уткой".

Аэродинамики как науки в то время еще не существовало. Масса разрозненных сведений (при этом большая часть на уровне догадок) была ненадежной опорой, практически использовать ее не представлялось возможным. В связи с этим Райты были вынуждены построить собственную аэродинамическую трубу и в ней испытать более двухсот профилей крыла. Результаты экспериментов сводились в таблицу, описывающую изменение параметров воздушного потока в зависимости от формы крыла. На основе этих данных впоследствии была выбрана профилировка и форма крыльев самолета. И все же эти исследования не привели бы к



Перед самым первым на Земле моторным полетом

желаемому результату, не появившись в то время достаточно мощный бензиновый двигатель. Чуть более ранние попытки построить летательный аппарат с громоздкими и малоэффективными паровыми двигателями были заведомо обречены на неудачу. Так, в 1881 г. русский конструктор А.Ф. Можайский, а в 1892 г. его английский последователь инженер Хирам Максим (автор знаменитого пулемета) были вынуждены применить именно такую силовую установку, что вполне закономерно привело их в тупик: удельная мощность оказалась недостаточной для осуществления полета. В отличие от великих предшественников братья Райт занялись созданием самолета, когда двигатели внутреннего сгорания были уже изобретены. Может быть, потому-то они этим и занялись, что имели внутреннее ощущение разрешимости проблемы мотора; ведь интуиция - это неосознанный опыт.

И все же существовавшие в начале XX века двигатели внутреннего сгорания были слишком тяжелыми для того, чтобы их можно было использовать для летательного аппарата. А раз так, братья Райт решили действовать уже опробованным методом: они сами (с помощью механика Чарли Тейлора) разработали конструкцию двигателя и сами его построили. Их гениальность проявилась в том, что, затратив сравнительно немного времени на проектирование мотора, они сумели осуществить двигатель, превосходивший по удельной мощности все существовавшие в то время. Часть деталей братья изготовили у себя в мастерской, а остальные заказали на стороне. Первый авиационный мотор получился даже более мощным, чем рассчитывали его создатели (16 л.с.). Впрочем, и такая, невероятно большая по тем временам мощность для взлета была недостаточной. Поэтому братья устанавливали свой аппарат на специальную тележку, которую помогала разгонять по рельсам команда "добровольных бурлаков".

Оригинальный двигатель с водяным охлаждением, выполненный из сплава алюминия и меди, был рядным, четырехцилиндровым, с диаметром цилиндров 101,6 мм и таким же ходом поршня, а шатуны были трубчатыми. Одна из интересных особенностей - использование стальных гильз, винченных в алюминиевый блок цилиндров. Стенки гильз обрабатывались на токарном станке, но не полировались. Братья Райт рассчитывали, что поверхности отполируют сами поршни, по мере износа приработав поверхности.

Точных чертежей первого двигателя Райтов не существует. Ныне их приходится воссоздавать по разного рода вторичным свидетельствам. Тейлор, управляющий велосипедной мастерской братьев Райт, изготавливал детали по эскизам. Он был первым авиамехаником в мире. Обычно один из троицы - Орвилл, Уилбер или Чарли - делал на клочке бумаги набросок детали, о которой шла речь. Затем Чарли по наброску вытачивал саму деталь. Со временем эти клочки бумаги рвались, замызгивались и, наконец, выбрасывались. Вместе с бесценными подробностями конструкции двигателя, который совершил революцию в транспорте.

Историки техники неоднократно пытались воссоздать точную конструкцию двигателя братьев Райт, в основном пытаясь пройти путь обратно - от похожих моделей, построенных позднее. Орвилл Райт ненароком усложнил их исследования, попробовав в 1939 г. самостоятельно восстановить чертеж двигателя. Дело в том, что Орвилл в содружестве с Чарли Тейлором воспользовался результатами измерения деталей... третьего двигателя, который он одолжил Генри Форду для экспозиции в веломастерской Райтов.

Американские исследователи, руководимые Кеном Хайдом, (по свидетельству Дж. Дана, "Популярная механика", № 12, 2003) для достижения максимальной достоверности вынуждены были пристально изучить огромное количество записей, оставленных братьями. Историки техники искали в них указания о конструкции конкретных деталей, применявшихся материалах, типе применявшегося масла и топлива. Выяснилось, например, что, хотя рисунки Орвилла Райта и Чарли Тейлора весьма детальны, более точными являются схемы первого двигателя, хранящиеся в Англии в Кенсингтонском музее науки. Впрочем, ни один из имеющихся наборов эскизов не дает возможности полностью реконструировать двигатель.



Реконструкция первого в мире авиадвигателя по версии американских ученых

Другой задачей, которую пришлось решать братьям, стало конструирование собственного пропеллера. Он получился гораздо больше похожим на применяемые ныне, нежели те, какими довольствовались современные Райтам изобретатели. Впрочем, пропеллер вышел не очень удачным. Но все же именно он устанавливался на первом способном летать самолете!

Самолет, названный "Флайер" ("Летун"), впервые поднялся в воздух 17 декабря 1903 г. Во время первого полета, совершенного Орвиллом Райтом, самолет пролетел 12 секунд и покрыл расстояние всего в 36 м. Последний (четвертый) полет, в котором участвовал Уилбур Райт, длился 59 секунд. В этот день налетевший шквал перевернул "Летуна", стоявшего на земле, в результате чего крепление мотора не выдержало. Детали двигателя от "Флайера-1" пошли на создание следующей модели мотора.

Только несколько газет сообщили о невероятном успехе братьев Райт на следующий день, да и эти сообщения были не вполне точными. Газета, выходившая в их родном городе Дейтоне, вообще проигнорировала событие. Журналисты оказались гораздо менее прозорливыми, чем изобретатели. Фактически только спустя пять лет (!) весь мир узнал, что реально состоялся управляемый человеком полет.

Подчеркнем еще раз: в то время только ленивый изобретатель не пытался построить летательный аппарат. Даже после того, как братья Райт не один год летали, большинство людей так и не поняло, что был изобретен самолет! Например, в 1906 г. парижское издание газеты "Геральд трибюн" поместило статью о братьях Райтах под заголовком "Флайер или Лайер?" ("Летун или лгун?"). Стену недоверия Райтам пришлось буквально проламывать. В 1908 г. Уилбур Райт привез один из своих самолетов в Париж, где провел серию публичных полетов и организовал компанию по продаже изобретения. Облет Эйфелевой башни наконец-то поднял бурю восторга. Человек летит!!!

Тем временем в Соединенных Штатах Орвилл Райт также устраивал подобные демонстрации, летая с пассажиром. Его успешные полеты заставили правительство Соединенных Штатов подписать с братьями контракт на поставку самолетов для военного министерства США, и в 1909 г. федеральный бюджет включал в себя статью о поставках самолетов для нужд армии на сумму \$30 000. Постройка, демонстрация, реклама изобретения и защита судебных прав увлекла братьев целиком и заменила им все: и семью, и друзей. Ни один из братьев никогда не был женат, потомков они не оставили. В 1912 г. Уилбур Райт заразился тифом и умер в возрасте сорока пяти лет. Орвилл Райт, продавший в 1915 г. свои финансовые интересы авиационной компании, дожил до 1948 года.

Переоценить значение изобретения самолета трудно. Он непременно был бы изобретен: время требовало. Но, как и всегда, впереди оказывались те, кто упорнее других стремился к цели. Всего через несколько десятков лет аэроплан сильно уменьшил размеры когда-то огромной для нас планеты и превратил ее в маленький и очень досягаемый мир. Вместе с тем, это изобретение переменяло и все ранее существовавшие представления о способах ведения войн. Более того, успешные достижения в сфере управляемых полетов явились существенным шагом к началу полетов космических. Что сулит нам дальнейшее совершенствование летательных аппаратов, мы даже и представить себе не можем.

ИСТОРИЯ АТОМНОГО САМОЛЕТА В КРАТКОМ ИЗЛОЖЕНИИ

Николай Александров

Освоение способов использования внутриядерной энергии в середине прошлого века стало огромным достижением человечества. Сразу после создания ядерной бомбы ученые задумались о возможной конструкции ядерного двигателя. Раскрывшиеся перспективы, казалось, были самыми радужными. Так, при делении всех ядер, содержащихся всего в 1 г урана, можно получить энергию, эквивалентную выделяющейся при сгорании приблизительно 2 т бензина или керосина. Но природа не делает человеку подарков: ядерные реакции сопровождаются губительным излучением, смертельно опасным для всего живого.

Сегодня люди, вероятно, стали лучше понимать соотношение выгод и опасностей, таящихся в ядерных устройствах. В пятидесятые годы прошлого столетия понимание было иным, и отношение к атомным проблемам характеризовалось большим оптимизмом. Только благодаря "оптимистичному" взгляду на корабельные ядерные силовые установки подводный флот получил гигантский импульс развития и сегодня превратился в краеугольный камень безопасности ведущих стран мира.

А вот с ядерным самолетом история сложилась иная. Оптимизм пятидесятых - начала шестидесятых годов сменился сначала осторожным, а затем и беспросветным пессимизмом.

Заокеанские эксперименты

Весной 1946 г. между министерством ВВС и Комиссией по атомной энергии США было заключено соглашение о начале программы NEPA (Nuclear Energy Propulsion for Aircraft), целью которой стало исследование проблем, связанных с разработкой самолета с атомной силовой установкой (АСУ). По мнению заказчиков из ВВС, самолет с АСУ мог использоваться в качестве стратегического бомбардировщика или разведчика, способного нести боевое дежурство в воздухе без дозаправки в течение нескольких суток. В требованиях к самолету с АСУ, сформулированных в июле 1947 г., определялись его максимальная масса - 136 т, крейсерская скорость - 830 км/ч (на высоте 10,5 км) и полезная нагрузка - 5,5 т. Первоочередными проблемами, поставленными перед разработчиками атомного самолета, являлись:

- исследование влияния нейтронного и гамма-излучения на конструкционные материалы планера и силовой установки;
- определение параметров защиты экипажа от излучения в полете и обслуживающего персонала на земле;
- рассмотрение последствий возможных аварийных ситуаций;
- выбор места для испытаний атомного самолета.

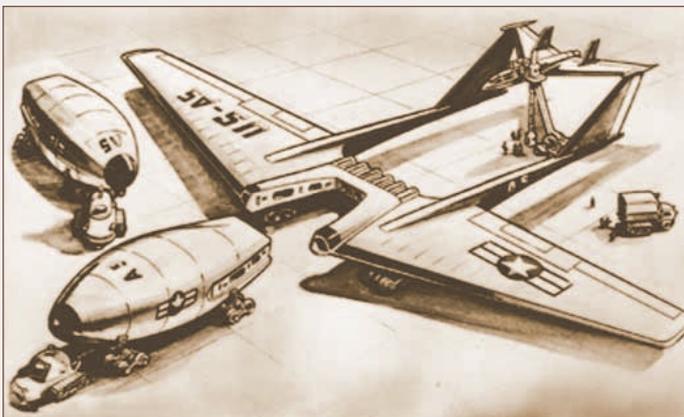
Первоначально к проведению исследований привлекли корпорацию "Фэйрчайлд", которой предложили построить летающую радиационную лабораторию на базе самолета В-29 с небольшим реактором, размещенным в бомбоотсеке. Но "Фэйрчайлд" не оправдала ожиданий - работы двигались недопустимо медленно. Помимо объективных трудностей причиной тому были возражения, выска-

занные рядом авторитетных ученых. Одним из оппонентов программы NEPA выступил Р. Оппенгеймер, возглавлявший в то время один из комитетов комиссии по атомной энергии. Он полагал, что летающий ядерный реактор таит в себе слишком большую опасность из-за возможной аварии самолета. Ему возражали энтузиасты из исследовательской группы под названием "Лексингтонский проект" и из ряда субподрядных фирм, участвовавших в программе NEPA. По мнению руководителей NEPA, атомный самолет все же можно было создать вопреки огромным техническим трудностям. Правда, намеченные сроки разработки (приблизительно 15 лет) и общая стоимость работ (\$1 млрд) выглядели непомерными.

В апреле 1949 г. американские ВВС совместно с ядерщиками вместо NEPA развернули новую программу ANP (Aircraft Nuclear Propulsion), которая предусматривала значительное расширение состава исполнителей. Так, в 1951 г. тандем "Дженерал Электрик" и "Конвэр" начал разработку самолета с АСУ так называемого "открытого" цикла, а фирмы "Пратт-Уитни" и "Локхид" получили задание на постройку самолета с АСУ "закрытого" цикла.

Идея АСУ "открытого" цикла, создававшейся фирмой "Дженерал Электрик", сводилась к замене камеры сгорания нормального газотурбинного двигателя J-47 камерой нагрева, в которой помещалась активная зона ядерного реактора. Воздушный поток от компрессора двигателя прокачивался через активную зону, где его температура возрастала до 1500 К, а затем подавался на турбину и далее - в реактивное сопло. Стенки теплообменников активной зоны реактора планировали изготавливать из тугоплавкого материала. Считалось, что вследствие относительной простоты такая схема могла быть реализована в кратчайшие сроки. Однако создававшийся двигатель, получивший обозначение X-39, имел большой недостаток: вследствие эрозии стенок воздушных каналов активной зоны радиоактивные частицы попадали в атмосферу. Фактически самолет оставлял за собой радиоактивный шлейф.

Отработкой АСУ оптимальной конструкции "Дженерал Электрик" занималась в 1955-1957 годах на экспериментальных установках. Одна из них использовалась для отладки систем управления и контроля, на другой проверялись различные варианты конструктивного исполнения активной зоны реактора. Третья установка представляла собой наземный прототип АСУ, предназначенной для летных испытаний. Расчеты свидетельствовали, что самолет с такой установкой мог пролететь расстояние 48 280 км со скоростью 740 км/ч. Однако уровни радиоактивного излучения, генерируемого работающей АСУ открытого цикла, получились недопустимо большими; возникший однажды кратковременный отказ в системе управления реактором экспе-



Один из ранних проектов атомного самолета, проработавшихся в США. В отделяемой передней части фюзеляжа предполагали разместить реактор и ядерные двигатели. Кабина экипажа самолета находилась в миниатюрной отделяемой "спасательной шлюпке", закрепленной на вершинах килей

риментальной установки привел к радиоактивному выбросу в атмосферу и заражению территории.

В рамках программы ANP фирма "Конвэр" разрабатывала сверхзвуковой самолет X-6 взлетной массой 75 т. Прототипом выбрали бомбардировщик В-58 "Хастлер", совершивший первый полет в июне 1954 г. Взлет и посадку X-6 должен был производить с использованием обычных "керосиновых" ТРД, а на крейсерском режиме в работу вступала АСУ, смонтированная в хвостовой части фюзеляжа и состоявшая из реактора и четырех двигателей X-39. ТРД, работавшие на химическом топливе, располагались на пилонах под законцовками крыла.

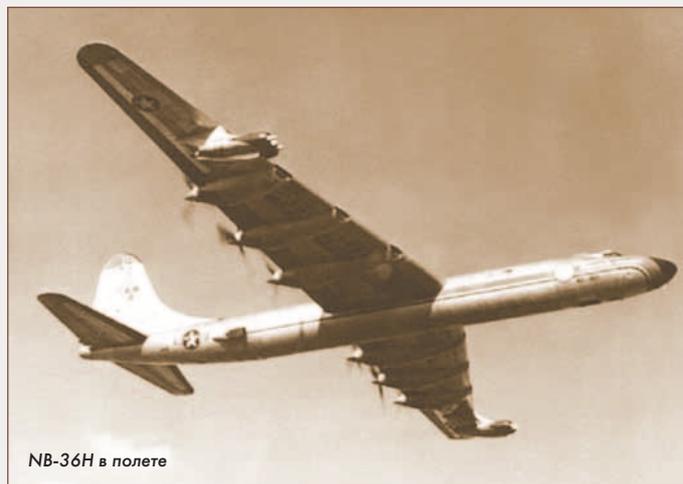
Кабина экипажа в экранированной защитной капсуле располагалась в носовой части фюзеляжа. Позади нее предусмотрели дополнительную панель из материала, хорошо поглощающего нейтроны. Биологическая защита самого реактора была "теневой" (главным образом прикрывалось направление на кабину), что позволило уменьшить толщину и массу слоев и дало возможность "вписать" реактор в обводы фюзеляжа. Проблему радиационной защиты наземного персонала после приземления атомного самолета намеревались решить следующим образом. Самолет с остановленным реактором буксировался на специальную площадку. Здесь АСУ снималась с самолета и опускалась в глубокую шахту, где некоторое время выдерживалась для спада уровней излучения, а затем обслуживалась с применением дистанционных манипуляторов. Первые испытательные полеты X-6 планировали осуществить в 1956 г.

Но еще раньше для проверки концепции "теневой" защиты (поток нейтронов и гамма-квантов рассеиваются на ядрах атомов воздуха, меняя направление распространения, поэтому излучение может попасть в кабину экипажа, минуя экраны) в носитель ядерной установки мощностью 1 МВт переоборудовали бомбардировщик В-36Н. Пуск и останов реактора, не имевшего никакой связи с двигателями, осуществлялся в полете. Кабина экипажа размещалась в носовой части фюзеляжа в защитной капсуле массой 12 т. Позади капсулы был предусмотрен дополнительный защитный экран из стали и свинца диаметром 2 м и толщиной 10 см. После каждого полета реактор снимался и хранился в подземном боксе испытательного полигона.

Модернизированный самолет получил обозначение NB-36H. Впервые он поднялся в воздух 17 сентября 1955 г. Все испытательные полеты выполнялись над малонаселенными районами штатов Техас и Нью-Мексико. NB-36H в полетах всегда сопровождал транспортный самолет с взводом морских пехотинцев, готовых в любую минуту десантироваться в случае аварии атомного самолета и взять его под охрану. В конце марта 1957 г. после выполнения 47 полетов NB-36H был поставлен на прикол.

В рамках второго направления программы ANP фирма "Пратт-Уитни" разрабатывала АСУ "закрытого" цикла. Главным достоинством этой схемы являлось отсутствие выбросов радиоактивных продуктов в атмосферу. Первоначально тепловыделение активной зоны реактора предполагали снимать с помощью замкнутого пароводяного контура (концепция "кипящего" реактора). Пар с выходного патрубка активной зоны должен был подаваться в турбину мощностью 49 000 л.с., вращавшую вентилятор диаметром около 3 м. Воздух, нагнетаемый вентилятором, сначала подавался в конденсатор турбины, нагреваясь там, а затем выбрасывался через реактивное сопло, создавая тягу. Избранное техническое решение было весьма далеком от совершенства. Во-первых, турбина в процессе эксплуатации становилась радиоактивной, что сильно затрудняло ее эксплуатацию. Во-вторых, к.п.д. турбовентиляторной установки получился малым, а масса, наоборот, оказалась очень большой.

В связи с этим в 1953 г. фирма "Пратт-Уитни" сделала ставку на второй вариант АСУ закрытого цикла. На этот раз в первичном контуре реактора в качестве теплоносителя использовался жидкий натрий, который через теплообменник передавал тепло воздуху вторичного разомкнутого контура. Реактор с жидкометаллическим теплоносителем имел значительно меньшие размеры по сравнению с



NB-36H в полете

реактором водо-водяного типа, что позволило почти на 20 т уменьшить массу АСУ. Недостатками двухконтурной схемы являлись сложность конструкции промежуточного теплообменника и большая масса трубопроводов с жидкометаллическим теплоносителем.

Следует отметить, что к середине 50-х годов американские специалисты отказались от концепции АСУ открытой схемы, поэтому проект самолета X-6 также был закрыт. Вместо него фирма "Конвэр" получила новый заказ на постройку двух экспериментальных атомных самолетов NX-2. Размеры машин впечатляли: длина - 45,7 м, а размах крыла 52,1 м. Расчетная продолжительность полета самолета с максимальной взлетной массой 226 т составляла 126 ч, а дальность - почти 100 тыс. км! Атомные силовые установки для NX-2 разрабатывали обе двигателестроительные фирмы - "Дженерал Электрик" и "Пратт-Уитни". По уточненным планам первый полет самолета с АСУ отодвинулся на 1965 г.

"Дженерал Электрик" разработала силовую установку X211, состоявшую из реактора и двух двигателей типа J87. При совместной работе реактора АСУ и сжигании керосина в камерах сгорания должна была обеспечиваться суммарная тяга 25 тс; на крейсерском режиме подача топлива прекращалась. "Пратт-Уитни" предложила АСУ, состоявшую из реактора с двухконтурной замкнутой системой охлаждения и модифицированного турбореактивного двигателя J58 тягой 14,7 тс на форсаже.

Как видно, разработка атомного самолета в США продвигалась медленно, поскольку проектантам приходилось постоянно преодолевать различные трудности. Интерес к самолету с АСУ со стороны ВВС неуклонно уменьшался, а вместе с ним сокращались объемы финансирования. Последний всплеск ажиотажа пришелся на 1958 г., когда журнал "Авиэйшн Уик" опубликовал сенсационную статью о советском стратегическом бомбардировщике М-50. Дело в том, что американская разведка почему-то решила, что он оснащен АСУ. "Если Россия раньше нас создаст атомный бомбардировщик, наша безопасность будет серьезно нарушена", - выра-

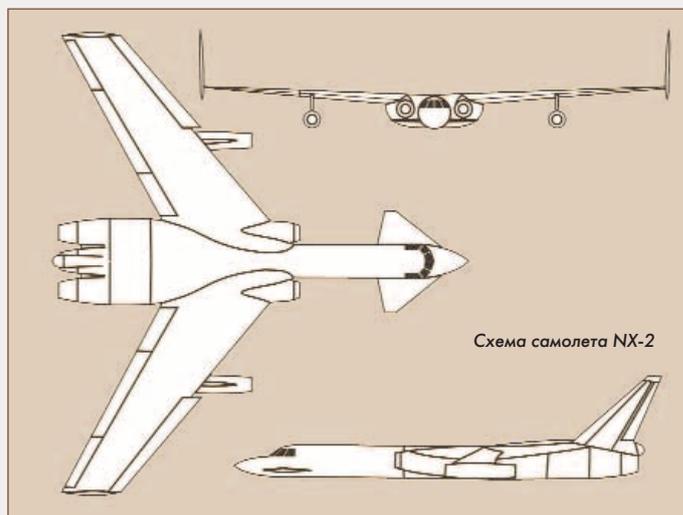


Схема самолета NX-2

зил сенатор Г. Джексон точку зрения военно-промышленного комплекса. Несмотря на авторитетное мнение научных консультантов министерства обороны, считавших, что любая финансовая поддержка программы ANP не приведет к созданию атомного бомбардировщика ранее 1970 г., программу решили форсировать.

