

# РОЛЬ И МЕСТО НАУКИ В ИННОВАЦИОННОМ РАЗВИТИИ АВИАЦИОННОГО ДВИГАТЕЛЕСТРОЕНИЯ

## ДОКЛАД НА ПЛЕНАРНОМ ЗАСЕДАНИИ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО КОНГРЕССА ПО ДВИГАТЕЛЕСТРОЕНИЮ В РАМКАХ МФД-2016, МОСКВА, 19 АПРЕЛЯ 2016 Г.



**Владимир Иванович Бабкин**, генеральный директор ФГУП "ГНЦ ЦИАМ им. П.И.Баранова", профессор МГТУ и МАИ, академик-секретарь секции "Аэрокосмическая" РИА

*Авиадвигателестроение в высокоразвитых странах относится к одной из стратегически важных отраслей промышленности, обеспечивающей высокий уровень технологического развития государства. Авиационный двигатель создается в 1,5-2 раза дольше планера и определяет его летно-технические характеристики. Затраты на создание двигателя примерно равны стоимости создания планера. Для новых двигателей требуется опережающая отработка новейших критических технологий. Тематические работы ЦИАМ ориентированы на доведение работ в области разработок конкретных технических решений и критических технологий для двигателей до высокой степени зрелости.*

*The Aeroengine industry in developed countries, is one of the strategically important industries, providing a high level of technological development of the state. An aircraft engine is created in 1.5-2 times longer than the glider and determines its performance characteristics. The cost of creating the engine is approximately equal to the cost of the glider. New engines require priority development of modern critical technologies. Thematic work CIAM is focused on bringing investigations in the development of specific technical solutions and critical technologies for engines to a high degree of maturity.*

**Ключевые слова:** авиадвигателестроение, финансирование, критические технологии, стоимость разработки, зарубежный опыт.

**Keywords:** the Aeroengine industry, funding, critical technology, cost of development, foreign experience.

Авиастроение, и в особенности авиадвигателестроение, наряду с атомным машиностроением и ракетно-космической промышленностью - один из самых инновационных, наукоемких и высокотехнологических секторов промышленности, интегрирующий результаты деятельности различных направлений науки и техники и стимулирующий научно-техническое развитие целого ряда других отраслей. Уникальные свойства авиационного воздушно-реактивного двигателя (ВРД) позволяют удовлетворить жестким и постоянно растущим требованиям по экономичности, компактности, габаритно-массовым и экологическим показателям. Эти свойства превратили авиацию в массовый вид транспорта и важнейший фактор обороноспособности государств.

Авиадвигателестроение не просто производит технически сложную продукцию. В XX веке ВРД был признан одним из самых значительных прорывов научно-технической революции. Именно благодаря непрерывному научному поиску в области ВРД стали ближе друг к другу самые отдаленные уголки планеты. Сегодня характеристики надежности, отказобезопасности, ресурса, как авиадвигателей для гражданской авиации, так и для военной, во много раз превышают прогнозы, сделанные в 80-е годы XX века [1].

Насколько уникальны условия, которым приходится удовлетворять создателям современных ГТД, иллюстрируют замечания в буклете Rolls-Royce. Достижения науки позволяют ГТД работать при давлениях, равных давлениям на полукилометровой глубине океана, при температурах, равных половине температуры поверхности Солнца и при частотах вращения, многократно превышающих частоту электрического тока в электросетях. При этом каждая крошечная лопатка испытывает силу воздействия в 18 тонн и проходит путь от момента начала работы до момента своей замены расстояние, превышающее 30 млн. км. (рис.1) [2]

- > Лопатка изготовлена из монокристалла с использованием ряда покрытий, имеет сложную форму (4Д – аэродинамика, сложные каналы охлаждения)
- > Каждая лопатка развивает мощность, эквивалентную мощности двигателя автомобиля Formula1
- > Лопатка работает при:
  - давлении среды, соответствующем давлению на глубине 500м под водой
  - температуре среды 1600°С, близкой к 1/2 температуры поверхности Солнца, которая на 200°С выше температуры плавления сплава (попробуйте не дать расплавиться кусочку льда в печи при 200°С)
  - действию нестационарных сил, вызывающих интенсивные колебания
  - действию агрессивной среды
- > Частоты вращения выше 12000 об/мин, нагрузка от центробежной силы 18 т. (сила тяжести большого автобуса), на периферии лопатки скорость потока существенно выше скорости звука
- > До замены лопатки самолет должен налетать около 30 млн. км



Лопатка RR устаревшей конструкции (с 5-зубым хвостовиком и газодинамической полкой)

- Для создания лопатки необходимо интегрировать около 15 технологий.
- Критическая технология создания лопатки ТВД перспективного двигателя должна включать в себя комплекс всех технологий

Рис. 1. Условия работы лопатки ТВД в современном авиационном двигателе

Создание столь инновационной продукции, как новая авиационная техника, - весьма затратный процесс. Для примера приведем данные, озвученные Томасом Эндерсом (главой Airbus Industry) о стоимости НИОКР (научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы) при создании новых пассажирских широкофюзеляжных самолетов. Разработка A350XWB (в эксплуатации с 2015 г.) обошлась в 19,5 млрд. долл., до этого разработка A380 (2006 г.) - стоила 15,6 млрд. долл., НИОКР по B777 (1995 г.) - 7 млрд. долл. (рис.2) [3, 4].