Но энтузиазма законодателей хватило ненадолго. К тому же у американских военных к концу 50-х годов прошлого века появились неплохие альтернативы атомным самолетам в виде межконтинентальных баллистических ракет и ракетноносного подводного флота. Дозвуковой атомный самолет утратил привлекательность в глазах командования ВВС и в связи с тем, что ему нечего было противопоставить быстро нарастающей мощи зенитных ракетных комплексов, которые, как ожидалось, должны были похоронить пилотируемую военную авиацию вообще.

Окончательный приговор американской программе создания атомного самолета был вынесен 28 марта 1961 г., когда президент США Д. Кеннеди объявил о прекращении всех работ в этой области. В период с 1946 по 1961 г. американские ВВС и Комиссия по атомной энергии истратили на программу самолета с АСУ более \$7 млрд.

Мы пойдем... тем же путем!

В первые послевоенные годы, когда все усилия советских специалистов-ядерщиков были направлены на создание первой атомной бомбы, никакие исследования по вопросам применения ядерной энергии в авиации и ракетной технике здесь не велись. Но уже в начале 50-х годов под влиянием появившихся в западной печати публикаций советское руководство стало уделять проблемам ядерных двигателей для самолетов и ракет все возрастающее внимание. Первое упоминание об этом в документах высокого уровня содержится в записке по стратегическим оборонным вопросам, направленной 18 ноября 1953 г. в Президиум ЦК КПСС министрами В.А. Малышевым, Б.Л. Ванниковым, М.В. Хруничевым, П.В. Деметьевым и Д.Ф. Устиновым. В ней излагались предложения, выработанные специальным совещанием "с участием главных конструкторов по авиационной технике тт. Туполева, Мясищева, Лавочкина, Микояна; руководителей научно-исследовательских институтов авиационной промышленности тт. Макаревича, Келдыша, Дородницына и др.; главных конструкторов по ракетной технике тт. Королева, Глушко, Пилюгина, Кузнецова, Коноплева, Борисенко и руководителей научно-исследовательского института оборонной промышленности тт. Спиридонова и Янгеля; ученых-физиков Министерства среднего машиностроения - академиков тт. Курчатова, Щелкина, Александрова и др.", которыми, в частности, рекомендовалось "в целях дальнейшего улучшения летных данных крылатой ракеты ... приступить к разработке проточного воздушно-реактивного двигателя с использованием атомной энергии".

Несколько позднее в советском правительстве появились предложения о создании боевых самолетов с атомной силовой установкой. Так, в записке в Президиум ЦК КПСС от 13 октября 1954 г. первый заместитель министра обороны СССР А.М. Василевский и главком ВВС П.Ф. Жигарев отмечали, что "после восьми лет исследовательских работ над самолетом с атомной установкой в США приступили к его практическому созданию. Заключен контракт ВВС США с фирмой "Консолидейтед Валти" на постройку опытного самолета и с фирмой "Дженерал Электрик" - атомной силовой установки для него. Параллельно заключены контракты на эскизное проектирование самолета с фирмами "Боинг" и "Локхид" и атомной установки для него с фирмой "Пратт-Уитни". Некоторые зарубежные исследователи указывают, что создание самолета с атомной силовой установкой является реальной задачей, которая может быть решена в течение ближайших пяти лет". Предлагалось поручить министерствам авиационной промышленности и среднего машиностроения "проработать вопросы о создании атомной авиационной силовой установки и самолета с ней и доложить свои соображения по этому вопросу ЦК КПСС".

12 августа 1955 г. вышло Постановление Совета Министров СССР № 1561-868, в соответствии с которым к атомной авиаци-

онной проблеме подключались некоторые предприятия авиационной промышленности. Так, ОКБ-156 А.Н. Туполева и ОКБ-23 В.М. Мясищева должны были заняться проектированием и постройкой самолетов с ядерными силовыми установками, а конструкторские коллективы Н.Д. Кузнецова и А.М. Люлька - разработкой авиационных силовых установок для этих самолетов.

На первом этапе в ОКБ-156 предполагали создать наземный стенд для отработки самолетной АСУ, затем аналогичную установку планировали испытать на летающей лаборатории с целью отработки системы радиационной защиты экипажа. 28 марта 1956 г. вышло Постановление Совета Министров СССР, согласно которому в ОКБ-156 началось проектирование летающей лаборатории на базе серийного самолета Ту-95 для исследований влияния излучения авиационного ядерного реактора на самолетное оборудование, а также для изучения вопросов, связанных с радиационной защитой экипажа, и особенностей эксплуатации самолета с ядерным реактором на борту.

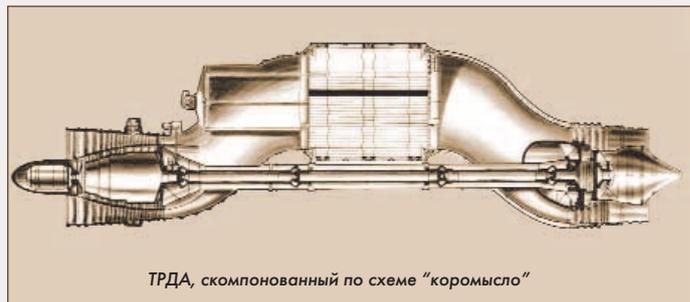
Параллельно развернулись работы и у В.М. Мясищева. Постановление ЦК КПСС и СМ СССР от 24 сентября 1955 г. (№ 1578 - 879) и приказ МАП от 30 августа 1955 г. № 572 предписывали ОКБ-23 выполнить предварительный проект сверхзвукового бомбардировщика "со специальными двигателями главного конструктора А.М. Люлька". Эта машина получила название ПАС - перспективный атомный самолет. В ОКБ-23 была открыта тема "60" и организована специальная группа "А" для разработки ПАС и его возможных модификаций.

В июле 1956 г. предварительный проект был закончен. В материалах проекта отмечалось, что для самолета с АСУ "дальность перестает играть роль решающего фактора. Эта роль переходит к высоте и скорости полета, получение приемлемых величин которых осложняется меньшей лобовой тягой атомных двигателей сравнительно с обычными ТРД". Выяснилось, что объем теплообменников в атомных турбореактивных двигателях (ТРДА) "открытого" цикла получается чрезвычайно большим (из-за необходимости контактного нагрева большого количества воздуха при высокой скорости потока). По расчетам, при одинаковой начальной энергооборуженности крейсерского полета высота над целью для самолета с АСУ получалась меньшей на 3-4 км по сравнению с обычным турбореактивным самолетом.

По оценкам ОКБ-23, атомный самолет ПАС был способен доставить боевую нагрузку массой 18 т на дальность 25 000 км со скоростью не менее 2000 км/ч. В результате проработки различных компоновок двигателей на самолете ОКБ-23 пришло к выводу о целесообразности размещения силовой установки в хвостовой части фюзеляжа, что обеспечивало минимальную массу защиты экипажа и наилучшее аэродинамическое качество самолета. ТРДА должен был иметь взлетную тягу 22,5 тс. На первом этапе испытаний ОКБ-23 считало необходимым заменить ядерный реактор ТРДА камерой сгорания, работающей на обычном топливе.

Для обслуживания атомного самолета выявилась необходимость постройки специальной базы с подземными сооружениями, включающими стационарную мастерскую с дистанционными манипуляторами для обслуживания двигателей.

На этом этапе проработки специалисты ОКБ-23 считали невозможным обеспечение визуального обзора из кабины (она была спроектирована "слепой"), что потребовало включения в состав оборудования нескольких телекамер. Масса кабины, рас-



ТРДА, скомпонованный по схеме "кормысло"

считанной на экипаж из двух человек, вместе с защитой достигла 30 % полетной массы.

В заключительном разделе проекта отмечалось: "Однако, как показала предварительная проработка, наряду с большими трудностями создания двигателя, оборудования и планера самолета, возникают совершенно новые проблемы обеспечения наземной эксплуатации самолета и защиты экипажа, населения и местности в случае вынужденной посадки.

Эти задачи в предэскизном проекте нами пока еще не решены. В то же время, именно возможностью решения этих проблем определяется, по нашему мнению, целесообразность создания в ближайшее время пилотируемого самолета с атомным двигателем". Жизнь показала, что именно угроза возникновения аварии, чреватой разрушением реактора и последующим радиоактивным заражением местности, стала важнейшим камнем преткновения на пути к атомному самолету.

Бомбардировщик "60" предназначался для использования, в соответствии с "модой" того времени, в качестве самолета-носителя самолетов-снарядов, которые имели автономную систему наведения и дальность полета 1500...3000 км. В проекте была предусмотрена и возможность применения самолета в качестве обычного бомбардировщика с внутренней подвеской боевых грузов. Однако состояние научно-исследовательских работ и опытно-экспериментальной базы по проекту "60" не позволяло приступить к рабочему проектированию и постройке такого боевого самолета.

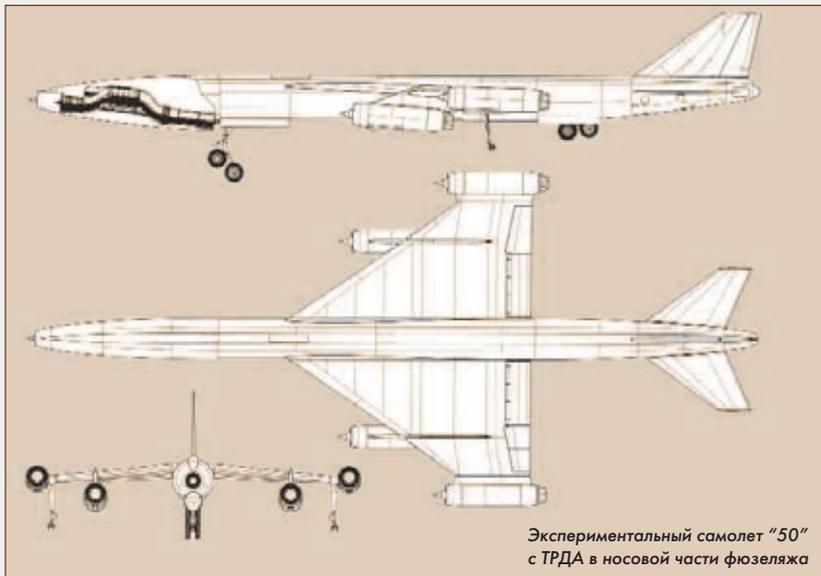
Понимание огромных трудностей, сопряженных с созданием атомного самолета, заставило специалистов ОКБ-23 выступить с предложением о создании на первом этапе чисто экспериментального самолета "50" на базе уже построенного самолета М-50 с обычной силовой установкой.

Экспериментальный ТРДА, создававшийся на базе серийного ТРД АЛ-7, решили установить необычно - в носовой части фюзеляжа, а защищенную от излучения кабину, рассчитанную на одного пилота, - в хвостовой части, подальше от реактора. Помимо ТРДА самолет планировали оснастить двумя двигателями М-16-17 на пилонах под крылом.

В 1956 г. для создания АСУ преимущественно из специалистов ОКБ А.М. Люлька сформировали специальное КБ-500, которое в дальнейшем занималось разработкой силовой установки для самолета "60". В СКБ-500 были рассмотрены два варианта ТРДА "открытой" схемы с одинаковой тягой:

- с валом турбокомпрессора, расположенным вне реактора (условное название варианта - "кормосло");
- с валом турбокомпрессора, проходящим через реактор (условное название варианта - "соосный").

Наиболее целесообразной была признана схема "соосного" двигателя, которая характеризовалась меньшим миделем, простотой конструкции и большим удобством компоновки двигателей на самолете. Атомный реактор на тепловых нейтронах имел активную зону цилиндрической формы, заключенную в торцевые и радиальные отражатели. Активная зона набиралась из керамических тепловыделяющих элементов, в которых имелись продольные каналы для прохода нагреваемого воздуха.



Экспериментальный самолет "50" с ТРДА в носовой части фюзеляжа

Очевидно, что в осевом направлении ТРДА такой схемы практически невозможно было прикрыть биологической защитой. В связи с этим попытаемся оценить, хотя бы приблизительно, с какими дозовыми нагрузками пришлось столкнуться разработчикам из ОКБ-23. Допустим, что в горизонтальном крейсерском полете аэродинамическое качество стотонного самолета составляет приблизительно 6,5 (реальная характеристика самолета М-50). Тогда суммарная тяга двигателей должна быть не менее 15 тс. С учетом неизбежных потерь ее можно обеспечить, если тепловая мощность реактора составит приблизительно 40 МВт. Для того, чтобы реактор "выдавал" указанную мощность, каждую секунду в его активной зоне должно разделиться, казалось бы, незначительное количество ядерного топлива - порядка 0,0005 г урана-235. Если полет продолжается сутки, то количество "прореагировавшего" делящегося материала достигнет 45 г (столько же, к слову сказать, расходовал за сутки движения во льдах атомный ледокол "Ленин"). "Расход топлива" по-прежнему не выглядит большим, но отношение к указанному числу резко изменится, если рассчитать дозу гамма-излучения, которая сопровождает суточную работу АСУ (без защиты) на протяжении 24 ч. Оказывается, что доза мгновенного и осколочного гамма-излучения на расстоянии 30 м от активной зоны составит 350...400 тыс. рентгенов! Еще большей получается доза, обусловленная действием нейтронов.

Теперь попытаемся определить требуемую толщину и массу биологической защиты. Будем исходить из существовавших в начале шестидесятых годов предельных доз облучения для персонала ядерных объектов (5 бэр в год). За год средний налет экипажа дальнего бомбардировщика в те времена составлял 100...150 ч, что эквивалентно 4...6 полетам атомного самолета на полную дальность. Тогда можно предположить, что за один вылет каждому члену экипажа "разрешили бы" получить дозу, составляющую приблизительно 0,8...1 бэр. Слой половинного ослабления свинцом гамма-кванта с энергией 2 МэВ приблизительно равен 1 см, поэтому для уменьшения дозы в 300...400 тыс. раз необходим слой свинца толщиной около 18...20 см. Если предположить, что диаметр защитной стенки кабины экипажа равен 2...3 м (в зависимости от количества членов экипажа), то масса свинца составит 7...16 т! Принимая во внимание необходимость защиты от нейтронов, при "поимке" порождающих весьма жесткое вторичное гамма-излучение, от которого также нужно прикрыть экипаж, а также фактор рассеивания, массу биологической защиты можно оценить в 35...45 т, о которых писали американцы в отчетах по программам NEPA и ANP. Причем груз этот из-за необходимости удаления кабины экипажа на максимальное расстояние от реактора сосредоточивается в одной из оконечностей фюзеляжа самолета, что порождает большие трудности при обеспечении нормальной центровки.



ТРДА, скомпонованный по "соосной" схеме

(Продолжение в следующем номере).

“ОПЯТЬ НЕ ВЫПУСКАЮТ САМОЛЕТ...”



Александр Николаев

Спроектированный в 50-х годах прошлого века военно-транспортный самолет Ан-12 оказал неоценимую услугу не только Вооруженным Силам СССР, но и всему народному хозяйству страны. Благодаря этой машине, обладавшей грузоподъемностью 20 т, осуществлялись масштабные переброски грузов на Крайний Север и Дальний Восток, доставлялись пополнения и вывозились раненые из горячих точек, да мало ли чего делалось! Самолет стал знакомым и близким во многих странах Европы, Азии и Африки. И сегодня гул его турбовинтовых двигателей АИ-20 можно услышать в небе России..., но от полетов в Европу "старик" уже отстранен. Все свое время. Те сто шестьдесят шесть Ан-12 (90 машин в Вооруженных Силах и 76 в различных авиакомпаниях), которые продолжают эксплуатироваться в нашей стране, устарели и морально, и физически. Еще около двухсот самолетов доживают свой век в зарубежных ВВС и авиакомпаниях. Заметим, что последние Ан-12 были выпущены Ташкентским заводом в 1972 г., и тогда их назначенный ресурс был определен в 30 лет (35 000 ч). Все эти машины сегодня требуют срочной замены.

В начале 70-х годов отечественная транспортная авиация пополнилась более тяжелым и грузоподъемным самолетом Ил-76. Главным заказчиком выступили ВВС, которые в то время стремились обеспечить аэротранспортабельность важнейшему ударному средству сухопутных войск - основному боевому танку. Поэтому в ходе нескольких этапов модернизации максимальную грузоподъемность Ил-76ТД довели до 50 т, более чем вдвое перекрыв указанный показатель самолета Ан-12. Соответственно возросла и максимальная взлетная масса машины, достигшая 190 т. По американской терминологии этот самолет стал "оперативным" (заокеанский аналог - С-141, а теперь и С-17), в то время как Ан-12 и его аналог С-130 "Геркулес" - машины "оперативно-тактического" класса. Очевидно, что при частичной загрузке и при полетах на относительно небольшую дальность Ил-76 не мог быть экономически выгодным для гражданского эксплуатанта.

Между тем расчеты, выполненные экономистами, свидетельствовали: более трети всех авиационных грузоперевозок осуществляется на дальность от 2000 до 3000 км, при этом рациональная грузоподъемность транспортного самолета составляет 25...30 т. Эти цифры известны еще с середины семидесятых годов, когда ОКБ С.В. Ильюшина приступило к проектированию двухдвигательного военно-транспортного самолета Ил-88. Сначала ильюшинцев подвел выбор двигателей: решением министра авиапромышленности И.С. Силаева разработка двухконтурных НК-56 была прекращена. Та же история повторилась, когда вместо двухдвигательной схемы для Ил-88 выбрали четырехдвигательную с запорожскими ТВВД Д-236. И тут на сцене появился Ан-70 с невероятно соблазнительными для военных летно-техническими данными, далеко превосходившими самые несбыточные мечты заказчиков...

Только факты

В январе 1986 г. постановлением правительства была задана разработка и постройка двухдвигательного пассажирского самолета Ту-204, предназначенного для эксплуатации на трассах протяженностью до 3500 км с коммерческой нагрузкой 21 т. Важнейшей задачей при создании новой машины считалось обеспечение высокой топливной эффективности и низких эксплуатационных расходов при интенсивной эксплуатации. В связи с этим много внимания уделялось аэродинамике самолета, особенно крыла (удалось получить аэродинамическое качество, равное 18). В сочетании с новыми экономичными ТРДД типа ПС-90 и высоким весовым совершенством конструкции это позволило добиться в полтора-два раза более высокой топливной эффективности по сравнению с отечественными авиалайнерами предыдущего поколения.

Распад Советского Союза привел к тому, что ведущее авиационное ОКБ, традиционно занимавшееся "транспортной" тематикой ("Антонов") оказалось за пределами России. Между тем необходимость создания машины, призванной заменить Ан-12, была очевидной для специалистов авиапромышленности. ОАО "Туполев" выдвинуло предложение о разработке такого самолета на базе уже освоенного на Ульяновском авиазаводе пассажирского лайнера Ту-204. Первоначально новый "грузовик" так и назвали - Ту-204-330. Для уменьшения стоимости разработки и минимизации технического риска в конструкции новой машины предлагалось использовать до 75 % узлов и агрегатов серийного Ту-204, включая крыло, оперение и силовую установку. Новым у этой машины должен быть только фюзеляж. В ходе эскизного проектирования ОАО "Туполев" сформировало свои предложения по облику новой машины, присвоив ей обозначение Ту-330.

Решением научно-технического совещания, организованного правительством России в ноябре 1993 г., было рекомендовано включить разработку самолета Ту-330 в Программу развития гражданской авиации России. Следует подчеркнуть - машина создавалась, прежде всего, в качестве гражданского "грузовика", но требования военных (связанные с обеспечением возможности парашютного десантирования) при ее создании учитывались, хоть и не в полной мере. Так, с целью оптимизации характеристик многоцелевого самолета исключалась эксплуатация на коротких ВПП. Отдельным пунктом решения упомянутого правительственного совещания командованию ВВС рекомендовалось "рассмотреть по результатам эскизного проектирования включение Ту-330 в программу вооружения".

В феврале 1994 г. правительству России была направлена докладная записка, подписанная В.К. Глухих, А.Н. Ефимовым и Кокошиным, где ставился вопрос "о крайне критическом положении в транспортной авиации в связи с выработкой ресурса среднего транспортного самолета Ан-12 и о необходимости его замены в кратчайшие сроки". Так оценивалась ситуация 10 лет назад! И правительство, вроде бы, внял аргументам специалистов: 23 апреля 1994 г. было принято постановление № 369, предписывавшее начать полномасштабное проектирование Ту-330 с изготовлением головной партии самолетов в 1995-1998 гг. Другим постановлением правительства России от ноября 1994 г. гарантировалась государственная поддержка Казанскому авиационному производственному объединению им. С.П. Горбунова с обеспечением финансирования конверсионной программы выпуска самолетов Ту-204-200 и Ту-330. Увы, но, по крайней мере, в отношении Ту-330 все обещания правительства остались на бумаге.

В 1995 г. положительное заключение о целесообразности разработки и серийного производства Ту-330 выдал НИИ экономики авиационной промышленности, а вслед за этим в заключении военной секции макетной комиссии, утвержденном главкомом ВВС П.С. Дейнекиным, было высказано мнение о необходимости выдачи тактико-технических требований на разработку военного варианта Ту-330.

В результате коллапса военно-промышленного комплекса страны, а вместе с ним и авиационной промышленности Российской Федерации ни одно из указанных решений не было проведено в жизнь. В 1996 г. Военный Совет ВВС оценивал "ситуацию в военной авиации и авиационной промышленности как катастрофическую" и еще раз обращался к руководству страны с предложением о срочном создании межвидового "оперативно-тактического военно-транспортного самолета Ту-330ВТ на базе среднего транспортного самолета Ту-330". В поисках источников финансирования Военный Совет ВВС предлагал "разложить" стоимость разработки Ту-330ВТ на все виды Вооруженных Сил, поскольку денег ВВС явно не хватало.

Руководство Казанского АПО им. С.П. Горбунова оказало большое содействие в организации производства Ту-330. Прежде всего оно заручилось поддержкой президента Республики Татарстан М. Шаймиева, который обратился к В.С. Черномырдину с просьбой о предоставлении гарантий минфина РФ для привлечения инвестиций в программу создания нового транспортного самолета. Несмотря на то, что гарантии так и не были даны, дело, казалось, потихоньку сдвинулось с места. Заместитель министра обороны А.П. Ситнов в июле 1996 г. утвердил протокол совещания, в котором поддерживалось предложение главкома ВВС и генерального директора ОКБ им. А.Н. Туполева о заказе и финансировании постройки двух Ту-330 на Казанском АПО. Руководство промышленного объединения потирало руки: по его просьбе разработчик передал техническую документацию по производству Ту-330 на предприятие-изготовитель.

Но в эпоху сверхдоходных государственных краткосрочных обязательств промышленное производство с его продолжительными сроками окупаемости реально не интересовало "ка-

питанов российской экономики". Ни государственных гарантий, ни тем более денег казанские авиастроители так и не дождались. А потом пришел дефолт... и новые люди к руководству страной. Эти, кажется, были настроены решительно. "Работы по созданию самолета Ту-330 недопустимо затянулись", указал Ю.Д. Маслюков министру экономики А.Г. Шаповальянцу и министру обороны И.Д. Сергееву. - Прошу всесторонне рассмотреть все вопросы, связанные с разработкой этого самолета, и доложить предложения". Следующий всплеск правительственного интереса к Ту-330 был отмечен в марте 1999 г., когда Федеральная авиационная служба совместно с минэкономки "рекомендовали включить разработку [Ту-330] в первоочередной приоритет ОКР на 1999 г. с выделением срочного целевого финансирования... и поддержать предложения Казанского АПО о выделении целевого кредита..." Минэкономки согласилось с необходимостью финансирования! Увы, правительству Е.М. Примакова судьба отпустила всего полгода, а его преемникам судьба Ту-330 показалась не слишком интересной.

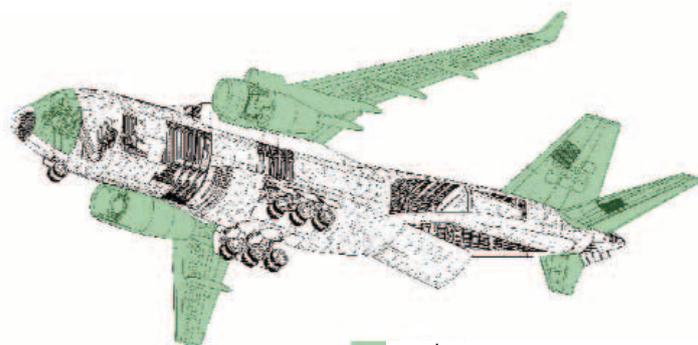
Между тем в ОКБ им. А.Н. Туполева проработали вариант машины с более совершенными и экономичными двигателями НК-93, что способствовало дальнейшему улучшению ее летно-технических данных. В январе 2001 г. на совещании руководителей Росавиакосмоса и предприятий авиационной промышленности были "одобрены представленные материалы по оснащению самолетов Ту-330 и Ту-214 двигателями НК-93", однако ни слова не было сказано о выделении госсредств. Еще большая неприятность ожидала туполевцев в "Федеральной целевой программе развития гражданской авиационной техники России на 2002-2010 годы и на период до 2015 года", утвержденной правительством Российской Федерации 15 октября 2001 г. В соответствии с этой программой окончание создания и сертификация Ту-330 переносились на 2012 г. Напрашивается вопрос: а нужен ли будет кому-нибудь в столь отдаленной перспективе "новенький Ту-330", разработка которого началась в 1993 г.?

Только расчеты

Самолет Ту-330 спроектирован по схеме моноплана с высокорасположенным крылом большого удлинения с концевыми шайбами. Турбореактивные двигатели с высокой степенью двухконтурности (два ПС-90 или в перспективе НК-93) установлены на пилонах под крылом, консоли которого позаимствованы от пассажирского Ту-204 (Ту-214). Хвостовое оперение самолета обычной схемы, с переставным стабилизатором и рулями, также не отличается от примененного на серийном "двести четвертом".

Шасси самолета состоит из шести основных опор с двумя тормозными колесами на каждой стойке и носовой двухколесной стойкой. Опоры спроектированы путем масштабного изменения соответствующих деталей и узлов стоек самолета Ту-334,

Конструктивно-компоновочная схема Ту-330



■ - унифицированные агрегаты, системы и узлы от сертифицированного самолета Ту-204



Кабина самолета Ту-330

что обеспечивает минимум технического риска. Самолет может эксплуатироваться с аэродромов с искусственным покрытием и с грунтовых полос. При взлете с максимальной взлетной массой (масса перевозимого груза 25 т) дальность полета машины составляет 3000 км, при этом потребная длина ВПП - 1800 м. Самолет оптимизирован для обслуживания трасс средней протяженности, на которых по топливной эффективности (138...140 г/т·км) он превосходит все существующие и даже перспективные транспортные машины, включая Ан-70. Если же Ту-330 получит перспективные двигатели НК-93, наземная отработка которых завершена и ведутся подготовительные работы на летающей лаборатории Ил-76ЛЛ, то машина (с удельным расходом топлива 118...122 г/т·км) сможет составить серьезную конкуренцию и аналогичной западной авиатехнике.

Комплекс пилотажно-навигационного оборудования спроектирован на базе комплекса оборудования сертифицированного самолета Ту-204. Полетная информация отображается на многоцветных электронно-лучевых индикаторах. Бортовое навигационно-пилотажное оборудование обеспечивает полную автоматизацию самолетовождения и выполнения взлета и посадки по III категории ИКАО. Проработана возможность создания пилотажно-навигационного комплекса на базе зарубежной авионики.

Система управления самолета Ту-330 базируется на системе управления самолета Ту-204. Отличительной особенностью Ту-330 является применение центральной ручки управления, что значительно повышает точность управления и безопасность полета.

В кабине экипажа самолета Ту-330, расположенной на двух уровнях, обеспечено размещение всего комплекса рабочих и бытовых помещений, необходимых для автономной эксплуатации самолета. В кабине имеются рабочие места двух летчиков, бортинженера и штурмана, а также места для борттехника, резервного экипажа и отдыха. В гражданском варианте состав экипажа может быть уменьшен до двух пилотов.

Аварийное покидание самолета экипажем обеспечивается:

- в воздухе - через шахту аварийного покидания;
- на земле - через входной и аварийный люки;



Компоновка грузовой кабины

- при посадке на воду - через верхний аварийно-эксплуатационный люк.

В грузовой кабине предусмотрены дополнительные люки для обеспечения отдельного десантирования грузов и парашютистов, а также для сокращения времени десантирования.

На базе транспортного самолета Ту-330 могут быть созданы:

- самолет-танкер для дозаправки топливом самолетов различных типов;
- самолет-госпиталь для транспортировки раненых и развертывания медицинских комплексов и эвакуации больных из районов бедствия;
- поисково-спасательный, патрульный и противолодочный варианты;
- самолет дальнего радиолокационного обнаружения и управления;
- самолет ледовой разведки и мониторинга;
- самолет для транспортировки различных сжиженных газов, в том числе и сжиженного природного газа (СПГ);
- самолет для тушения лесных пожаров и специального применения.

Реализация Программы создания и производства российского среднего транспортного самолета Ту-330 обеспечивает решение в кратчайшие сроки проблемы замены устаревшего, практически выработавшего ресурс парка самых массовых грузовых самолетов среднего класса. При этом себестоимость грузовых авиаперевозок снизится на 40...50 %, повысится безопасность полетов, значительно улучшатся экологические показатели воздушного транспорта. Кроме того, повысится технический уровень и конкурентоспособность отечественной авиационной техники.

Разработанный на базе Ту-330 оперативно-тактический военно-транспортный самолет Ту-330ВТ обеспечивает воздушную транспортировку и десантирование боевой и специальной техники, личного состава, топлива, боеприпасов, продуктов питания и других грузов. Основное отличие Ту-330ВТ от базового самолета состоит в различной комплектации бортового оборудования и снаряжения.

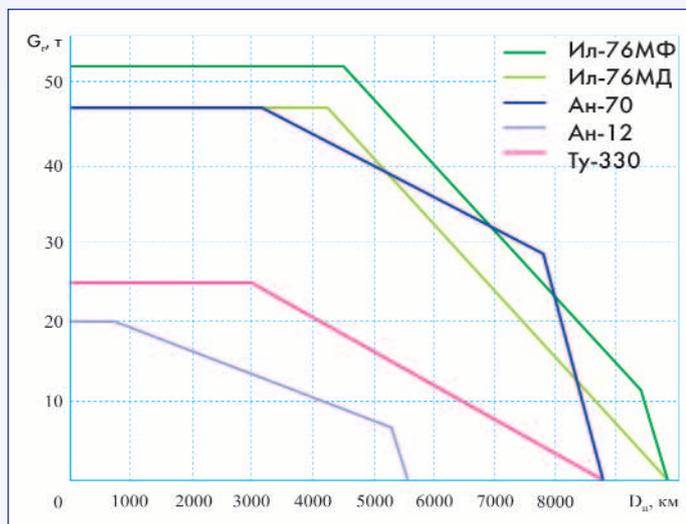
Самолет Ту-330 в военно-транспортном варианте способен перевозить до 140 парашютистов, 306 человек личного состава (на двух палубах) или 186 раненых. Санитарно-эвакуационный самолет Ту-330 с тремя медицинскими и двумя энергетическими модулями (суммарная масса 15 т) имеет дальность полета 6500 км. Самолет-танкер Ту-330 обеспечивает дозаправку в воздухе боевых самолетов различных типов с передачей 25 т топлива на рубеже 3000 км.

Потребность в Ту-330 для перевозок народно-хозяйственных грузов внутри страны оценивается в 100-120 самолетов, для выполнения авиационных перевозок силами отечественных компаний в страны ближнего и дальнего зарубежья 25-30 самолетов, для дальнего зарубежья 40 самолетов и для ближнего зарубежья 15-25 самолетов. Таким образом, ожидаемый объем производства может составить 180-215 машин.

Календарный срок службы Ту-330 - не менее 25 лет, его ресурс 45 000 ч при выполнении 20 000 полетов.

Только догадки

Почему же программа создания машины, обладающей превосходными данными, востребованной как заказчиками, так и производителями, не продвинулась дальше конструкторской документации? Быть может, кто-то в правительстве сомневается в способности ОАО "Туполев" создавать транспортные машины? Что ж, можно напомнить, что еще в 1949 г. именно туполевское ОКБ-156 разработало гигантский по тем временам четырехмоторный военно-транспортный самолет Ту-75. Создавая эту машину, туполевцы впервые в нашей стране применили опускающуюся рампу для загрузки самоходной колесной и гусеничной техники. При максимальной взлетной массе 65,4 т "семьдесят пятый" мог взять на борт 12 т груза и отвезти его на

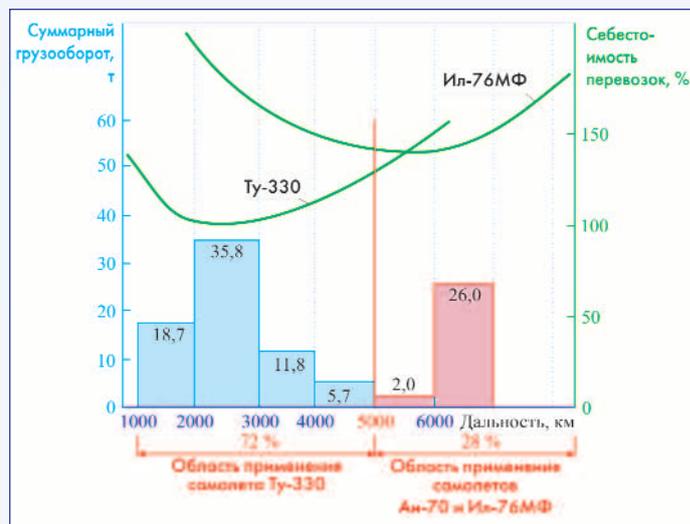


Графики зависимости максимальной массы перевозимого груза от дальности полета транспортного самолета

4000 км с крейсерской скоростью 545 км/ч. Неплохие данные для конца сороковых годов. Позднее, в 1957 г., в ОКБ-156 на базе среднего магистрального самолета Ту-104 был построен военно-транспортный вариант Ту-107.

Судя по всему, дело не в "неопытности" конструкторского бюро, история которого уходит корнями в двадцатые годы прошлого столетия. Тогда, быть может, "игрушка" получается слишком дорогой? Этот аргумент тоже не проходит, так как благодаря выбранной стратегии - разработке транспортной машины на основе уже сертифицированной и запущенной в серию пассажирской - стоимость разработки уменьшается более чем на порядок. Так, если в программу создания Ту-204 вложено более \$3,5 млрд, то на окончание разработки, изготовление двух серийных самолетов и проведение сертификации ОАО "Туполев" считает достаточными инвестиции в размере \$150...170 млн. Как ожидается, серийная машина может стоить \$25...30 млн (приблизительно по такой цене поставляет пассажирские Ту-214 Казанское АПО), что в 2...2,5 раза меньше стоимости западных аналогов и как минимум на \$10...15 млн меньше, чем стоимость более тяжелого "ближнезарубежного" Ан-70.

Сегодня страна не сможет профинансировать освоение двух военно-транспортных самолетов, это понятно даже младенцу. Да, эти самолеты (Ан-70 и Ту-330) фактически разного класса, но выбирать-то придется один из них! Но Ту-330 "точнее вписывается" в перспективную номенклатуру самолетов гражданской авиации и ВВС. Так, по мнению 30 ЦНИИ МО, в военно-транспортной авиации, транспортной авиации флота и родов войск целесообразно иметь "смешанный" парк, состоящий приблизительно из 30 % тяжелых (класса Ан-124 и Ил-76, или Ан-70) и 70 % средних военно-транспортных самолетов (Ан-12, Ту-330). По некоторым оценкам, сегодня в военной авиации до 72 % перевозок выполняется с грузом 20...25 т на



Графики зависимости суммарного грузооборота и себестоимости перевозок транспортными самолетами нового поколения

дальность около 2000...5000 км (Ил-76 приходится работать в нише "среднего" самолета ВТА). По данным ГосНИИ ГА самый массовый транспортный самолет Ил-76 в 90 % случаев возит менее 25 т. Как отмечалось выше, 25 т - это расчетная нагрузка для Ту-330. Кстати, западные авиационные специалисты, которым была предоставлена возможность тщательного изучения Ан-70, не во всем согласились с концепцией машины. В частности, в проекте А-400М обращает на себя внимание меньшая максимальная масса полезной нагрузки (35 т) и меньшая мощность двигателей (4 x 10 000 э.л.с.).

Российское министерство обороны располагает достаточным количеством Ил-76 (около 270 машин) и Ан-124 (20 машин), которые могут эксплуатироваться ориентировочно до 2010-2015 г. Минтранс России закупать "рамповые" средние и тяжелые транспортные самолеты в ближайшей перспективе не планирует. В Европе идет быстрая реализация проекта А-400М (вооруженными силами западных стран заказано 193 самолета на сумму в \$18 млрд), прямого аналога и конкурента украинской машины.

Ту-330 имеет широкую экспортную перспективу (в соответствующей ему "нише" пока только С-130J и "уходящий" Ан-12) из-за применения более современной двухдвигательной схемы и меньшей цены, а также в связи с наличием спроса на российские самолеты в странах, традиционно ориентирующихся на нашу авиатехнику. Программа Ту-330 является экономически обоснованной при серийном выпуске всего 12 самолетов. А потребность в самолетах этого класса становится все острее. Сегодня уже более 60 российских самолетов Ан-12 не поднимаются в воздух из-за полного исчерпания ресурса.

Так почему же серийное производство Ту-330 вновь и вновь тормозится? Как говорили мастера детективного жанра, ищите: кому это выгодно...

Основные летно-технические характеристики транспортных самолетов

Характеристика	Ан-12Б	Ил-76ТД	Ан-70	Ту-330
Максимальная взлетная масса, т	61	190	125,6	103,5
Максимальная масса полезной нагрузки, т	20	50	47	35
Дальность полета, км при расчетной нагрузке, т	663	3780	4700	3000
Максимальная дальность полета, км	5000	8785	8200	8800
Крейсерская скорость, км/ч	550-600	750-820	750-800	800-850
Высота крейсерского полета, км	9-10	9-11	9-10	11-12
Потребная длина ВПП, м	2460	2600	1900	2200 (1800 - ВТС)
Размеры грузовой кабины, м	13,5 x 3,5 x 2,6	24,4 x 3,45 x 3,4	22,4 x 4 x 4,1	23,5 x 4 x 4
Количество и тип двигателей	4 x АИ-20М	4 x Д-30КП	4 x Д-27	2 x ПС-90А
Тяга двигателя, кгс (мощность, э.л.с.)	(4250)	12 000	(14 000)	16 000
Расход топлива, г/т·км	231,4	228	145,6	138-140
Годы серийного выпуска	1957-1972	1974 - н.в.	2004 (?)	-

СТАНКИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ И СКОРОСТНОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ ФИРМ CHARMILLES и MIKRON (ШВЕЙЦАРИЯ)

Владимир Полюянов, к.т.н., Игорь Костычев, к.т.н.

ООО CHARMILLES & MIKRON DIFFUSION (CMD) является официальным дистрибьютором в СНГ электроэрозионных станков ROBOFORM и ROBOFIL фирмы CHARMILLES и многоцелевых фрезерных станков фирмы MIKRON для скоростной обработки. Обе фирмы входят в концерн GEORG FISCHER (Швейцария) и являются ведущими в мире производителями оборудования для производства штампов и пресс-форм. Их станки успешно используются и в основном производстве. ООО CMD, имеющее уже более чем 10-летний опыт продвижения на рынке станков фирмы CHARMILLES, кроме того является дистрибьютором электроэрозионных станков ACT SPARK, оснастки фирмы SYSTEM 3R, электродных материалов фирмы POCO GRAPHITE, расходных материалов, средств автоматизации указанных станков и запасных частей к ним. Фирма имеет отделения в Санкт-Петербурге, Екатеринбурге, Нижнем Новгороде, Тольятти, Чебоксарах, Киеве и Минске. Поставляемые станки обеспечиваются гарантийным и послегарантийным обслуживанием.

ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННЫЕ СТАНКИ фирмы CHARMILLES

В новых станках ROBOFORM 35P/54P/55P и ROBOFORM 350/550 увеличены скорости перемещений электрода по осям, что позволяет выполнять работы с уникальной эффективностью. Высокие скорости перемещений электрода по осям позволяют повысить производительность обработки, например, глухих узких пазов в деталях без прокачки рабочей жидкости, сократить время наладки, в том числе с использованием соответствующих измерительных циклов, ускорить смену инструментов и т. п.

Повышение эффективности станков ROBOFORM достигнуто благодаря:

- уменьшению времени подготовки станка к работе;
- применению генератора изоэнергетических импульсов Isopuls;
- высоким динамическим характеристикам электроприводов станка и обеспечению возможности обработки по различным схемам;

- использованию новой системы адаптивного управления разведением электродов АС при работе без прокачки рабочей жидкости;

- применению блоков К-НМ для обработки твердых сплавов;

- применению блока SPAC защиты от коротких замыканий;

- применению экспертных систем Program Expert, Pilot-Expert и Power Control Expert, обеспечивающих оптимальные режимы обработки в различных условиях, определяемых площадью обработки, глубиной внедрения электрода в деталь и т.п.;

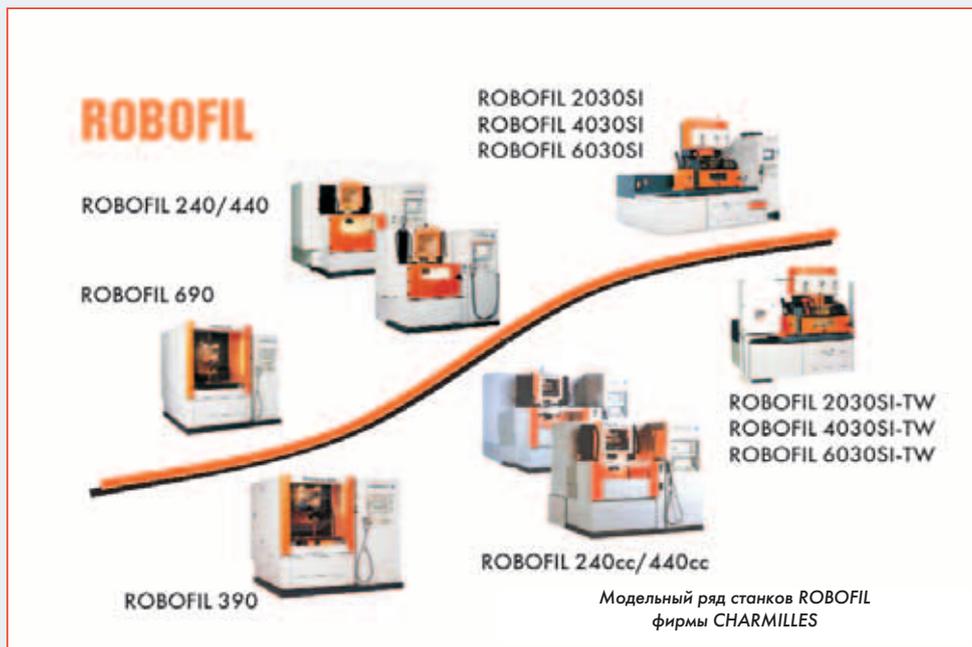
- внедрению контурной обработки фасонных поверхностей деталей вращающимися цилиндрическими электродами (электроэрозионное фрезерование);

- использованию электроэрозионной полировки;

- применению микрообработки;

- использованию системы "Авторестарт", обеспечивающей возобновление работы станка при кратковременных случайных отключениях его от сети.