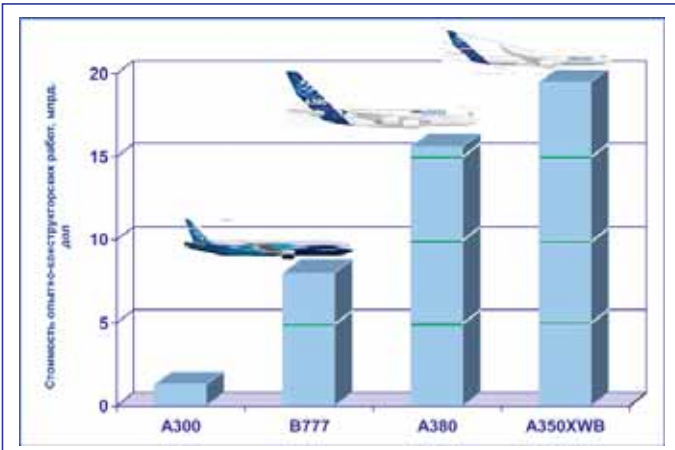


Рис. 2. Стоимость научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ при создании самолётов гражданского назначения

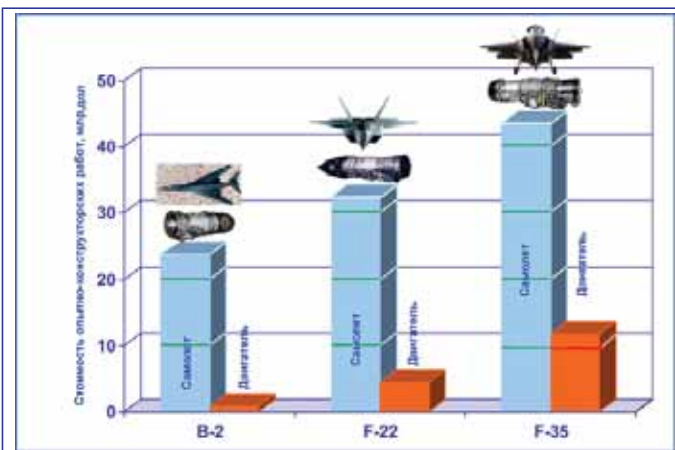


Рис. 3. Стоимость научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ при создании самолётов военного назначения

По военной авиации статистика не менее впечатляющая. Программа НИОКР по стратегическому бомбардировщику ВВС США В-2А обошлась в 24 млрд. долл., что превысило стоимость серийного производства и поставки партии из 21 самолета. Стоимость разработки многоцелевого истребителя пятого поколения F-22 Raptor составила 28 млрд. долл., а для новейшего истребителя-бомбардировщика пятого поколения F-35 в трех вариантах оценивается в 44 млрд. долл. (без учета стоимости НИОКР по двигателю).

Стоимость создания авиадвигателей также весьма существенна. Разработка ТРДД F118 для бомбардировщика В-2А (создан на базе газогенератора двигателя F101 для бомбардировщика В-1В) стоила 1,0 млрд. долл., ТРДД F119 для истребителя 5-го поколения F-22 Raptor обошлась более чем в 4 млрд. долл., перспективный ТРДД F135 для истребителей 5-го поколения F-35 обойдется американским налогоплательщикам более чем в 12,8 млрд. долл. (рис.3) [5-7].

В соответствии с доктриной МО США, основанной на сохранении доминирования в мире американских ВВС путем обеспечения непрерывного технологического превосходства, финансирование создания авиатехники военного назначения по стоимости примерно соответствует стоимости серийного изготовления и поставок этого типа авиатехники (рис. 4).

В случае В-2А стоимость НИОКР даже выше - 24 млрд. долл. против 19 млрд. долл. на серию. Данные Комиссии конгресса Соединенных Штатов Америки подтверждают, что затраты на разработку ВиВТ авиационного назначения примерно равны затратам на серийное производство [8].

В США при создании двигателей пятого поколения научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы примерно равны и по размеру финансирования и по временным затратам.