Применение в проволочно-вырезных станках моделей ROBOFIL 240cc и 440cc новых цифровых генераторов импульсов CleanCut позволило довести скорость вырезки до значений, превышающих 400 мм²/мин, в том числе при обработке криволинейных контуров. Этому способствовали повышенная на 25% амплитуда поджигающих импульсов напряжения и увеличенная до 1200 А амплитуда импульсов тока, а также применение специальной проволоки с покрытием. Свойства материала обрабатываемой детали в поверхностном слое реза не изменяются, а лучшее качество поверхности обеспечивается при меньшем количестве чистовых проходов. Генератор CleanCut предотвращает возникновение явлений электролиза и электрохимической коррозии деталей на всех режимах обработки на станках ROBOFIL 240cc и 440cc, так как среднее напряжение на электродах равно нулю.



Основные технические характеристики станков ROBOFIL

Характеристики станка	Robofil 390	Robofil 690	Robofil 240/ Robofil 240cc	Robofil 440/ Robofil 440cc	Robofil 2030Si/ Robofil 2030Si-TW	Robofil 4030Si/ Robofil 4030Si-TW	Robofil 6030Si/ Robofil 6030Si-TW
Тип обработки	Обработка с поливом		Обработка с погружением				
Максимальные перемещения по осям XxYxZ, мм	400x300x250	800x800x400	350x220x220	550x350x400	318x218x114	448x318x158	62,8x39,8x15,8
Максимальные перемещения по осям UxV, мм	±15	±15	350x220	550x350	±48	±48	±48
Макс. размеры детали, мм	980x730x250	1380x1000x400	1000x550x220	1200x700x400	1130x510x250	1250x730x350	1350x690x360
Максимальная масса детали, кг	1000	2000	750	1500	500	800	800
Макс. угол наклона проволоки, ° при высоте детали, мм	±15 110	±15 110	±30 220	±30 400	±30 65	±30 65	±30 65
Диаметр проволоки, мм	0,1...0,3	0,1...0,3	0,1...0,3	0,1...0,3	0,05...0,3	0,05...0,3	0,05...0,3
Минимальная шероховатость поверхности Ra, мкм	0,28	0,28	0,28	0,28	0,1	0,1	0,1

Наибольший эффект достигается при обработке деталей большой высоты, например, пуансонов, деталей пресс-форм, экструзионных матриц и др. При использовании традиционной латунной проволоки генератор Cleancut обеспечивает повышение скорости резки на 20...30 %.

Станки серии ROBOFIL 2030 Si-TW, 4030 Si-TW и 6030 Si-TW имеют двойную систему перемотки и автозаправки проволоки для обработки с автоматической сменой проволоки одного диаметра (например, 0,25 мм) при черновой обработке на проволоку другого диаметра (например, 0,1 мм) при чистовой обработке. Это позволяет на 30...50 % уменьшить время обработки деталей по сравнению со временем обработки проволокой одного диаметра. Переход с проволоки одного диаметра на проволоку другого диаметра занимает менее 45 с. Не требуется специального программирования, так как оно выполняется одновременно для проволоки обоих диаметров.

Повышение эффективности станков ROBOFIL достигнуто благодаря:

- уменьшению времени подготовки станка к работе;
- повышению скорости вырезки;
- уменьшению требуемого числа проходов и времени обработки для получения поверхности деталей с заданной шероховатостью;
- применению стратегии предупреждения обрывов проволоки, заложенной в программном обеспечении Pilot Expert;
- применению системы Profil-Expert, обеспечивающей высокую точность обработки деталей, в том числе деталей с острыми углами кон-

тура и малыми радиусами закругления;

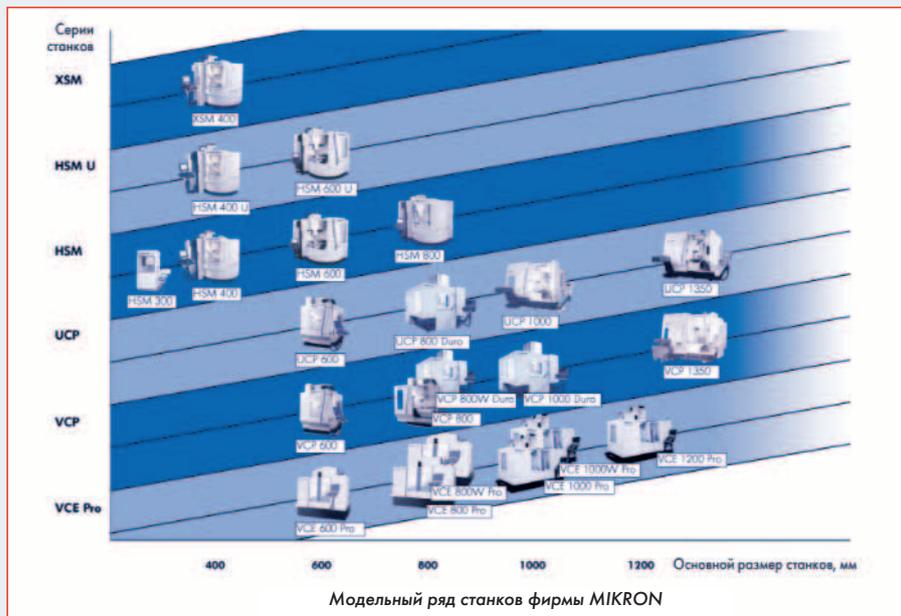
- внедрению системы Taper-Expert, обеспечивающей точную обработку конических поверхностей;
- применению эффективной системы защиты от поломок из-за возможных столкновений рабочих органов;
- внедрению системы автозаправки проволоки Thermocut, не требующей технического обслуживания;
- применению системы "Авторестарт", обеспечивающей возобновление работы станка при кратковременных случайных отключениях его от сети.



Модельный ряд станков ROBOFORM
фирмы CHARMILLES

Основные технические характеристики станков ROBOFORM

Характеристики станка	Form 20 ZNC	Roboform 22	Roboform 35P	Roboform 35P HES Roboform 350	Roboform 54P	Roboform 55P Roboform 550	Roboform 85	Roboform 2400
Максимальные перемещения по осям XxYxZ, мм	300x200x300	300x250x250	350x250x300	350x250x300	600x400x450	600x400x450	800x600x500	320x220x320
Максимальные размеры детали XxYxZ, мм	815x500x280	940x530x275	780x530x300	780x530x300	1200x850x400	1200x850x400	1600x1100x430	880x550x245
Максимальная масса детали, кг	500	200	500	500	1600	1600	4200	600
Максимальная масса электрода, кг	60	25	50	50	100	100	350	200
Количество позиций в сменнике электродов	-	4/32	4/5/16/32	4/5/16/32	6/24 48	6/24 48	7/24/48/32	4/20/40
Максимальный ток генератора, А	32/64	32/64	64	64	64/128	64/128	128	64/128
Тип ванны	неопускаемая		опускаемая		неопуск.	опускаемая		неопуск.



Модельный ряд станков фирмы MIKRON

МНОГОЦЕЛЕВЫЕ ФРЕЗЕРНЫЕ СТАНКИ фирмы MIKRON

На многоцелевых станках MIKRON возможна высокоскоростная и высокоэффективная обработка деталей сложной формы из различных материалов, в том числе из конструкционных, инструментальных сталей, электродных материалов - графита, меди, а также труднообрабатываемых материалов типа титана, закаленных сталей с твердостью до 62...65 HRC и др.

Фирма CMD предлагает станки MIKRON следующих серий:

- XSM - станки с 3-осевым управлением для сверхскоростной обработки (скорость быстрых перемещений до 80 м/мин, ускорения - до 2,5 g, частота вращения - до 60 000 мин⁻¹);
- HSM - станки с 3-осевым управлением для скоростной обработки (скорость быстрых перемещений до 40 м/мин, ускорения - до 1,7 g, частота вращения - до 60 000 мин⁻¹);

- HSM U - станки с 5-осевым управлением для скоростной обработки;
- VCP - станки с 3-, 4- и 5-осевым управлением для скоростной обработки;
- UCP - универсальные станки с 5-осевым управлением для скоростной обработки;
- VCE Pro - станки нормальной точности.

Станки указанных серий оснащены электрошпинделями, отличающимися максимальной частотой вращения, максимальным крутящим моментом, мощностью и конструкцией в зависимости от назначения станков. Все перечисленные станки кроме станка модели XSM400 оснащаются системами ЧПУ фирмы HEIDENHAIN. Станок модели XSM 400 имеет оригинальную УЧПУ EXPERT CYCLONE, разработанную фирмой MIKRON.

В станках моделей HSM U, VCP и UCP с 5-осевым управлением используются наклонно-поворотные столы. В станках больших типоразмеров серии UCP используются поворотные столы с прямым приводом и поворотные шпиндельные головки.

Станины большинства высокоскоростных станков выполнены из полимербетона типа Renocast.

Большая часть станков MIKRON оснащена устройствами смены палет (спутников) с деталями.

В состав некоторых станков введены роботы для смены инструментов и палет с многоместными магазинами.

Компактные станки серий XSM и HSM портального типа с встроенной системой смены спутников отличаются самым удобным (по сравнению с аналогичными станками других изготовителей) доступом к зоне обработки.

Сегодня ни одно предприятие не может игнорировать возможности и методы электроэрозионной обработки и скоростного фрезерования, реализуемые современными станками фирм CHARMILLES и MIKRON, которые позволяют решить многие производственные проблемы. **MI**

Основные технические характеристики фрезерных обрабатывающих центров MIKRON

Модель	Макс. перемещения по осям XxYxZ, мм	Макс. частота вращения шпинделя, мин ⁻¹	Макс. скорость перемещений по XxYxZ, м/мин	Макс. ускорения по осям XxYxZ, м/с ²	Рабочая поверхность стола, мм	Макс. нагрузка на стол, кг
XSM 400	400x450x350	60000	80	25	320x320	200
HSM 400	400x450x350	60000	40	17	320x320	200
HSM 400U	400x240x350	60000	40	17	320x320	25
HSM 600	600x600x500	42000	40	17	700x600	800
HSM 600U	600x600x500	42000	40	17	700x600	120
HSM 800	800x600x500	42000	40	17	900x600	1000
VCP 600	600x450x450	12000	30	-	850x530	400
UCP 600	600x450x450	12000	30	-	Диам. до 400	200
VCP 800	800x450x450	12000	30	-	1050x590	400
VCP 1000 W	1000x750x750	24000	30	-	1150x750	1000
UCP 1000 (5 осей)	800x1000x655/875	15000	30	-	Диам. до 800	400/1000
UCP 1000 (4 оси)	1000x1000x755/875	15000	30	-	Диам. до 1000	1000
VCP 1350	1350x900x750	24000	30	-	1425x875	1800
UCP 1350	1350x1150x700 (895)	24000	30	-	Диам. до 1100	1500
VCE 600 Pro	600x500x540	8000	24(X,Y)/20 (Z)	-	700x500	800
VCE 800 Pro	800x500x540	8000	24(X,Y)/20 (Z)	-	910x500	1100
VCE 800W Pro	860x560x600	8000	24(X,Y)/20 (Z)	-	1000x560	1350
VCE 1000 Pro	1020x560x600	8000	24(X,Y)/20 (Z)	-	1000x560	1350
VCE 1000W Pro	1100x600x675	8000	24(X,Y)/20 (Z)	-	1220x620	1700
VCE 1200 Pro	1200x600x675	8000	24(X,Y)/20 (Z)	-	1220x620	1700



По всем вопросам, связанным с технологическими возможностями электроэрозионных станков ROBOFORM и ROBOFIL, а также фрезерных станков для высокоскоростной обработки и их приобретением, можно обратиться к эксклюзивному дистрибьютеру станков ООО CHARMILLES & MIKRON DIFFUSION.

Тел.: (095) 219-9604, 218-9246.

Факс: (095) 232-3625, E-mail: lazer@orc.ru

АВИАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ МЕДИЦИНЫ

Андрей Червяков, ведущий инженер-технолог, к.т.н., ФГУП "ММПП "Салют"
Александр Лизнов, заместитель директора по производству, ООО "Стеклотон"
Виктор Бойных, старший научный сотрудник, ВЭИ

Как бы мы ни оберегали себя и своих близких, но - увы: "Знал бы где упасть..." Перелом - это неприятность, с которой хотя бы раз в жизни пришлось столкнуться, наверное, каждому. И после этого грустного события самое главное - быстро, наименее травматично и без последствий устранить его последствия. Природа распорядилась так, что сломанные кости могут срастаться. Для того, чтобы дать организму возможность спокойно регенерировать пораженный участок, применяются всякого рода имплантанты. Технологические процессы, используемые при производстве самых современных авиационных двигателей, с успехом могут быть применены и в этой области.

Имплантанты (спицы, пластины, винты), применяющиеся в настоящее время в странах СНГ при оперативном лечении переломов - остеосинтезе, изготавливают из аустенитных сталей: хромоникелевой 12Х18Н9Т, хромоникельмолибденовой 03Х17Н14М3 (316L). Они достаточно прочны и сравнительно дешевы (сталь 12Х18Н9Т - около 80 рублей или менее \$2,5 за килограмм) по сравнению с медицинскими титановыми ВТ6С или циркониевыми Н-1, Н-2,5 сплавами (от \$20 за килограмм), специальными медицинскими сплавами на кобальто-хромовой основе "Комохром", "Виталиум" - HS21, "Вирониум" и др. (от \$200), ниобием (от \$100) и танталом (около \$1000).

Но, к сожалению, в отличие от всех перечисленных сплавов, допущенные для широкого применения в остеосинтезе нержавеющей стали не обладают требуемым уровнем биоинертности. Согласно официальной статистике при использовании спиц для остеосинтеза из нагартованной нержавеющей стали 12Х18Н9Т у 7,8 % больных возникает воспаление, обусловленное именно недостаточной биоинертностью материала спиц. Это связывают с высоким содержанием никеля. По международному стандарту ИСО 9001 материал для имплантантов, содержащий более 1 % никеля, относится к категории токсичных. В отечественной медицинской практике они пока широко применяются.

Исследования, проведенные в Московском авиационном университете (МАИ) совместно с ММА им. Сеченова, ГУН "ЦИТО" им. Приорова и ИМЕТ им. Байкова, позволили разработать новую технологию изготовления имплантантов из медицинской нержавеющей стали с биосовместимыми покрытиями на основе циркония, ниобия и их соединений (нитридов, карбонитридов, оксикарбонитридов), нанесенными ионно-плазменным методом. На эту разработку получено Свидетельство на полезную модель № 20450 от 25.04.2001 "Металлический имплантант различного назначения для травматологии и ортопедии". Как показали гистологические исследования тканевой реакции, проведенные на белых лабораторных крысах, биоинертность конструкций из таких элементов вчетверо лучше, чем у медицинской нержавеющей стали, и вдвое превосходит этот параметр у медицинского титанового сплава ВТ6С.

Для образования покрытий такого рода можно использовать различные установки, позволяющие применять вакуумные технологии ионно-плазменного напыления. Однако ни одно из устройств, выпущенных до настоящего времени, не удовлетворяло технологическим и эксплуатационным требованиям. Дело в том, что для нанесения биосовместимых покрытий на имплантанты сложной формы с требуемой производительностью необходимо обеспечить относительно низкую температуру подложки (до 400 °С). В связи с этим в качестве генератора металлической плазмы был применен разработанный специалистами Всероссийского электротехнического института специальный высокопроизводительный плазмотрон - торцевой холловский ускоритель плазмы с отдельным охлаждаемым анодом. Для работы с ним использовались отдельные части стандартной установки вакуумного напыления УВН-2М, изготовленной ещё в 80-е годы, и ультразвуковая система очистки и подготовки обрабатываемых поверхностей. Из этих составляющих был сконструирован уникальный

комплекс для нанесения вакуумных многофункциональных ионно-плазменных покрытий. Больше всего сил и времени было затрачено на поиск оптимальной компоновки применяемых агрегатов, правильных технологических режимов и совмещение отдельных подпроцессов работы. Для этого комплекса были созданы технологии формирования ионно-плазменных покрытий на основе циркония, ниобия и их соединений для широкого спектра изделий из различных конструктивных материалов. Нарботанные методики обеспечивают стабильность структуры покрытий и улучшение эксплуатационных свойств деталей (биоинертности, твердости, износостойкости, адгезионной прочности сцепления покрытий с подложкой).

Модернизированные с нашим участием имплантанты в настоящее время уже прошли клинические испытания в отделении острой травматологии 31 городской больницы. Получены самые обнадеживающие положительные результаты. Несмотря на то, что себестоимость имплантантов из нержавеющей стали в результате нанесения покрытий увеличивается при серийном производстве примерно на 20 %, планируемый годовой экономический эффект от использования только в ГУН ЦНИИТО им. Н.Н. Приорова новых имплантантов взамен стандартных изделий из стали и титановых сплавов составляет 9,27 млн рублей. Столь значительный эффект обусловлен сокращением в несколько раз вторичных травмирующих процессов (воспалений) у больных благодаря увеличению биоинертности имплантантов. На наш взгляд, было бы целесообразно объединить усилия организаций и предприятий, заинтересованных во внедрении нового уникального материала.

Разработанный нами комплекс получился многофункциональным, поэтому спектр производимой им продукции можно еще расширить. Он применим при решении как новых задач в области медицины, так и проблем других областей: точной механики, ювелирной промышленности, машиностроения. И это - тоже тема для разговора. **А**



ДВИГАТЕЛЕСТРОИТЕЛЬНАЯ

АРХЕОЛОГИЯ

Дмитрий Боев



Перед самыми Ноябрьскими праздниками 2003 года энергетики Центрального института авиационного моторостроения (ЦИАМ) взялись прокладывать новый контур заземления для нужд институтской АТС. Работы проводились внутри П-образного в плане административного корпуса ЦИАМ. Если помните, мы уже неоднократно помещали материал о "тайнах" этой площадки. Полагаю, стоит опять вернуться к этой теме, поскольку... 5-й или 6-й вбиваемый в землю трехметровый металлический штырь заземления уперся в пустотелую металлическую массу на глубине 1,5 м. **А ведь это - сенсация, коллеги!**

Еще в третьем номере журнала "Двигатель" за 1999 год мы давали информацию о судьбе коллекции зарубежных авиационных поршневых двигателей 20...50-х годов XX века, принадлежавшей ЦИАМ. В свое время все они были экспонатами развернутой в этом институте выставки новинок мирового двигателестроения.

В пятом номере 1999 г. свое мнение по этому вопросу высказывал Сергей Сиротин, советник администрации института, до недавнего времени заместитель начальника ЦИАМ. Он пришел в институт в 1946 г., а в начале 50-х годов (времени описываемых им событий) руководил испытательным стендом У-330. К сожалению, с 2001 г. Сергея Александровича уже нет в живых, потому никакие уточнения не могут быть даны. В этой публикации я даю полную запись разговора с ним. Вот что он нам рассказал.

"Действительно, в институте существовала выставка препарированных поршневых двигателей, агрегатов, отдельных узлов. Это были и "популярные" в свое время конструкции типа моторов "Мерлин" или "Испано-Сьюиза" и довольно редкие, а потому еще более интересные, такие, как "Центавр" воздушного охлаждения. Всего экспонатов было более шестидесяти, и занимали они целое крыло второго этажа современного административного корпуса ЦИАМ. Все было препарировано и снабжено различного рода пояснительными подписями. Я пришел в институт после войны и неоднократно бывал на этой выставке. Руководил экспозицией Виктор Адольфович Комаровский. Он же проводил и обзорные лекции. Иногда к лекциям по отдельным агрегатам и конструкциям для специалистов отрасли привлекались научные сотрудники института.

В начале 50-х по минавиапрому был издан приказ министра [Дементьева] о прекращении всех рассчетанных на перспективу работ, связанных с поршневыми авиамоторами. Промышленность этот приказ исполнила, а ученые бросать обычные темы не торопились: очень много было наработок, да и просто привыкли к своим поршневым. Начальником ЦИАМ в 1954 г. был назначен Н.П. Кононенко. Человек военный и решительный, он весьма просто решил проблему перевода ученых на новую тематику. Во внутреннем дворе административного здания во время войны был бункер бомбоубежища, разрушенный после Победы

(точнее говоря, самостоятельно сгоревший: кто-то из рабочих, наладившихся "забывать козла" в обед в деревянном подвале-убежище, оставил непотухший окурок, и вот...). Образовавшуюся после пожара яму и решили заполнить разным мусо-

ром: металлоломом, щебнем, и... экспонатами выставки поршневых двигателей. Дело в том, что металлоломом пункты приема вторичного сырья были после войны страшно переполнены, а вести все эти мелочи на свалку себе дороже. Часть коллекции - конструкции отечественного производства - передали в моторостроительный техникум и МАИ - в собрания Г.С. Скубачевского и С.В. Савицкого (они, возможно, и по сей день там). Прочему судьба была определена: списание.

Виктор Адольфович Комаровский, руководивший выставкой, бывший военный, как и начальник института, тоже был весьма исполнителен и аккуратен до педантичности. Получив приказ о ликвидации выставки и складировании матчасти во дворе, он исполнил его буквально: распорядился промазать все элементы пушечным салом, обмотать крафт-бумагой, большинство еще и упаковать в ящики. Все это аккуратно спустили через окно по специально сколоченным настилам во двор, где и... закопали. Инициатором консервации и "сохранения" выставки в качестве клада выступил известный ученый К.В. Холщевников. Не имея возможности каким-либо иным способом сохранить технические шедевры, он, видимо, полагал, что потомки (мы с вами) окажутся мудрее современников, а посему и не считал излишней работой всю эту возню со смазкой. Позже сверху "закопок" комсомольцы института посадили на одном из субботников яблони. И... забыли об этих двигателях. А в бывших помещениях музея и доньше располагается организованная в 1948 г. под руководством Т.Н. Мелькумова на базе нескольких отделов института лаборатория по изучению процессов горения топлива в камерах сгорания ВРД.

Примерно через год начальника института сменили, назначив на эту должность талантливого и очень энергичного ученого Г.Н. Свищева, руководившего всеми работами по переходу к реактивной тематике. Всем стало уже не до поршневых раритетов."

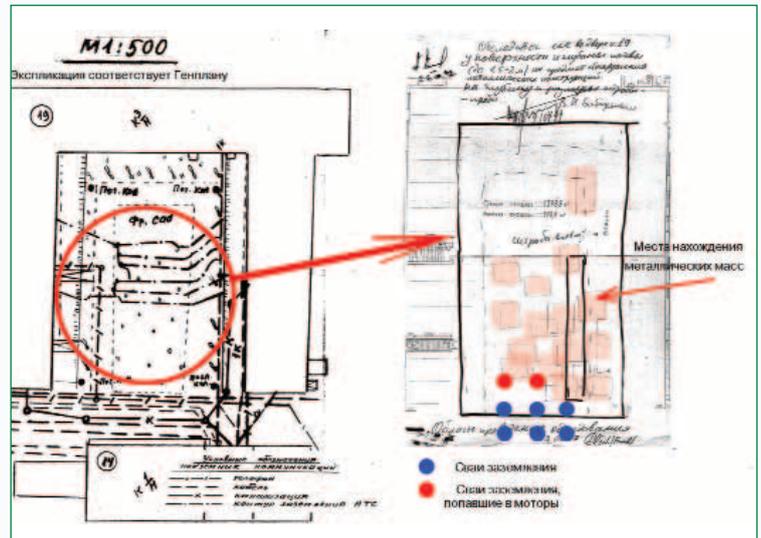
Впервые мое внимание к существованию закопанных моторов привлек еще в начале 80-х Э.М. Рейн, тогдашний главный энергетик ЦИАМ. В пору проведения этих работ он был начинающим инженером - электриком и принимал в них участие, как комсомолец. Он же был одним из инициаторов закладки яблоняного сада поверх закопанных двигателей. Позже, руководя работами по прокладке первого контура заземления в том же сквере, он видел верх от некоторых еще целых ящиков.

О том же говорил А.А. Базалев, мастер-механик одного из отделов ЦИАМ и ветеран полка "Нормандия-Неман". Он вместе с другими рабочими участвовал в перемещении ящиков из окна второго этажа административного корпуса (музея). Однако все попытки конкретизации места складирования моторов не привели к желаемому результату: естественное (увы!) свойство человеческой памяти - забывать. Так, в попытках более точно определить места складирования мы обращались к жене умершего около двадцати лет назад Комаровского, Лидии Тимофеевне (она и по сию пору не теряет контакта с ЦИАМ), однако она не решилась точно указать место складирования двигателей, ссылаясь на давность лет.



Руководитель работ А. Свиридов (справа) демонстрирует специалистам - К. Басову и А. Гомбергу - найденную на глубине 1,5 м пружину клапана поршневого авиационного двигателя

Еще осенью 1997 г., используя технику и помощь Спеццентра МЧС, мне удалось достаточно определенно оконтурить места нахождения металлических аномалий в интересующем месте. Карта этих зон была составлена довольно подробная, впрочем, точно утверждать: "таинственный клад" ли это или просто ржавые кровельные листы и станины разрушенных станков, можно только после хотя бы пробных раскопок. Однако в тот год все ушло под снег. Дожливое лето 1998 г. не благоприятствовало раскопкам. Наконец, в середине 1999-го, перед самым МАКС'99, были начаты работы, которые прервались едва начавшись по "техническим причинам" - отсутствию людей и средств. До следующего года стоял открытый "окопчик" около метра глубиной - начало шурфа. Его закопали на следующий год, когда приводили все в порядок к 70-летию ЦИАМ. К МАКС-2001 как и к -2003 никаких работ не производилось. В таком положении все и находится доныне. Конечно, со временем эти раритеты только дорожают. И если бы они на самом деле были золотыми! А так - ржавеют себе потихоньку.

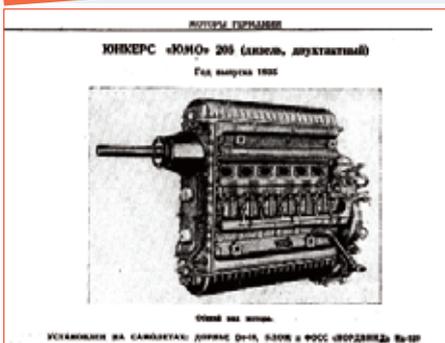


Со временем вся эта история превратилась в еще одну ЦИАМовскую побасенку (их вообще предостаточно накопилось за более чем 70-летнюю историю института). Новый контур заземления прокладывался как раз в месте моих "легендарных" исследований. И опять все произошло под зиму: судьба раскопок проблематична. Посмотрим, что будет с нашими сокровищами на этот раз. Впрочем, чтобы подогреть интерес к этому вопросу, публикую копию подлинной карты этого места, по которой я в свое время проводил замеры с помощью металлоискателя МЧС. Это - выкопировки из генплана с добавленными обозначениями и местами "находок" этого года... Может, что и сдвинется с места?

А впрочем - читайте нижеследующую статью!



РЕКВИЕМ ПО ПРАДЕДУШКЕ



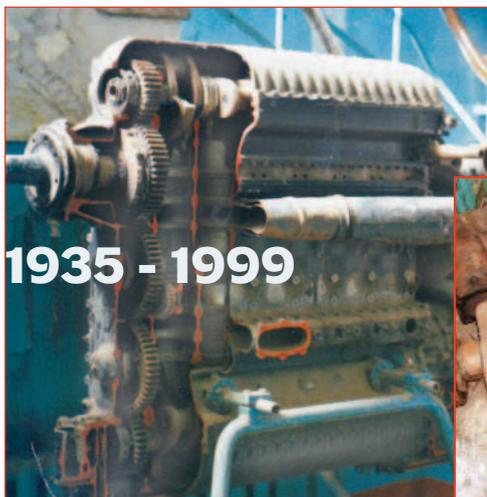
Работая над статьей по деятельности А.Д. Чаромского, создателя ЦИАМ, серийного отечественного авиадизеля АЧ-30Б и еще ряда организаций и конструкций, я наткнулся на материал по немецкому трофейному дизелю Jumo 205. В конце 30-х гг. этот мотор привезли в Советский Союз из Испании со сбитого самолета и испытали на стенде в ЦИАМ (страничку из справочника НКАП 1939 г. привожу здесь). В 1953 г., А.Д. Чаромский, работая в НИЛД - научно-исследовательской лаборатории двигателей на территории ЦИАМ, сконструировал мощный четырехцилиндровый турбопоршневой дизель М-305 по схеме, позаимствованной у Jumo 205: с парой поршней, двигающихся встречно в одном цилиндре. В 1954 г. А.Д. Чаромский выходит с предложением о создании дизеля для среднего танка на основе М-305. В 1959 г. танковый двухтактный двигатель 5ТД успешно прошел межведомственные испытания. Большая часть наших танковых дизелей послевоенной постройки берут начало от этой разработки. Иначе говоря, этот немецкий авиационный двигатель некоторым образом "пращур" наших танковых дизелей. Он уникален: такого двигателя, кажется, не осталось и у германских фирм-производителей. Возможно, это был единственный экземпляр в мире. Говоря проще, двигатель имел несомненную историческую ценность для нас и абсолютную продажную цену как редкость (по разным оценкам, аукционная цена в аналогичном случае колеблется в границах \$1,5...2,5 млн).

В 1999 г. известный двигателестроитель профессор Д.Д. Гилевич обратился в ЦИАМ с письмом о временной передаче Jumo 205 в музей МАИ, поскольку раритет находился в заброшенной части бывшего здания НИЛД в грязи, пыли и небрежении. В этой просьбе было отказано под тем предлогом, что ЦИАМ будет создавать свой собственный музей. Вроде бы даже и энтузиасты этого дела были... Стоит же пока сия редкость, каши не просит, ну и пускай себе еще постоит. Как же! В ноябре 2003 г. выяснилось, что некие весьма предприимчивые идиоты за последние годы славно потрудились, разобрав весь двигатель и разбросав его внутренности. Все, очевидно, для того, чтобы алюминиевый корпус и такие же поршни продать в металлолом. Ребята хорошо заработали: наверное на пару бутылок хватило, а может даже и на целых три!

Определение канцлера Горчакова о состоянии дел в России действительно уже третий век: "Воруют!" Раритета больше не существует. К сожалению, это не сенсация: это современная обыденность. И это - еще одна наша потеря. И не похоже как-то, чтобы кто-то уж очень плакал по тому, что не сохранили. Одно хорошо: не успели откопать зарытые двигатели (см. выше). Наверное, давай-те с этим обождем. ❗

За сим:

Ваш Д.М. Боев



1935 - 1999



2003...

зарытые двигатели (см. выше). Наверное, давай-те с этим обождем. ❗

За сим:

Ваш Д.М. Боев

ВИБРОАКТИВНОСТЬ И ВИБРОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ТУРБОНАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ ЖРД

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

(Окончание. Начало в № 5, 2003)

2. Виброчувствительность элементов системы подачи топлива

2.1. Пульсации давления, возникающие при вибрациях насосов

Быстроизменяющиеся механические, гидравлические и газодинамические силы, действующие в ТНА, газогенераторе и камере сгорания ЖРД вызывают появление вибраций элементов системы подачи топлива. Вибрации, в свою очередь, порождают и усиливают пульсации в гидравлических и газовых трактах и соответствующие изменения параметров рабочего процесса в агрегатах. Вынужденные колебания жидкости могут приводить к различным нежелательным и даже опасным явлениям: нарушению управляемости двигателей и ракет, кавитационному срыву работы насосов, неравномерности подачи жидкости потребителям, потере устойчивости рабочего процесса в огневых агрегатах и др. Для прогнозирования условий возникновения подобных явлений необходимо установить характеристики виброчувствительности элементов системы. Влияние вынужденных механических колебаний конструкции на амплитуды пульсаций давления и расхода исследовалось в модельной системе подачи топлива ЖРД. В отличие от прочностных виброиспытаний целью данного исследования являлось определение функциональной виброчувствительности элементов топливных систем.

Исследованию подвергалась гидросистема с ТНА, состоящая из питающего и напорного трубопроводов, двух шнекоцентробежных насосов и одноступенчатой турбины. Исследуемый ТНА устанавливался на подвижной платформе, совершающей колебания в вертикальном направлении перпендикулярно оси ротора ТНА. Колебания платформы возбуждались с помощью механического вибратора эксцентрикового типа с приводом от электромотора. К ТНА были подключены трубопроводы с упругими элементами, соединяющими их с магистралями стендовой системы. Амплитуда виброускорений (перегрузок) корпуса ТНА задавалась пропорциональной квадрату частоты. Испытания проводились на установившихся и переходных режимах ТНА. Амплитуды перегрузок δn_x определялись с использованием известной формулы

$$\delta n_x = (\varepsilon/g) \cdot (2\pi f)^2,$$

где ε - эксцентриситет задатчика вибраций;

f - частота колебаний.

В ходе испытаний измерялись пульсации давления в различных сечениях гидросистемы, в том числе по тракту насосов, и виброперегрузки на корпусе ТНА и на подвижной платформе.

Графики типичных переходных процессов, полученные в условиях низкочастотных вибраций систем ТНА, приведены на рис. 3. Под действием вибраций в гидравлическом тракте насоса и в подсоединенных к нему трубопроводах возникали пульсации давления, частота которых соответствовала частоте механических колебаний. Анализ результатов многочисленных испытаний свидетельствовал, что амплитуда пульсаций давления достигает максимального значения ($\delta p_1 = 0,05 \dots 0,5$ МПа) перед насосами. В тракте насоса (за колесом) и в напорной магистрали амплитуда пульсаций была значительно меньше ($\delta p_2 = 0,02 \dots 0,2$ МПа). При регистрации колебаний давления на выходе из насоса не отмечалось наличия фазового сдвига по отношению к колебаниям на входе. На рис. 4 показана зависимость относительных амплитуд колебаний давления от частоты. Нетрудно убедиться в том, что в исследованном диапазоне частот (20...70 Гц) явление резонанса не наблюдалось.

Амплитуда пульсаций δp возрастала пропорционально амплитуде перегрузки δn_x , что приводило при данном типе вибратора к квадратичной зависимости величины δp от частоты. Исследования показали, что амплитуда пульсаций оказалась пропорциональной характерным линейным размерам элементов l_x в направлении линии действия перегрузок: $\delta p = \lambda \cdot l_x \cdot g \cdot p_{ж} \cdot n_x$.

Коэффициент λ , зависящий от граничных условий, как правило, не превышает 1. За характерный линейный размер центробежных насосов при перегрузках, действующих в перпендикулярном оси вращения направлении, приблизительно можно принимать наружный диаметр рабочего колеса ($l_x = D_2$). Результаты расчетов, выполненных при этом допущении, хорошо согласуются с экспериментальными данными. Вклад пульсаций давления, возбуждаемых в тракте насоса, в амплитуду колебаний давления в напорной магистрали составляет $\sim 10\%$, остальные 90% вызваны колебаниями расхода жидкости во входных трубопроводах. Следует отметить, что у испытывавшейся установки вертикальные участки трубопроводов имели значительную длину. Анализ полученных экспериментальных данных свидетельствовал о том, что передаточные функции систем подобного типа для переменной составляющей давления в различных сечениях могут быть описаны уравнением следующего вида:

$$P(S) = \delta p_i / \delta n_x = -p \cdot g \cdot l_{xi} (1 - (L_{\Sigma} / l_{xi}) \cdot (R_i / R_{\Sigma}) \cdot (T_i S + 1) / (T_{\Sigma} S + 1)),$$

где δp_i и δn_x - величина переменной составляющей давления в i -м сечении и вызвавшая ее переменная составляющая виброперегрузки;

l_{xi} и L_{Σ} - характерные размеры участков тракта системы в направлении действия перегрузки (от бака до i -го сечения) и всего тракта (от бака до потребителя расхода);

$T_i = L_i / R_i$ и $T_{\Sigma} = L_{\Sigma} / R_{\Sigma}$ - инерционные постоянные времени жидкости в тракте;

R_i и R_{Σ} - коэффициенты линейного гидравлического сопротивления соответствующих участков тракта;

L_i и L_{Σ} - коэффициенты гидравлической массы соответствующих участков тракта;

S - комплексный аргумент передаточных функций.

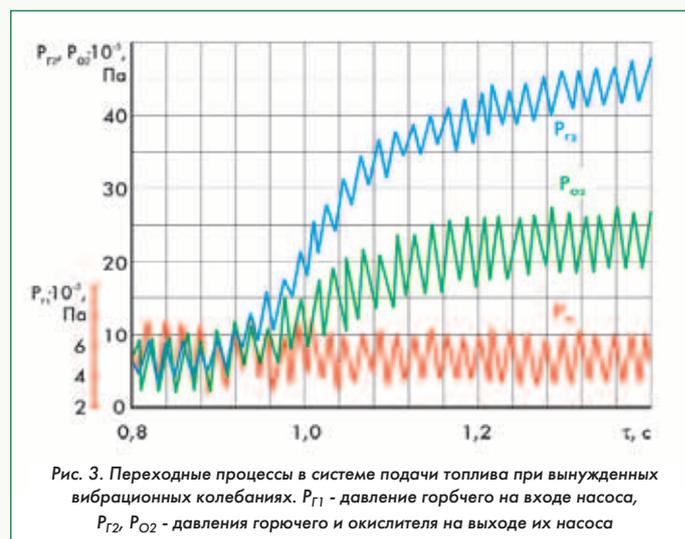


Рис. 3. Переходные процессы в системе подачи топлива при вынужденных вибрационных колебаниях. $P_{Г1}$ - давление горючего на входе насоса, $P_{Г2}$, P_{O2} - давления горючего и окислителя на выходе их насоса

Передаточные функции этого вида, составленные в предположении о несжимаемости жидкости, хорошо описывают картину вынужденных колебаний давления в гидросистемах рассматриваемого типа при относительно низких частотах колебаний (меньших, чем первые резонансные частоты их элементов).

Для турбонасосных систем подачи топлива ЖРД при характерных размерах участков внутривыкатных трубопроводов $l_{\text{ж}} < 1...2$ м и значениях скорости звука в жидкости $a = 800...1200$ м/с значения собственных частот первого тона колебаний жидкости в элементах системы являются достаточно высокими и составляют $f > 150...200$ Гц. Поэтому в практических приложениях приведенным выше выражением передаточной функции можно пользоваться при анализе пульсаций давления в диапазоне частот от 0 до 100...200 Гц. Анализ вибрационных явлений в указанном диапазоне частот играет важную роль при отработке нестационарных режимов ЖРД, но является пока еще недостаточно обследованным.

2.2. Пульсации давления в вибрирующих трубопроводах

В связи с существенным влиянием размеров и гидравлических параметров трубопроводов на характеристики вынужденных вибрационных колебаний жидкости в топливных системах ЖРД было проведено специальное исследование динамики изолированных трубопроводов, заполненных жидкостью, при воздействии на них механических возмущений. Исследование вибрационных процессов в трубопроводах производилось с помощью разнообразной измерительно-регистрационной аппаратуры, что позволило выявить экспериментально, а затем подвергнуть теоретическому анализу некоторые ранее не принимавшиеся во внимание гидродинамические явления, связанные с распределением пульсации давления по длине и поперечному сечению вибрирующих трубопроводов при различных условиях на их концах.

Заполненные водой прямые цилиндрические трубопроводы ($l = 1000$ мм и $d = 50$ мм) устанавливались на подвижной платформе механического вибратора в различных положениях относительно направления действия колебательной перегрузки. Амплитуды пульсаций давления измерялись в трех сечениях по длине трубопроводов. В каждом сечении были установлены по три датчика: два в плоскости действия перегрузки и третий под углом 90° к двум другим. Амплитуды и частоты колебаний измерялись вибродатчиками, смонтированными на подвижной платформе и на концевых участках трубопроводов. Испытания проводились без протока жидкости при различных значениях давления в трубопроводах, частоты вынужденных колебаний находились в диапазоне 20...70 Гц.

Анализ результатов испытаний позволил сделать следующие выводы. В горизонтальных трубопроводах, расположенных перпендикулярно направлению действия виброперегрузок, колебания давления в различных по длине трубопроводов сечениях имеют близкие амплитуды и одинаковые основные частоты. Распределение амплитуд по поперечным сечениям трубопроводов неравномерное: мак-

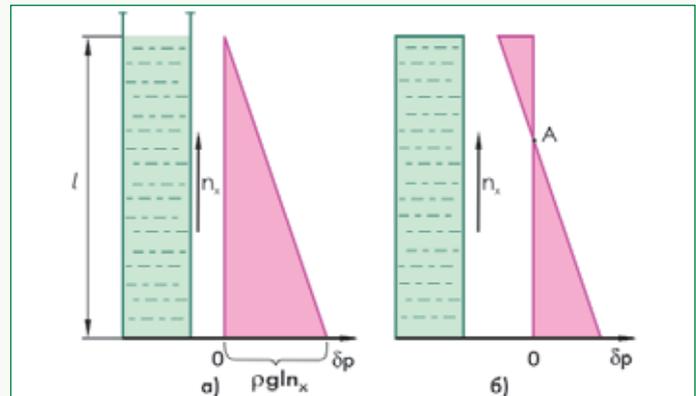


Рис. 5. Распределение амплитуд пульсаций давления по длине продольно вибрирующего трубопровода: а - при открытом верхнем конце, б - при замкнутом объеме

симальные и примерно одинаковые амплитуды регистрируются в плоскости действия виброперегрузок, причем сдвиг фаз колебаний, регистрируемых в диаметрально противоположных точках сечений, составляет 180° . Анализ показал, что для исследованных условий при расчете амплитуд колебаний давления, вызываемых вибрациями, за характерный размер вибрирующих элементов можно принимать диаметр трубопроводов ($l_x = d$).

При шарнирном закреплении одного конца вибрирующего трубопровода возникает вращательная составляющая вибрационного движения: величины виброперегрузок на свободном конце в несколько раз превышают перегрузки у места заделки. Тем не менее, эксперименты показали, что и в этом случае амплитуды пульсации давления по длине вибрирующих трубопроводов получаются практически одинаковыми и соответствуют величинам максимальных виброперегрузок, регистрируемых у свободного конца трубопроводов.