В связи с ужесточением предъявляемых требований, приводящих к усложнению авиационной техники, стоимость и продолжи-

тельность разработки авиационных двигателей от поколения к поколению непрерывно возрастают. Для двигателей пятого поколения доля средств, затрачиваемых на проведение НИЭР (научно-исследовательские и экспериментальные работы) по созданию опережающего НТЗ, составляет ~50 - 60% от стоимости разработки, а продолжительность - ~16 лет. Для двигателей шестого поколения прогнозируется дальнейшее увеличение доли средств, затрачиваемых на создание НТЗ (до ~75%) и увеличение продолжительности разработки - до ~20 лет (рис. 5) [6, 7]

Авиационный двигатель - ключевое звено любого летательного аппарата, определяющее его летно-технические характеристики (ЛТХ), безопасность, надёжность, экономичность, стоимость эксплуатации.

Он создается в 1,5-2 раза дольше планера и авиационного оборудования. И для того, чтобы он "попал" на новый летательный аппарат (ЛА), требуется опережающая отработка критических технологий. Такой подход соответствует современной методологии создания и модернизации авиационной техники (принятой в ВВС МО США, затем в NASA, а затем и в международной организации ICAO), направленной на существенное повышение роли НТЗ по критическим технологиям, узлам и системам перспективных двигателей и увеличение объемов их экспериментальной отработки на этапе НИЭР.

В рамках современной методологии за рубежом была разработана и используется система уровней готовности технологий (рис. 6) [9, 10].

Без достижения уровня технологической готовности TRL=6 (испытания демонстраторов на высотном стенде) переход от НИР к ОКР невозможен. Строгое соответствие этим стандартам позволяет минимизировать технические риски недостижения параметров ТЗ на авиатехнику (в том числе на авиадвигатель).

При этом особое внимание уделяется экспериментальной отработке критических технологий в узлах и системах в условиях максимально приближенных к реальным условиям эксплуатации. В качестве объекта демонстрации эффективности разрабатываемых технологий и конструкторских решений используются экспериментальные узлы, газогенератор (наиболее напряженная часть двигателя, которая в основном определяет его характеристики) и

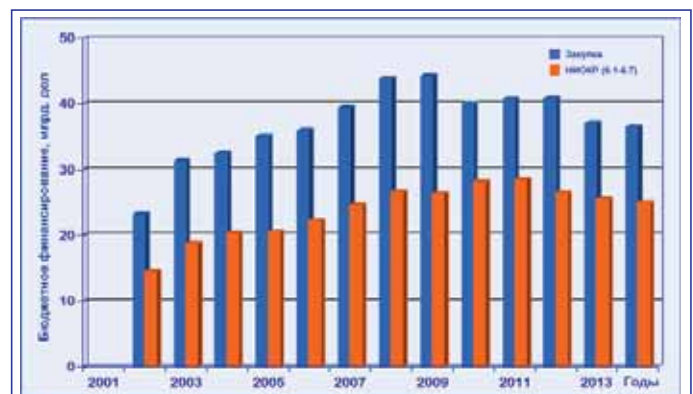


Рис. 4. Бюджетное финансирование ВВС США на закупку и проведение НИОКР по системам вооружения

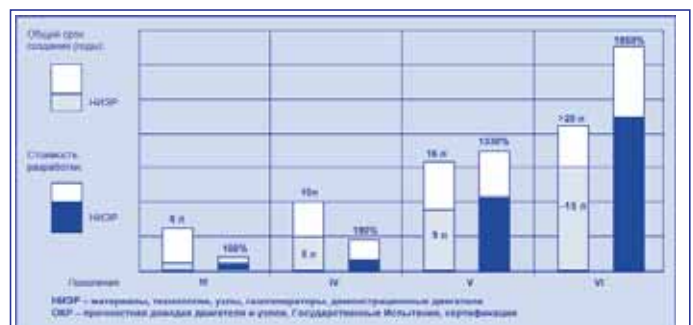


Рис. 5. Сроки и стоимость разработок базовых авиационных двигателей





Рис. 6. Уровни готовности технологий

двигатель-прототип, для которого кроме стендовых предусматриваются и летные испытания [11].

Отработка газогенератора и двигателя-прототипа в условиях максимально приближенных к эксплуатационным позволяет получить данные по характеристикам (газодинамическим, прочностным, вибрационным и т.д.) и работоспособности узлов и двигателя в целом и позволяет значительно сократить сроки и стоимость создания двигателя нового поколения.

Многолетняя статистика и анализ показывают, что затраты на создание двигателя примерно равны стоимости создания планера (как минимум на этапе создания демонстратора, или на этапе 6-го уровня технологической готовности). Это гарантирует то, что на этапе (опытно-конструкторских работ (ОКР) стоимость проекта существенно не увеличится. В финансировании ОКР комплекса не менее 20-25 % заложено на разработку двигателя. На этапе ОКР, когда критические технологии уже отработаны, этот показатель снижается. Например, на этапе демонстратора по двигателю F119 (НИОКР) для истребителя F-22А доля затрат на разработку двигателя составила около 45%, а при разработке двигателя F135 на базе газогенератора F119 - около 25%.