В вертикальных трубопроводах, расположенных параллельно направлению действия виброперегрузок, амплитуды пульсаций давления переменны по длине трубопроводов. При открытом верхнем конце максимальная амплитуда регистрируется в нижней части трубопровода у закрытого конца, а минимальная - в верхней (рис. 5, а). Во всех случаях частота колебаний давления по длине трубопроводов постоянна и соответствует частоте возбуждения; заметные фазовые сдвиги между колебаниями в различных сечениях отсутствуют. При наличии в верхней части трубопроводов больших свободных газовых объемов (25...50 % от величины внутреннего объема трубопроводов) амплитуды вибрационных пульсаций давления резко уменьшаются и на исследованных низких частотах (20...70 Гц) практически не возрастают с увеличением амплитуд перегрузок. При невысоком среднем давлении в трубопроводах (0,1...0,15 МПа) вследствие разрывов сплошности и образования паровых кавитационных каверн форма возбуждаемых вибрациями колебаний давления переходит от гармонической в разрывную.

При закрытом верхнем конце трубопровода распределение амплитуд пульсаций давления характеризуется наличием промежуточного узлового сечения с амплитудой колебаний, близкой к нулю (рис. 5, б, точка А). Этот результат интересен тем, что при указанных условиях узел давления возникает в промежуточном сечении в пределах длины трубопровода при частоте колебаний, значительно меньшей частоты первого тона собственных колебаний жидкости в трубопроводе.

Полученные результаты указывают на необходимость учета данного обстоятельства при выборе мест установки датчиков пульсаций давления, выдающих информацию для работы систем технической диагностики и аварийной защиты двигателей, а также мест подключения к гидромагистралям чувствительных элементов регуляторов систем управления двигателями.

Разработанная одномерная математическая модель, отражающая влияние вибраций на колебания давления жидкости в трубопроводах в широком диапазоне частот, обеспечивает удовлетворительную сходимость с полученными экспериментальными данными. **▲**

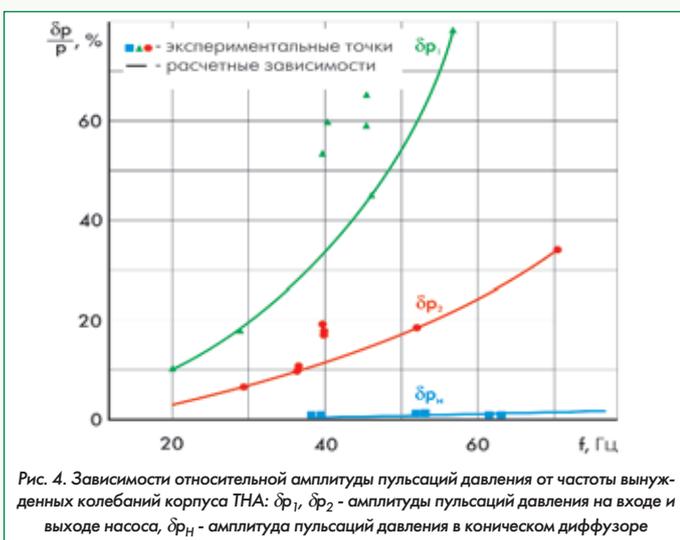


Рис. 4. Зависимости относительной амплитуды пульсаций давления от частоты вынужденных колебаний корпуса ТНА: δp_1 , δp_2 - амплитуды пульсаций давления на входе и выходе насоса, δp_N - амплитуда пульсаций давления в коническом диффузоре

ВЛИЯНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ВХОДНОГО УГЛА СВЕРХЗВУКОВОГО КОНТУРА НА РАЗГАР СОПЛА РДТТ

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

Разгар сверхзвуковой части сопла РДТТ локализуется в закритической области и в области среза. В указанных областях основными факторами являются существенные положительные градиенты давления и потоки конденсированных частиц. Установлено, что в рассматриваемых случаях параметром, определяющим величину уноса материала сопла, является значение угла наклона контура сопла на входе в сверхзвуковую часть. Правильный выбор величины данного угла позволяет оптимизировать конструкцию двигателя.

Разгар сверхзвуковой части сопла, формирующийся в процессе работы двигателя, во многом определяет стойкость и энергомассовые характеристики РДТТ. Линия разгара вдоль образующей сопла представляет собой немонотонную кривую, форма которой зависит от исходного профиля сопла, значений термодинамических параметров продуктов сгорания топлива и содержания в последних конденсированной фазы. Величина конвективной составляющей уноса теплозащитного материала сопла достигает максимума ближе к критическому сечению сопла и монотонно уменьшается к его срезу. Величина твердофазной составляющей монотонно возрастает к срезу сопла и практически равна нулю непосредственно в закритической части.

В процессе развития разгара непосредственно за критическим сечением (где обычно расположен стык из разноносимых материалов) образуется "закритическая яма". Величина ее с течением времени увеличивается, приводя к уменьшению толщины стенки раструба и снижению конструкционной прочности сопла. На концевой части сопла (в области инерционного осаждения частиц конденсированной фазы продуктов сгорания топлива) при разгаре образуется "сверхзвуковая ложка", деформирующаяся со временем вдоль контура сопла. При этом стенка сопла вырабатывается таким образом, что последующее воздействие частиц на сопло не приводит к уносу его материала. С этого момента частицы летят параллельно стенке. Образующая ее предельной поверхности имеет сложную форму и соответствует огибающей траекторий пролетающих частиц.

Типичная картина уноса материала сопла вдоль его центральной оси для двухфазных потоков представлена на рис. 1. Наличие областей локальных уносов свидетельствует о возможности возникновения прогаров сопла, следствием которых будет полное разрушение конструкции. На рис. 2 и 3 виден характер разрушения стенки сопла в области закритической и сверхзвуковой его части. Так, на рис. 2 в закритической части зафиксирован прогар, расположенный в месте, соответствующем максимальной величине уноса материала стенки сопла. После работы двигателя внутри сопла отмечается явно выраженная вогнутая поверхность большой кривизны.

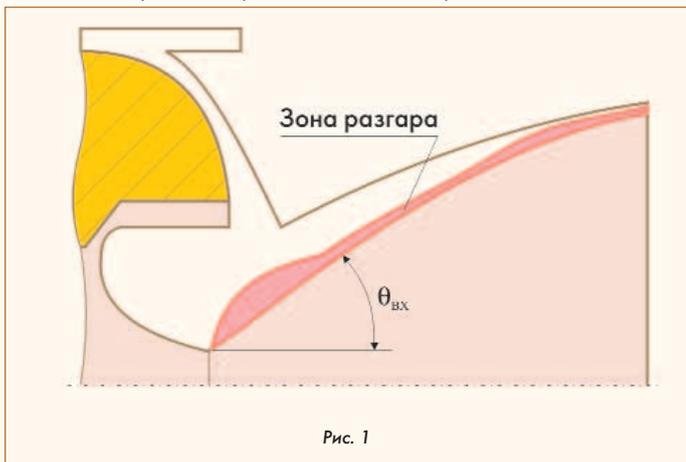


Рис. 1

В области уносов материала существуют мощные градиентные течения, определяющие повышенную интенсификацию тепло- и массообмена при конвективном воздействии газовой составляющей потока. Конденсированная составляющая потока в этой области практически отсутствует, т.к. частицы размером более 1...2 мкм под действием инерционных сил двигаются к стенке у среза сопла и осаждаются, а частицы размером менее 0,1 мкм, увлекаясь газообразными продуктами сгорания, облетают закритическую часть сопла, образуя зону "чистого газа".

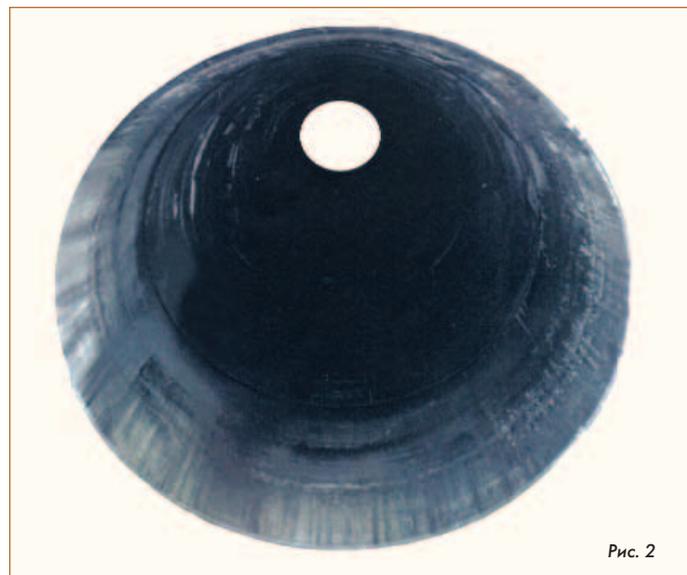


Рис. 2

Систематическое исследование уносов материалов сопла в закритической области и вблизи среза проводилось с применением модельных твердотопливных двигательных установок и использованием обширного материала анализа испытаний сопел натуральных двигателей. В результате проведенных работ были установлены механизмы разрушения сопла и получены основные закономерности.

Экспериментально и теоретически было показано, что основным параметром, влияющим на разгар сопла в исследуемых областях, является величина максимального угла входа $\theta_{вх}$ - угла наклона контура, расположенного в разгонной части потока в районе критического сечения сопла, относительно оси двигателя. Из условий безотрывного истечения газа из сопла величина этого угла не должна превышать 35...40°.

Установлено, что форма "закритической ямы", выраженная в безразмерных уносах, может быть описана универсальным выражением вида

$$\delta/\delta_{\max} = \sin(\pi \cdot S/2 \cdot S_{\max})$$

Положение точки максимума на кривой, характеризующей унос вдоль образующей $d_{\max}(S_{\max})$, со временем смещается по образующей конической поверхности и удовлетворяет соотношению

$$\delta/S_{\max} = 0,525 - 0,25 \cdot \operatorname{tg} \theta_{вх}$$

Приведенные зависимости были подтверждены в экспериментах на сверхзвуковых соплах при варьировании размеров сопел, материалов их стенок и состава продуктов сгорания.

При воздействии потока на стенку концевой части сопла определяющее влияние оказывают частицы конденсированной фазы, поскольку относительная и абсолютная величины газовой составляющей уноса крайне малы.

В результате решения траекторной задачи для частиц в сопле и последующего сопоставления с результатами дефектации сопловых блоков РДТТ после их испытаний была установлена следующая зависимость угла подлета частиц, осаждающихся на сопле:

$$\operatorname{tg} \theta = 1,3 \operatorname{tg} \theta_{\text{вх}} ((\lambda(x) - 1)/(\lambda(x) + 1)).$$

Локальное значение безразмерной скорости потока $\lambda(x)$ определяется для соответствующей степени расширения исходного контура $y(x)$. Интегрирование данного соотношения позволяет определить предельную линию контура, при которой осаждения частиц на стенку не будет,

$$Y(x) = 1,3 \operatorname{tg} \theta_{\text{вх}} \int_{x_0}^x (\lambda(x) - 1)/(\lambda(x) + 1) dx.$$

Начиная с координаты x_S (начало осаждения) справедлива зависимость для величины уноса материала в этой области

$$\delta = 1,3 \operatorname{tg} \theta_{\text{вх}} \int_{x_S}^x (\lambda(x) - 1)/(\lambda(x) + 1) dx - y(x).$$



Рис. 3

Значения максимального уноса в промежуточные моменты времени соответствуют координате предельной выработки сопла и по-прежнему зависят от угла $\theta_{\text{вх}}$.

С увеличением угла на входе уменьшается унос в закритической области, но растет унос из-за осаждения частиц и наоборот. При этом существует некий оптимальный угол, который в каждом конкретном случае может быть выбран применительно к данной конструкции. В частности, при отработке конструкции одного крупногабаритного двигателя возникла проблема с доведением сверхзвукового сопла до работоспособного состояния. Все предыдущие испытания заканчивались разрушением сопла. Уменьшение угла $\theta_{\text{вх}}$ приводило к снижению уносов на раструбе и прогарам в закритической области, а увеличение - к прямо противоположной картине уносов и прогаров. Оптимизация, выполненная расчетным путем, позволила определить необходимую величину угла ($\theta_{\text{вх}} \sim 25^\circ$) и довести конструкцию до работоспособного состояния. Рис. 4 иллюстрирует динамику процесса отработки и прогнозируемые на ранних этапах расчетов значения и хорошую сходимость результатов расчета и эксперимента.

Созданные в Центре Келдыша методы и программы расчетов термогазодинамических, тепловых и термонапряженных процессов в конструкциях РДТТ основаны на многочисленных экспериментах, проверках на натурных изделиях и позволяют надежно прогнозировать процессы в различных двигателях. **П**

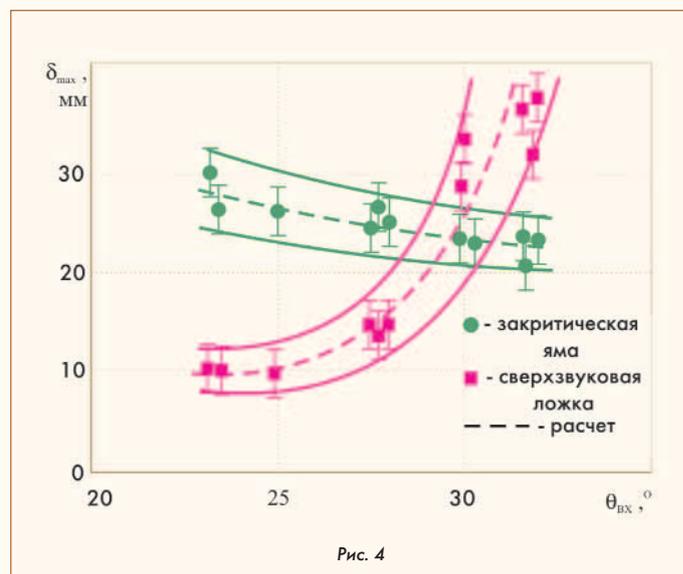


Рис. 4

ИНФОРМАЦИЯ

На 21 января 2004 г. назначено проведение коллегии Российского авиационно-космического агентства (Росавиакосмоса). По словам начальника Управления авиационных двигателей Юрия Дмитриева, на коллегии, в частности, планируется рассмотреть распределение денежных средств, выделенных в рамках государственного бюджета на 2004 год. Сначала выделенные средства будут распределены по направлениям деятельности, в частности на авиастроение и авиационное двигателестроение. После этого начнется работа по определению конкретных объемов финансирования отдельных программ авиационного двигателестроения. Юрий Дмитриев выразил сожаление по поводу того факта, что в Государственной Думе среди многочисленных поправок к бюджету Росавиакосмоса на 2004 г. по выделению дополнительного финансирования по линии авиастроения, прошла поправка,

которая требует направление всего объема дополнительных средств в сумме 500 млн. рублей на финансирование работ, предусмотренных федеральной целевой программой развития гражданской авиационной техники России на 2002-2010 годы и на период до 2015 года. Однако из дополнительных ассигнований в 500 млн. рублей на развитие авиационного двигателестроения средства не предусмотрены.

В первом квартале 2004 г. ОКБ Сухого подготовит летные испытания авиационного двигателя АЛ-31Ф с поворотным соплом новой конструкции. Информированный источник в области авиационного двигателестроения сообщил, что "достигнута договоренность между госпредприятием "Московское машиностроительное производственное предприятие "Салют" (ММПП "Салют")" и ОАО ОКБ Сухого о том, что в первом квар-

тале 2004 г. ММПП "Салют" передаст ОКБ Сухого один экземпляр поворотного сопла авиадвигателя АЛ-31Ф для проведения последующих летных испытаний". "В настоящее время на авиадвигателях АЛ-31ФП, поставляемых в Индию в составе силовой установки истребителей Су-30МКИ, устанавливаются поворотные сопла разработки ОАО НПО "Сатурн", - отметил источник. По его мнению, "ОАО ОКБ Сухого хочет в ходе проведения летных испытаний определить реальные характеристики поворотного сопла конструкции ММПП "Салют", его особенности и характеристики по надежности. Он также пояснил, что "новое сопло разрабатывалось первоначально совместно ММПП "Салют" и Санкт-Петербургским госпредприятием "Завод им. Климова. Однако впоследствии ММПП "Салют" самостоятельно доработало и изготовило его".

www.aviaport.ru



К ИСТОРИИ СОЗДАНИЯ ДВИГАТЕЛЯ ПЕРВОЙ СТУПЕНИ РАКЕТЫ-НОСИТЕЛЯ "ЭНЕРГИЯ"

Вячеслав Рахманин, главный специалист НПО "Энергомаш" имени академика В.П. Глушко, член-корреспондент Российской академии космонавтики им. К.Э. Циолковского, лауреат Государственной премии СССР, к.т.н.

(Продолжение. Начало в № 5 - 2003 г.)

Министр С.А. Афанасьев по складу своего характера даже мысли не мог допустить о возможности "вмешательства во внутреннее дело" возглавляемого им министерства предприятий из смежной отрасли. Более того, из отдельных его высказываний в период разработки двигателей РД-170 у меня сложилось впечатление, что от совместной работы по НИ с предприятиями авиационной промышленности и их министром П.В. Дементьевым у него остался неприятный осадок. Решение о разработке резервного варианта двигателя он мог принять самостоятельно и поручить это дело предприятиям своего министерства. И такое поручение действительно было дано в октябре 1980 г. Но до выхода соответствующего приказа по министерству состоялась коллегия, на которой в очередной раз заслушивалось состояние дел с отработкой двигателей РД-170 (171).

На заседании коллегии министерства доклад должен был делать ведущий конструктор разработок двигателей, начальник двигательного отдела М.Р. Гнесин. Это был действительно заслуженный работник ОКБ, под его непосредственным руководством были разработаны двигатели для ракет на высококипящем топливе Р-12, Р-14, Р-16, Р-36, РН "Протон", Р-36М и МР-УР-100. Учитывая его высокую квалификацию, деловую хватку, умение объединить и мобилизовать конструкторов и производственников для достижения поставленных задач, В.П. Глушко и В.П. Радовский поручили Гнесину возглавить в КБ Энергомаш разработку двигателей РД-170 (171). Гнесин лучше других владел материалом для доклада, умел говорить ясно и убедительно, не терялся в присутствии высоких должностных лиц. Словом, для информации членов коллегии по теме доклада он был оптимальной кандидатурой. Но министр решил изменить намеченный регламент проведения коллегии и предложил свой сценарий. Посмотрев на вышедшего на трибуну для доклада Гнесина, он тут же отправил его в зал, а доклад предложил сделать Глушко. Это оказалось неожиданностью для всех, в том числе и для Глушко. Генеральный конструктор разработки всего комплекса "Энергия-Буран" не до таких подробностей знал детали отработки двигателей, как Гнесин, но основные моменты доводки и разрабатываемые мероприятия были ему хорошо известны. Принцип внезапности вызова на трибуну если и сыграл какую-либо роль, то по поведению Глушко это было незаметно. Впрочем, Афанасьев дал Глушко возможность говорить буквально несколько минут, а затем начал его перебивать, задавать каверзные вопросы. Его отдельные реплики выстраивались в единую линию обвинения руководства НПО "Энергия" и КБ Энергомаш: варитесь в собственном соку, нет свежих мыслей, смелые идеи отвергаете, зажимаете инициативу молодых конструкторов... "Большой" двигатель не получается, в возможности его разработки сомневаются многие ученые и опытные конструкторы, а вы продолжаете идти по пути, который ведет в тупик.

Видно было, как неуютно чувствовал себя Глушко на трибуне. Его лицо покрывалось красными пятнами, но без разрешения министра трибуну он не покидал. Попытки Глушко еще и еще раз убедить министра в порочности многодвигательной схемы, о которой не раз в своих репликах упоминал Афанасьев как о реальной возможности выхода из кризисного положения, не воспринимались, а предлагаемые специалистами КБ Энергомаш улучшения конструкции ТНА назывались примитивными и неубедительными.

Наконец министр посчитал, что воспитательную работу в отношении Глушко и, косвенно, всех других присутствовавших на коллегии можно завершить. Далее последовал доклад о технической возможности разработки в короткие сроки однокамерного двигателя тягой 185 тс с требуемой надежностью. Этот доклад был воспринят благожелательно. В заключение члены коллегии единодушно приняли ранее заготовленное решение: организовать в КБ Энергомаш конструкторское подразделение во главе с автором докладной записки для подготовки эскизного проекта двигателя тягой 185 тс. Новое подразделение предлагалось укомплектовать конструкторами КБ Энергомаш, изъявившими желание разрабатывать эскизный проект. Для стимулирования работ по эскизному проекту министр из своего фонда выделил достаточно крупную сумму премиальных.

В соответствии с приказом министра отдел в КБ Энергомаш был создан, к намеченному сроку эскизный проект двигателя МД-185 подготовили, но дальнейшие работы в этом направлении не проводились.

После принятия решения коллегией министерства активность противников разработки двигателя РД-170 снизилась. Тем временем доводка основного варианта двигателя продолжалась. Для подтверждения принципиальной возможности создания кислородно-керосинового двигателя большой мощности с высокими рабочими параметрами было принято решение отработку вести поэтапно. Тягу двигателя первого этапа установили равной 600 тс. Это дало свои положительные результаты, и 9 июня 1981г. двигатель РД-171 № А15 успешно отработал заданные 150 с по намеченной программе испытаний. Как медленно тянулись эти секунды для собравшихся в пультовой кабине огневого стенда, как замирало сердце в ожидании ставшей уже привычной аварийной остановки пуска! И вот - штатное выключение! Мгновенная мертвая тишина в пультовой, только продолжают жужжать и пощелкивать приборы регистрации, и... взрыв эмоций, объятия, бессмысленные восклицания... Вдруг над всплеском всей этой безумной радости возникает стоящий на стуле, как на броневике, В.П. Глушко. И снова тишина. А наш "железный" Валентин Петрович, с трудом сдерживая нахлынувшие на него эмоции, говорит о значении долгожданного успеха. Сегодня подробности сказанного им забылись, но ликующие глаза Глушко и основной смысл сказанного - *"наше дело правое, мы победим!"* - навсегда останутся в памяти.

Через несколько дней в цехах завода двигатель был разобран до последней гайки, после чего все детали и их внутренние поверхности можно было осмотреть. Внезапно на завод приехал Афанасьев и сразу же прошел в цех, где находился разобранный турбонасосный агрегат. По свидетельству В.Ф. Трофимова, сопровождавшего министра, после осмотра деталей, на которых отсутствовали какие-либо дефекты, Афанасьев задумчиво произнес: *"Если бы не увидел своими глазами, ни за что не поверил бы"*.

Успешный пуск двигателя № А15 был подкреплен столь же удачными испытаниями еще нескольких двигателей. Это стало основанием для отправки двигателя РД-171 № А18 на стенд отраслевого НИИХиммаш для проведения испытаний в составе первой ступени РН "Зенит" Однако на этот раз удача отвернулась от двигателистов. Экспериментальный пуск, проведенный 26 июня 1982 г., закончился аварией, причем большие разрушения получил единственный в стране стенд, пригодный для проведения испытаний ступени ракеты с двигателем такой мощности.

Авария РД-171 на стенде НИИХиммаша громким эхом раскатилась по всем предприятиям и организациям, причастным к разработке двигателя и ракеты в целом. И восприняли это событие по-разному. Многие вздохнули с облегчением, так как практически у всех разработчиков ракетных систем накопилось отставание от графика, утвержденного генеральным конструктором ракеты "Энергия". Все внимание управляющих и контролирующих органов отныне сосредоточивалось на отработке двигателя, и у других разработчиков появлялось время для спокойного решения своих проблем. Двигателисты не ожидали аварийного исхода испытания. И все же, хотя такой результат вызвал у всех нас глубокое огорчение, панических настроений он не посеял.

По планам КБ Энергомаш проведением испытания двигателя в составе ступени должен был завершиться промежуточный этап отработки двигателя тягой 600 тс, после чего предусматривалась доводка конструкции двигателя для работы на штатных режимах. Аварийный исход испытания опрокинул все расчеты, не позволив продолжать отработку по намеченным планам. Вновь занервничал министр С.А. Афанасьев. Однозначно оценить его влияние на ход отработки двигателей невозможно. С.А. Афанасьев был выдающимся организатором, его роль и заслуги в создании отечественной ракетно-космической промышленности весьма велики. Но при всех своих поло-

жительных качествах организатора он оставался руководителем "сталинской формации" и руководствовался стереотипом: под страхом наказания люди работают лучше, чем по велению долга и совести. Конечно, страх является значительным стимулом, но он несовместим с творческой работой, с поиском решений в неизведанной области техники.

В то же время, С.А. Афанасьев стремился оказать помощь разработчикам двигателя. Надо отдать ему должное, он не пытался давать технические советы, предлагать свою конкретную конструкцию. По большому счету, его решение о разработке резервного варианта тоже было направлено на оказание помощи в создании двигателя, хотя и своеобразным способом. И здесь он остался верен себе и принял организационное решение по предложению, выдвинутому техническими специалистами. Другое дело, что указанное предложение шло в разрез с технической концепцией нового сверхтяжелого носителя. Однако, по мнению Афанасьева, выбор технической концепции являлся прерогативой ученых и главных конструкторов, а не руководителя министерства.

После аварии в НИИХиммаш С.А. Афанасьев обратился в президиум АН СССР с просьбой о подключении академических институтов к решению проблемы, связанной с обеспечением работоспособности ТНА двигателя РД-170 (171). В ответ на это обращение в КБ Энергомаш прибыл ряд академиков-директоров институтов во главе с президентом АН СССР А.П. Александровым. Посещение не дало ожидаемых результатов, т.к. решить столь сложную узко специальную задачу мозговым штурмом с участием даже выдающихся умов было невозможно. Для поиска путей преодоления возникших трудностей требовалось не только время, но и специальное оборудование, которым институты не располагали. И все-таки это совещание оказалось полезным. Специалисты КБ Энергомаш и НИИТП пришли к мысли о необходимости разработки широкой программы экспериментальных исследований, связанных с изучением возгораемости различных металлов, сплавов, теплозащитных покрытий в среде высокотемпературного окислительного газа. Результаты проведенных экспериментов сыграли важнейшую роль при поиске технических решений, обеспечивших впоследствии работоспособность двигателей РД-170 (171). Но до этого было еще далеко.

Другим мероприятием, нацеленным на оказание помощи КБ Энергомаш, стало поручение, данное Афанасьевым первому заместителю министра В.Н. Коновалову. Последний обязывался контролировать экспериментальные работы в КБ и на заводе Энергомаш, связанные с внесением изменений в конст-



Министр С.А. Афанасьев (в центре) и его заместитель Г.М. Табаков (крайний справа) в КБ Энергомаш



Главный конструктор В.П. Радовский

полнение работ, а еще больше должностной уровень контролирующего при всеобщем добросовестном отношении к проводимым работам позволили реализовать график Коновалова почти без срыва сроков.

Следует упомянуть и об еще одном организационном решении министра. Трудно однозначно определить, какие цели он преследовал, обязав В.П. Глушко временно переместиться в КБ Энергомаш. На протяжении нескольких месяцев В.П. Глушко по два-три дня в неделю работал в превращенной в рабочий кабинет комнате отдыха (позади кабинета главного конструктора КБ Энергомаш). Он участвовал вместе, а зачастую и вместо главного конструктора В.И. Радовского в решении технических вопросов по двигателям РД-170 (171). Нельзя сказать, что участие Глушко в выборе путей совершенствования конструкции имело радикальное значение. Радовский и сам, несомненно, являлся талантливым и опытным инженером, конструкцию двигателей он знал отлично и более того, чувствовал ее "на уровне технической интуиции". Но вот в чем полезно сказались участие Глушко, так это на более строгом и тщательно продуманном предварительном отборе предложений, связанных с изменением конструкции двигательных агрегатов, до доклада главному и генеральному конструкторам. Строже стало и отношение к качеству изготавливаемых двигателей. Подписывать карточки разрешения на использование деталей с отступлениями от требований конструкторской документации нужно было и у Радовского, и у Глушко. На "церемонию подписания" разрешений к ним ходили только начальники цехов, при этом Глушко, доверяя правильности принятого решения техническими специалистами, "вынимал душу" из начальника цеха, добиваясь от него внятного объяснения, почему продолжается изготовление продукции низкого качества. После таких разговоров начальники цехов в случае изготовления деталей с отступлениями от конструкторской документации предпочитали сами "без шума" забраковать эти детали и запустить в производство новые, но не встречаться лишний раз с Глушко в связи с низким качеством продукции.

Следует отметить, что министерство помогло и в финансовом отношении, выделив дополнительные средства для оплаты сверхурочных работ. Деньги эти использовались в основном на заводе Энергомаш, где в ряде цехов по согласованию с ЦК профсоюза была введена удлиненная до 10 часов продолжительность рабочего дня. Заводчане трудились в две смены, для организации третьей не хватало рабочих.

Приведенные примеры не исчерпывают всех мер, реализованных Афанасьевым для ускорения разработки двигателя РД-170 (171). Но, как уже говорилось, его деятельность предполагала использование и других методов, дававших прямо противоположные результаты. Проводя коллегии министерства или совещания, он зачастую создавал атмосферу высочайшего нервного напряжения, что безусловно отрицательно сказывалось на темпах работ, в первую очередь, у конструкторов. По-

рукцию ТНА. В отличие от традиционно разрабатываемых производственных план-графиков в предложенном Коноваловым графике ответственными за выполнение работ назначались конструкторы и технологи среднего звена, а не начальники подразделений. Два раза в неделю на протяжении трех месяцев Коновалов лично приезжал в Химки и контролировал выполнение графика. Оригинальность подхода к назначению ответственных за вы-

лет творческой мысли требует соответствующего душевного настроя. Когда душа поет, то мысль способна достигнуть запретных высот. А вот после "разборки и накачек" у министра исполнитель скорее приходил в уныние.

В качестве примера приведу в кратком изложении воспоминания об одном из совещаний, проведенном С.А. Афанасьевым в КБ Энергомаш в сентябре 1982 г. К его приезду в кабинете главного конструктора Радовского собрался



Директор завода С.П. Богдановский

руководящий состав предприятия, включая начальников основных отделов КБ и главных специалистов завода - всего около 30 человек. Состав участников совещания был определен предварительным телефонным звонком из министерства.

Афанасьев вошел в кабинет, буркнул что-то похожее на "здравствуйте", руки шагнувшему ему навстречу Радовскому не подал и занял место за большим столом для совещаний слева от председательского кресла, которое по неписаному правилу занимал "хозяин" кабинета. Министр молча оглядел всех собравшихся и произнес: "Ну что, развязка близится?" Попытку Радовского начать совещание с обзора состояния дел Афанасьев прервал замечанием, мол, доклады Радовского он выслушивал уже много раз и вникать еще раз в очередное изменение конструкции, после осуществления которого, "всё пойдет хорошо", он не намерен. На этот раз он хочет выслушать приглашенных на совещание специалистов, узнать мнения конструкторов и технологов о перспективах отработки двигателя, понять, что мешает созданию работоспособной конструкции, определить, какая нужна помощь.

Далее последовали выступления участников совещания строго по порядку занимаемых ими мест за столом. Поскольку у всех собравшихся взгляды на последовательность отработки двигателя были примерно одинаковыми, то уже на четвертом выступлении начались повторы. Это вызвало иронические реплики Афанасьева, критические замечания в адрес выступавших по поводу отсутствия собственного мнения и т.д. После примерно десятого выступающего дальнейший опрос был прекращен и министр подвел итоги: свежих мыслей нет, толчете в ступе одно и то же, неудивительно, что дела идут плохо, никто не сформулировал предложений о том, какую помощь должно оказать министерство для выхода из тупика. И, повернувшись к Радовскому, заявил: "Вот все вы меня заверяете, что нащупали вариант конструкции, который даст положительный результат. А где гарантия, что снова не повторится авария, как это было уже много раз? Что тогда нам делать?"

Радовский на протяжении всего совещания сидел с потухшим взглядом. Чувствовалось, что его больно задела манера обращения с ним министра в начале совещания. И в ответ на последний вопрос он официальным тоном произнес: "В таком случае коллегия министерства может отстранить меня от должности". Это заявление вызвало у Афанасьева какую-то своеобразную улыбку и последующую реплику, мол, Радовский хочет легко отделаться, заваренную кашу ему же и предстоит расхлебывать, а вот когда положение он исправит, тогда коллегия министерства, возможно, рассмотрит вопрос об освобождении Радовского от должности главного конструктора. На этом, собственно, совещание и закончилось. Все мы с испорченным настроением разошлись по рабочим местам, а министр продолжил "общение" с В.П. Радовским и директором завода С.П. Богдановским. **А**

(Окончание в следующем номере).



МОСКВА-2004

ВЫСОКИЕ ТЕХНОЛОГИИ - ЧЕЛОВЕКУ И ОБЩЕСТВУ

V Международный форум

ВЫСОКИЕ ТЕХНОЛОГИИ XXI ВЕКА

The Fifth International Forum
High Technology of XXI

ВТ XXI
2004
4

Достижения
высокотехнологического
комплекса Москвы,
регионов России, стран
СНГ, ближнего и дальнего
зарубежья в различных
областях науки и техники:

- авиация и космос
- радиоэлектроника и связь
- экология
- мирный атом
- медицина и биотехнология
- энергетика
- информационные технологии
- машиностроение
- лазерные технологии
- безопасность
- химия и новые материалы

По вопросу участия обращаться:

Форум "ВТ XXI-2004"

Выставка "ВТ XXI-2004"

ОАО "ЭККОС",
ООО "ЭКСПО-ЭККОС"

Тел.: (095) 331-05-01, 331-13-33

Факс: (095) 331-05-11, 331-09-00

E-mail: expococos@nii-ecos.ru

<http://www.vt21.ru>

Международная конференция
РФВТ

Тел./факс: (095) 200-26-31

Тел.: (095) 954-99-90

Факс: (095) 954-5008

E-mail: info@hitechno.ru

<http://www.hitechno.ru>

Участие зарубежных фирм
и компаний

МТПП

Тел./факс: (095) 132-74-29

913-23-44

E-mail: extrade@mtpp.org

Организаторы
Форума:

Правительство Москвы
Министерство
промышленности, науки
и технологий Российской
Федерации

Правительство Московской
области

Комитет города Москва по
развитию оборонно-
промышленного комплекса

Институт экономики и
комплексных проблем связи
(ОАО «ЭККОС»)

Российский фонд развития
высоких технологий

Московская торгово-
промышленная палата

Московская ассоциация
предпринимателей

ФГУП «Рособоронэкспорт»
ЗАО «ЭКСПОЦЕНТР»

при участии И.Джей. Краузе энд
Ассоузиэйтс, Инк (США)

Форум проводится под патронажем
Торгово-промышленной палаты Российской
Федерации

19 - 23 апреля

2004 год

ВК ЗАО «Экспоцентр»

МОСКВА

www.vt21.ru

КОМУ ЛЕТЕТЬ НА МАРС?

Дмитрий Соколовский

Современное производство требует постоянного притока новых рабочих кадров и постоянного же обучения работающих новым технологиям. Каждая страна как-то решает этот вопрос. В той, где мы жили 70 с лишним лет, сия проблема решалась системно. Подготовка молодежи к участию в общем забеге по пути прогресса была весьма разнообразной, она включала множество форм и методов: от детских и юношеских кружков в домах пионеров и технических станциях и до массовой профориентационной работы средней школы, системы ПТУ, техникумов, ВУЗов. С той же целью издавалась широкая номенклатура технических журналов для молодежи, исключительной широтой охвата и обстоятельностью отличались сборники, издаваемые обществом "Знание". Самая массовая молодежная организация - ВЛКСМ - на самом деле целиком была занята именно подготовкой кадров, а не организацией досуга молодежи и уж тем более не мифическим "идеологическим воспитанием" (с которым дела у нас в стране никогда не обстояли так, как хотелось тем, кто все это задумывал: наверное иначе было и невозможно). Эти чисто прагматические цели на самом деле и были основным смыслом существования комсомола, чего мы, из-за излишней политизированности просто не замечали. Через эту структуру и подконтрольную ей пионершу шло финансирование всей работы с молодежью, ее отделы курировали и направляли ход дел, ими же организовывалась практически вся издательская работа в технической и научной области для детей и молодежи. И именно по причине такой жесткой подчиненности с развалом советской системы и самоликвидацией ее составляющих полностью диссоциировалась и система профессиональной подготовки молодежи. И шут бы с нею: умерла и умерла. Но нового на смену никто и не задумывал даже.

Конечно же, сами-то структуры, проходящие по ведомству образовательных министерств, в основном сохранились. Однако же, они теперь работают сами по себе (а некоторые по наивности считают, что и сами для себя - отсюда непомерно вознесенные платы "за каждый чих" в образовательных учреждениях достаточно приличного уровня). При этом образовательную систему постоянно "швыряет" из стороны в сторону по волнам конъюнктуры. Так, с началом этого "свободного плавания" редкий вуз или колледж не начал готовить дипломированных экономистов, а после - вдруг - точно так же все вместе начали подготовку юристов. Кто-

то посчитал, что это будут самые востребованные профессии - и как же тяжело теперь устроиться на нормальную работу выпускникам, получившим эти специальности!..

То же, что не относится непосредственно к образованию, находится в более или менее живописных руинах. Сохранилось лишь несколько "островков", поддерживаемых отдельными энтузиастами и группами таковых, которые продолжают заниматься с молодежью. Иногда - находя поддержку в организациях и структурах, порою - на свой страх и риск. Чаще же всего такая деятельность (как, кстати говоря, и любая почти инициатива, не приносящая непосредственного дохода) производится на деньги зарубежных организаций. Они там у себя уже о молодежные проблемы ушибались не раз, прежде чем уяснили необходимость уделения им самого пристального внимания. Причем, не только в своих странах. Мы же в свободнорыночные отношения играем совсем недолго, и еще не до всех дошла простая истина: какой народ вырастим, с таким и придется жить рядом. И то, что у нас все-таки есть люди, осознающие этот факт, можно проиллюстрировать буквально несколькими эпизодами из событий этого года.

Одним из "бастионов" работы с молодежью традиционно остается ВВЦ (недавно еще - ВДНХ). С 12 по 19 июля 2003 г. при поддержке Правительства Москвы и Международного движения научно-технического досуга (MILSET) здесь прошла IX Международная выставка молодежных научно-технических проектов "ЭКСПО-Наука - 2003". Целью проведения выставки объявлена "демонстрация детских и молодежных научно-технических проектов и открытий в области естественных, инженерных, социально-гуманитарных, экономических наук; обмен опытом организации молодежного научно-технического творчества в разных странах". По сути дела, это скорее демонстрация возможностей и наработок в области подготовки молодежи ко "вступлению во взрослую жизнь" (как говаривалось еще недавно). Скажу ответственно: "более международной" выставки у нас в Москве вообще никогда не видели. Ребята - от младших школьников и до студентов - приехали почти из всех стран мира. И - ни одной экспозиции, похожей на другие. Игровые комплексы и исследование окружающей среды, математическое описание построения объемных форм и традиционные народные промыслы, движущиеся (и не очень) модели любых механизмов, какие только можно





представить, и анализ последствий землетрясений или экологических катастроф... И все это - увлеченно, талантливо, а потому - чрезвычайно пестро и интересно. Если вы помните, отечественные выставки серии НТТМ всегда отличало именно такое разнообразие. Самая "свежая" из экспозиций этой вновь возрожденной серии - Всероссийская выставка научно-технического творчества молодежи НТТМ - 2002 г., а выставка 2003 года - ее непосредственное продолжение.

Решение о проведении ЭКСПО-Наука 2003 в Москве было принято на заседании Генеральной Ассамблеи Международного движения научно-технического досуга МИЛСЕТ в 2001 г. в Гренобле (Франция) и свидетельствует о сохранении за нашей страной авторитета международного научного и культурного центра. А значит, нам есть еще что показать. Не стыдно, пока еще перед европами: видимо, пока не все вовремя успели перестроиться на мойку машин и розничную торговлю. Очень интересная выставка получилась. Кто был на ней - не пожалел, что попал туда.

И самой главной поддержкой всех "молодежных" инициатив всегда были и остаются организации, собранные в подмосковном Королеве - центры Управления полетами (ЦУП) и Подготовки космонавтов (ЦПК), "Энергия" и еще ряд предприятий. Им без этой деятельности - не жизнь. Все они и существуют-то только при условии постоянного привлечения талантливой и заинтересованной молодежи. Специфика такая.



Так, в январе этого года прошел уже XXXI (тридцать первый!) всероссийский конкурс "Космос". Он был инициирован Всероссийским аэрокосмическим обществом (ВАКО) "Союз", сумевшим выжить и продолжить работу с молодежью после прекращения деятельности своего основателя - ВЛКСМ. Ребята со всей России собрались в ЦПК, показали очень интересные разработки, пообщались друг с другом и со всемирно известными космонавтами и учеными.

А в октябре 2003 г. состоялось подведение итогов несколько необычного конкурса "Комсомольской Правды" "Вперед, на Марс!". Название конкурса идет от известного призыва одного из пионеров отечественной авиации, ученого, конструктора Фридриха Артуровича Цандера, работавшего в начале XX века. Конкурс, объявленный "КП" при поддержке "НПО Энерго-

маш имени академика В.П. Глушко", проводился медиаклубом "Космос". Условиями конкурса явилось написание работ по темам, связанными с проектом полета на Марс, с предоставлением программы полета, проблемами, с которыми могут столкнуться астронавты в ходе полета, или же написание научно-фантастического рассказа.

На конкурс пришло 169 самых разных работ - проекты двигателей, чертежи межпланетных станций, рассказы-фантазии. Большинство - от подростков 14...20 лет. Из-за обилия работ комиссии пришлось даже несколько сдвинуть срок подведения итогов. Участники конкурсной комиссии пришли к общему мнению, что всех наших юных фантастов несомненно объединяет



огромная любовь к знаниям, разносторонность, желание поделиться своими идеями с единомышленниками.

...Самое главное, пожалуй, о чем мы не упомянули здесь: если обществом не ведется работа с молодежью в интересах всего общества, то всегда найдутся отдельные личности или их группы, которые займутся этим в своих интересах. И совсем не факт, что цели этих работ совпадут. Так вот и растет уровень преступности различного направления, процветает наркоторговля, множатся асоциальные явления всякого рода - как на квазирелигиозной, так и на совершенно светской закуске. И поскольку система подготовки специалистов оказалась почти не связанной с производством, то готовые к работе специалисты, не найдя себе применения на Родине, в массовом порядке утекают за ее пределы, или начинают заниматься чем угодно, только не тем, чему так долго учились - лишь бы выжить. Нет на свете земли, лишенной талантливых ребят. У нас же изобретательность всегда была средством выживания. Можно сколько угодно умиляться, что врожденные таланты, присущие людям, пытаются найти самовыражение. Однако же, пока работа с ними не станет постоянной, проводимой и регулярно, и системно, общество будет обречено на постепенную деградацию и подпитку своими талантами работодателей иных стран.

.Таково положение у нас, а Президент США, между тем, поставил перед NASA задачу через 10 лет отправить пилотируемую экспедицию на Марс.



ЕГО ВЕЛИЧЕСТВО - К.П.Д.

"Почему у дятла не болит голова?"
Вопрос для клуба "Что? Где? Когда?"

Евгений Бугаец, д.т.н.

"Сила есть - ума не надо".
Пословица

(Продолжение. Начало № 1, 2, 4, 5 - 2003)

3. ПОТЕРИ ЛИНЕЙНОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ПОРШНЯ

Однажды любопытные ученые измерили, что максимальная скорость, с которой движется клюв дятла в момент удара, равняется скорости пули. Возник законный вопрос - "почему у дятла не болит голова?", а точнее - "почему у дятла целы мозги?"

Используя самую современную технику, удалось получить удивительный результат. Оказывается, несмотря на всю неестественность и сложность реализации, голова дятла движется строго по линейной траектории. Только такой - линейный закон движения позволяет амортизировать мозг дятла.

Однако вернемся к двигателю, а точнее к его поршню. На мой взгляд, у поршня и у головы дятла есть кое-что общее - необходимость двигаться линейно. Рассмотрим потери третьего вида энергии, используемой в двигателе, - линейной механической энергии поршня.

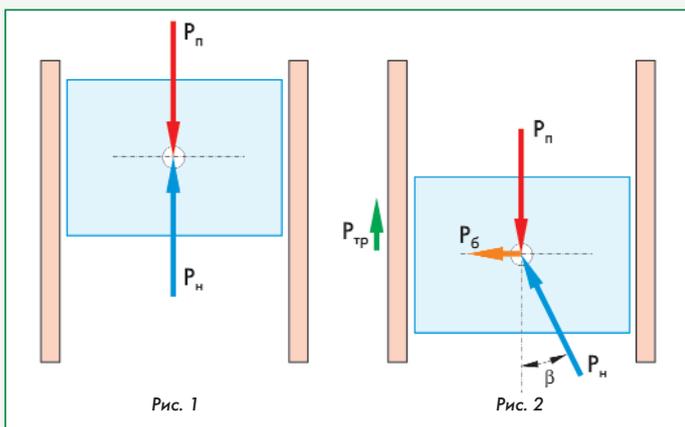
3.1. Потери на трение поршневых колец

Кольца являются важными элементами поршня. Они выполняются разрезными из специальных сплавов и устанавливаются в специальные канавки в верхней части поршня (у дна). Обладая в свободном состоянии диаметром большим, чем диаметр цилиндра, они позволяют обеспечить высокую компрессию и отвод тепла от поршня. Нижнее кольцо снимает с цилиндра излишки масла (имеет специальную конструкцию) и называется маслосъемным.

Кольца постоянно поджаты к внутренней поверхности цилиндра и работают как своеобразный тормоз. Это приводит к соответствующим потерям на трение. Указанные потери зависят от многих факторов:

- силы давления кольца на цилиндр;
- коэффициента трения сопряженных поверхностей;
- наличия и качества смазки;
- скорости движения поршня;
- наличия боковой силы давления поршня на цилиндр.

Таким образом, как работа поршня, так и потери на трение поршневых колец носят импульсный характер. По оценке специалистов в среднем данные потери составляют 70 % от суммарных потерь на трение в двигателе.



3.2. Потери на трение из-за асимметричной реакции шатуна

Следует отметить, что, если бы суммарный вектор давления горящих газов на дно поршня P_n и вектор реакции нагрузки P_n всегда были на одной линии и эта линия была бы осью симметрии поршня и цилиндра, то никаких иных потерь на трение (кроме указанных в п. 3.1) не было бы (рис. 1). Но, к сожалению, это не так. Первым виновником отклонения от идеального решения является асимметричный характер кривошипно-шатунного механизма. Симметрия наблюдается только в верхней и нижней мертвых точках. Как только шатун отклоняется от оси симметрии, отклоняется и вектор реакции нагрузки, что приводит к появлению боковой силы $P_б$. Сила $P_б$ направлена относительно оси симметрии в противоположную сторону от отклонения шатуна (рис. 2). Величина силы $P_б = P_n \cdot \tan \beta$, где β - угол отклонения шатуна от оси симметрии цилиндра.

Угол β колеблется от 0 до $\pm \beta_{\max}$. Последняя величина зависит от соотношения радиуса коленвала R и длины шатуна L . Компромисс между размерами двигателя и потерями на трение ограничивает соотношение L/R в пределах 3...4,5. Это означает, что β_{\max} не превышает 20° , а максимальное значение $P_б$ примерно в 3 раза меньше силы P_n .

Под воздействием боковой силы поршень отклоняется от идеального линейного движения на величину зазора между поршнем и цилиндром в плоскости, проходящей через ось симметрии и перпендикулярной оси пальца поршня.

В связи с тем, что взаимодействующие поверхности имеют цилиндрическую форму, в узкой центральной области контактного пятна возникает сила трения $P_{тр}$, которая направлена против вектора силы P_n . Помимо потери механической энергии поршня сила $P_{тр}$ приводит к дополнительному нагреву двигателя и износу трущихся поверхностей пары "поршень - цилиндр". Учитывая, что сила $P_б$ меняется по гармоническому закону, износ цилиндра носит специфический (асимметричный бочкообразный) характер. При этом кольца начинают играть негативную роль, так как имеют очень острые и твердые грани. Поршень с кольцами превращается по сути в своеобразный металлорежущий инструмент. Максимальные потери и износ происходят при максимальных нагрузках. Поэтому потери на трение из-за асимметричной реакции шатуна являются одной из основных причин не работоспособности двигателя при больших нагрузках.



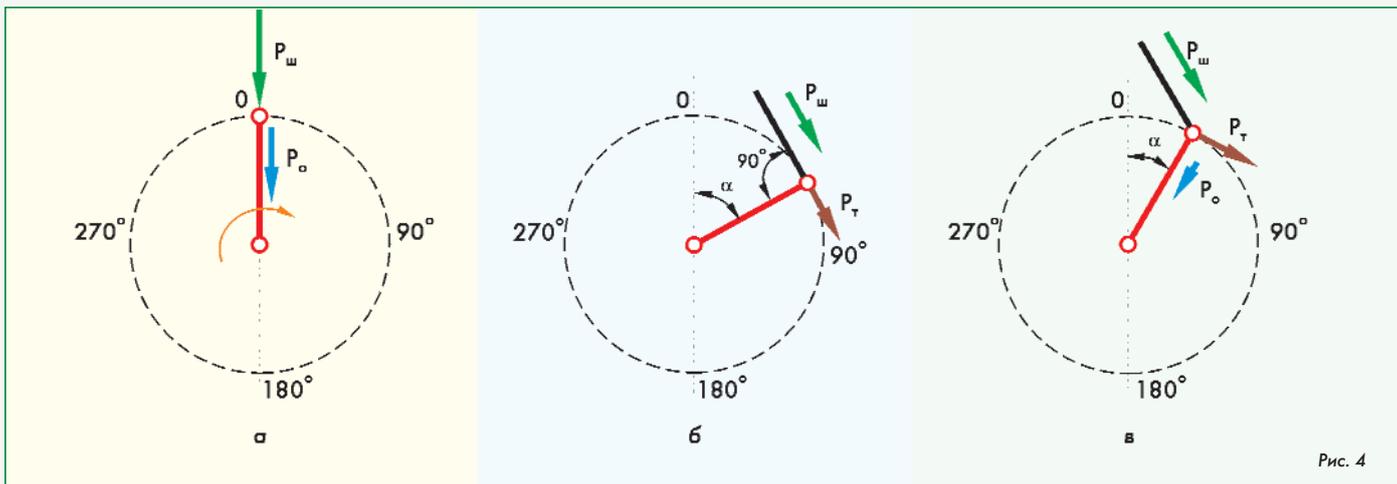


Рис. 4

3.3. Инерционные потери

Понятие инерции свойственно любому телу, так как любое тело обладает массой. Если тело неподвижно, это инерция покоя. Если тело движется, это инерция движения или кинетическая энергия.

Поршень совершает возвратно-поступательное движение, то есть у него есть два крайних положения (мертвые точки), где скорость равна нулю, а поршень меняет направление движения. Примерно в середине пути поршень достигает максимальной скорости V_{Π} . Она определяется оборотами двигателя и линейными размерами основных элементов двигателя (R и L).

За полный цикл поршень делает четыре разгона и четыре торможения. Условия взаимодействия поршня с поверхностью цилиндра во всех фазах существенно различные. Однако это не означает, что вся кинетическая энергия поршня уходит в потери, так как большая часть ее рекуперирована. К потерям можно отнести примерно 25 %.

Учитывая, что кинетическая энергия поршня определяется квадратом скорости поршня, инерционные потери становятся заметными только при высокой частоте вращения вала двигателя.

Существует еще одна разновидность инерционных потерь поршня, известная как потери на "перекаладывание поршня". Дело в том, что центр тяжести поршня, как правило, не находится на оси симметрии пальца. Вследствие этого в мертвых точках возникает момент силы, который поворачивает поршень вокруг пальца в пределах зазоров между поршнем и цилиндром. Это приводит к кратковременному заклиниванию поршня. К счастью, линейная скорость поршня при этом практически равна нулю. Однако при максимальной частоте вращения вала эти потери все-таки становятся заметными.

3.4. Потери на трение из-за асимметричного горения

Сущность таких потерь подробно описана в статьях "Новые возможности свечи зажигания" - № 6 - 2002 и № 3 - 2003. Поэтому кратко напомним, о чем шла речь.

В области 15° после верхней мертвой точки (ВМТ) заканчивается горение воздушно-топливной смеси со скоростью около 1,5 км/с. Поскольку процесс горения завершается в одном углу камеры сгорания, поршень наносит сильный локальный удар краем дна о поверхность цилиндра. Это приводит к кратковременному заклиниванию поршня. С ростом нагрузки данный динамический тормоз становится все сильнее до полной остановки двигателя, то есть коэффициент преобразования механической энергии поршня в механическую энергию вращения коленчатого вала $k_{3,4}$ приближается к нулю. Вот почему двигатель не способен работать на больших нагрузках. На рис. 3 приведена фотография поршня двигателя автомобиля Volkswagen Golf 1,6, на которой стрелкой указано место разрушения вследствие описанного эффекта.

3.5. Потери преобразования в кривошипно-шатунном механизме

К этому месту статьи хотелось бы особенно привлечь внимание специалистов. Итак, после многочисленных потерь химической энер-

гии топлива, тепловой энергии горящих газов и линейной механической энергии поршня все, что осталось, преобразуется в механическую энергию вращения вала. Делается это с помощью кривошипно-шатунного механизма. По мнению "авторитетов", механические потери здесь практически равны нулю, ведь "все вращается и все смазано". На самом деле мы видим совершенно иную (безрадостную) картину.

В положении ВМТ ($\alpha = 0$) (рис. 4, а) вектор силы шатуна $P_{\text{ш}}$ направлен строго в ось коленчатого вала, при этом динамическая сила в колене шатуна $P_{\text{о}} = P_{\text{ш}}$. При $\alpha = (90^\circ - \beta)$ вектор $P_{\text{ш}}$ образует с коленом вала прямой угол (рис. 4, б). Это означает, что $P_{\text{ш}} = P_{\text{т}}$ (тангенциальная сила). Во всех иных случаях (рис. 4, в) вектор силы $P_{\text{ш}}$ разлагается на две составляющих:

$$P_{\text{о}} = P_{\text{ш}} \cdot \cos(\alpha + \beta);$$

$$P_{\text{т}} = P_{\text{ш}} \cdot \sin(\alpha + \beta),$$

$$\text{где } P_{\text{ш}} = P_{\text{п}}/\cos\beta.$$

Как известно, крутящий момент обеспечивает сила $P_{\text{т}}$. А что делает динамическая сила $P_{\text{о}}$? Она преобразуется опять-таки в тепло как результат скользящего удара металла о металл. Никакая смазка не может помешать этому. Оценим реальное соотношение получаемых энергий.

На рис. 5 изображены графики силы давления газов на дно поршня $P_{\text{п}}$, коэффициента потерь $k_{3,5}$ и тангенциальной силы $P_{\text{т}}$ от угла α . Из графиков следует, что во время рабочего такта интегрально сила давления поршня $P_{\text{п}}$ преобразуется в крутящий момент только на 33 %, или всего на одну треть! Следовательно, две трети энергии поршня превращаются в тепло! Такова плата за преобразование одного вида механической энергии в другой.

Оказывается, что основным виновником нагрева двигателя является не горение, не трение, ...а "удары в кость", регулярно возникающие в механизме взаимного преобразования двух видов движения. Причем в процентном отношении эти потери постоянны и не зависят от режимов работы двигателя. Воистину, "сила есть - ума не надо".

Начинает рассеиваться туман "таинственной" неэффективности двигателя. ▣

(Продолжение следует)

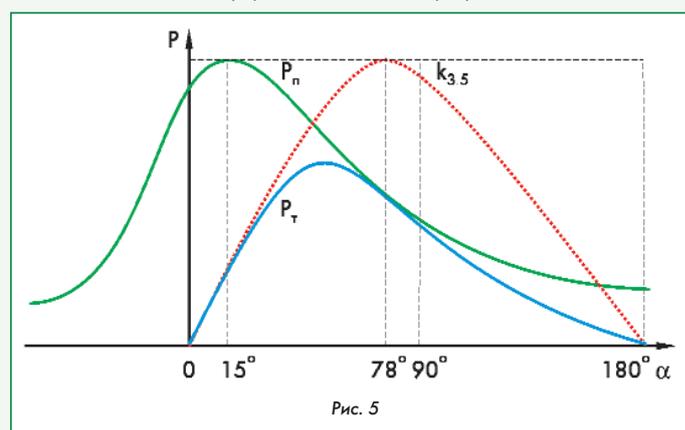


Рис. 5

"НЕТ РЕШЕНИЯ БОЛЕЕ ПОСТОЯННОГО, ЧЕМ ВРЕМЕННОЕ..."

(ИЗ МЕЖДУНАРОДНОГО
"ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО" ОПЫТА)

Александр Ефремов, к.т.н., ведущий научный сотрудник 38 НИИИ МО РФ

Дискуссии о преимуществах и недостатках различных типов танковых двигателей начались еще во второй половине семидесятых годов прошлого века, когда на вооружение Советской Армии принимался танк Т-80 с газотурбинным двигателем. Отсутствие необходимости обслуживания воздухоочистителя двигателя приводилось создателями нового танка в качестве значительного достижения и одного из аргументов в его защиту (к этому времени в эксплуатации и серийном производстве уже находились дизельные танки Т-64 и Т-72, предназначенные преимущественно для эксплуатации в районах с умеренным и особенно жарким климатом, для которых характерна высокая запыленность воздуха). Автор настоящей статьи являлся членом комиссии по проведению испытаний танков Т-80 (еще до принятия их на вооружение) в зимний период на территории Сибирского военного округа.

Одноступенчатый воздухоочиститель (ВО) инерционного типа танка Т-80 представляет собой две батареи циклонов и совместно с масляными радиаторами двигателя и трансмиссии размещается в силовом отделении. Каждая из батарей выполнена в виде решетки, на которой при помощи сварки закреплены четырнадцать циклонов. В верхней части циклонов на винтах установлены розетки для закручивания всасываемого воздушного потока.

Следует заметить, что в СССР эксплуатация танков с газотурбинными двигателями (ГТД) предусматривалась преимущественно в холодных северных районах, поскольку предполагалось, что отсутствие жидкостной системы охлаждения, более плотный и сравнительно чистый воздух, поступающий в двигатель, и другие отсутствующие факторы облегчат использование боевых машин.

Испытания танков в суровых условиях Сибири наряду с недостатками, связанными с низкой топливной экономичностью и надежностью, выявили еще один - зимой ВО необходимо все-таки обслуживать. При возвращении в парк после выполнения различных задач механики-водители один за другим стали жаловаться на то, что двигатель не развивает максимальную мощность, "не тянет", а зачастую его мощность резко снижается вплоть до остановки боевой машины. Причину падения мощности увидели и поняли, когда отдельные циклоны ВО стали наполняться доверху снегом, которым воздухоочиститель интенсивно забивался при движении по сухому сыпучему снежному покрову. Как показали регулярные проверки, характер заполнения циклонов не имел четко выраженной закономерности, забивание происходило и после 150, и 180, и более километров пробега. При выполнении одной и той же задачи на некоторых танках оказывались забитыми снегом всего несколько циклонов, в то время как на других - циклоны какой-либо одной батареи. Ускорению процесса способствовала ненастная погода, однако в случае срыва подкрылка циклоны ВО интенсивно заполнялись снегом даже в ясную морозную погоду.

Таким образом, выявилась необходимость в профилактических очистках циклонов от снега при ежедневном техническом обслуживании (ЕТО), а при совершении маршей - на больших привалах.

Вначале пробовали откручивать розетки и вручную выскрести плотный, почти обледеневший снег, однако трудоемкость и значительное время, необходимое для проведения подобной операции "выемки снега", делало ее неприемлемой для войсковой эксплуатации боевой машины. В этой ситуации было предложено очищать циклоны ВО отработавшими газами аналогичного танка. Боевые машины становились кормой к корме, и го-

рячие отработавшие газы поступали на вход ВО с забитыми снегом циклонами. Операция "растопливание снега", занимавшая от 10 до 20 мин., также была весьма неудобной. Был найден другой способ удаления снега из циклонов - с помощью специально разработанного заводом дефлектора, направляющего отработавшие газы собственного двигателя танка в зону входных окон ВО.

Как отмечалось в выводах комиссии "...ввод дефлектора обеспечил продолжение войсковой эксплуатации. Однако в связи с большими габаритами дефлектора и необходимости прогрева воздухоочистителя при ЕТО и на больших привалах, такое конструктивное решение нельзя считать окончательным. Заводу необходимо разработать более эффективную защиту от попадания снега в воздухоочиститель...". Применение дефлектора рассматривалось комиссией как временное решение проблемы забивания циклонов снегом, но жизнь показала, что оно оказалось постоянным и поныне остается в силе.

Действующая инструкция по эксплуатации танка Т-80 предусматривает выполнение операции по очистке циклонов от снега при ЕТО, а также на больших привалах при совершении длительных маршей, если температура окружающего воздуха составляет -20°C и ниже при наличии глубокого снежного покрова, а также в неблагоприятных погодных условиях, когда возможно попадание большого количества снега на входные жалюзи и циклоны ВО. "На насадок жалюзи устанавливается дефлектор, запускается двигатель и производится прогрев циклонов воздухоочистителя отработавшими газами двигателя в течение 10-15 мин. при частоте вращения турбокомпрессора высокого давления 83...85 %. В ветреную погоду для обеспечения прогрева за указанное время машину рекомендуется по возможности устанавливать кормой против ветра".

Таким образом, для обслуживания ВО в зимнее время по-прежнему требуется дефлектор с габаритами, превышающими ширину и высоту выхлопного патрубка, дополнительное крепление и место в одиночном комплекте ЗИП.

Эксплуатация танка Т-80 в зимних условиях в настоящее время уже давно практически не производится, поэтому проблема обслуживания ВО не является столь острой, как раньше. Танкисты строевых частей, не встречаясь с проблемой очистки циклонов в повседневной боевой подготовке, уже успели забыть о необходимости выполнения этой операции. А разработчики танка с ГТД, в свою очередь, благополучно забыли о том, что они должны были и по рекомендации комиссии, и в соответствии со своими прежними заявлениями разработать более эффективное решение, исключающее возможность забивания снегом циклонов ВО. Под лежащий камень вода не течет... ▲

В наши дни перед производителями встают задачи, которые не по силам обычным электроискровым (электроэрозионным) станкам.

В ближайшем будущем число таких задач возрастет многократно.

Решение есть уже сейчас:

линейные электроискровые станки

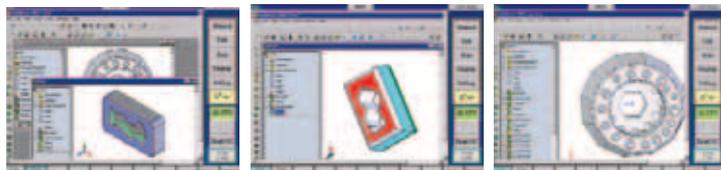
Sodick

станки эпохи нанотехнологий! NANO & SOLUTION



Впервые!

- ✓ **Линейные сервоприводы**
- ✓ **Линейные датчики 10 нано**
*Линейные датчики с дискретностью 10 нм (0,01 мкм).
Дискретность приводов 0,1 мкм.*
- ✓ **Керамическая рабочая зона**
- ✓ **Встроенные 3D CAD/CAM системы в компьютерном ЧПУ**



КЧПУ-генераторы "LQ"

До сих пор никто не встраивал в ЧПУ станков системы автоматического проектирования. В уникальные собственные компьютерные ЧПУ-генераторы Sodick серии "LQ" добавлена графическая станция Pentium-4. Она обеспечивает работу 3D CAD/CAM систем, функционирующих как программные оболочки для трехмерных САПР Q3vis. И это помимо совершенных систем автопрограммирования с автотехнологами. Представляете, какие теперь возможности у операторов "Содик"?!

Линейные проволочно-вырезные станки Sodick:

- ✓ Самая высокая в отрасли скорость электроискрового резания с использованием латунной проволоки
- ✓ Самая высокая в отрасли скорость резания на специальной проволоке
- ✓ Самая высокая производительность



Линейные прошивочные станки Sodick:

- ✓ Рекордная производительность
- ✓ Сверхмалый износ электрода
- ✓ Быстрое получение зеркальных поверхностей как на малых, так и на больших площадях



Демонстрация самых быстрых в мире вырезных ЭИ станков на ЕМО-2003 в Милане. При "паспортных данных" 540 мм²/мин станок AQ325L с КЧПУ-генератором LQ55W в условиях выставки легко разогнался до скорости выше 550 мм²/мин. Однако линейные станки "Содик" - это не только самая большая скорость первого прохода, но и рекордная производительность - получение точной и качественной детали за минимальное число проходов. Кстати, мировая премьера электроискрового вырезного станка с самой большой в мире скоростью резания на проволоке диаметром 0,25 мм состоялась не в Токио и не в Милане, а в Москве на выставке MashEx-2003. Этим компания "Содик" продемонстрировала свое уважение к российским покупателям и рынку России, где станки "Содик" - самые покупаемые электроискровые станки.

Центр "Содик" в Москве:
тел.: (095) 725-3603, (095) 214-9801
факс: 214-1842 // sodicom@sodick-euro.ru
Технический центр: тел: (095) 786-9841
факс: (095) 786-9842 // tc@sodick-euro.ru





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



Всеобщая Страховая Компания
Universal Insurance Company