США лидируют в разработке новых технологий для силовых установок летательных аппаратов различного назначения, что позволяет американским предприятиям авиационной промышленности занимать ведущие позиции на мировом рынке авиационной техники. Министерством обороны США по поручению Конгресса ведутся "Перечень военных критических технологий" и "Перечень научных разработок и технологий", в которых авиационный двигатель является второй по значимости приоритетной критической технологией в части ВВС. Ежегодное бюджетное финансирование научно-исследовательских и экспериментальных работ по разработке в области авиационного двигателестроения составляет более 400 млн. долл.

Инвестиции в НИОКР подобных масштабов может себе позволить только государство. Бюджетное финансирование научно-исследовательских и экспериментальных работ (НИЭР) по линии Министерства обороны США, как заказчика двигателей для государственной авиации в несколько раз превышает бюд-

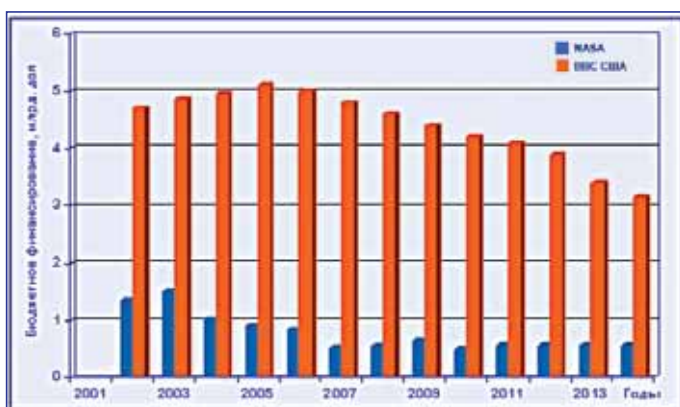


Рис. 7. Бюджетное финансирование НИР по авиации ВВС США и NASA

жет NASA, оплачивающего НИЭР по гражданской авиационной технике (рис. 7) [8, 12].

В высокоразвитых зарубежных странах авиадвигателестроение относится к одной из стратегически важных отраслей промышленности, обеспечивающей высокий уровень технологического развития государства. В целях достижения максимально возможного уровня технического совершенства, снижения сроков и стоимости разработки двигателей в рамках специальных программ постоянно ведется опережающая отработка новых технологий и технических решений. Во многом благодаря этим программам, проводимым при активной поддержке со стороны государства, и обеспечивается конкурентоспособность зарубежных авиадвигателестроительных компаний на мировом рынке [13].

Следует отметить, что программы по двигателям военного и гражданского назначения взаимно дополняют друг друга, поскольку на 70 - 80% используют общие технологии (методы расчета, конструкторские решения, конструкционные материалы, технологические процессы и т.д.) при создании новых и модернизации находящихся в эксплуатации двигателей. Так, например, на базе газогенератора двигателя военного назначения F101 компании General Electric для бомбардировщика B-1B было создано семейство двигателей гражданского назначения CFM56, которое со временем стало самым востребованным для силовых установок пассажирских самолетов семейств А320, А340 и В737 (за 42 года выпущено более 28000 шт.; доля рынка для А320 и В737 составляет ~70%) из-за своих высоких эксплуатационных характеристик. Когда потребовалось увеличить ресурс двигателям военного



Рис. 8. Применение "двойных" технологий

назначения F110 компании General Electric, то для этого в рамках программы SLEP (Service Extended Life Program) были использованы технологии и технические решения, разработанные для двигателей семейства CFM56. (рис. 8) [14]. И таких примеров, когда технологии, разработанные для двигателей гражданского назначения, применяются в двигателях военного назначения и наоборот, можно привести много.

В нашей стране исторически сложилось иная система и структура пропорций. На государственном уровне, еще в 2005 году, так же как и в США, авиостроение признано приоритетной отраслью народного хозяйства, которой оказывается серьезная государственная поддержка в рамках государственно-частного партнерства [15]. Однако на отраслевом уровне ситуация другая. Несмотря на то, что согласно Воздушному кодексу Российской Федерации, Федеральному Закону №10 от 8.01.1998 г. "О государственном регулировании развития авиации", подзаконным актам, в том числе Таможенному тарифу Российской Федерации, международным соглашениям об ограничении распространения товаров и технологий двойного назначения авиационный двигатель - высокотехнологичный, самостоятельный финальный продукт, в государственной программе "Развитие авиационной промышленности на 2013-2025 годы" проблематика двигателестроения, как в части НИЭР, так и ОКР недостаточно приоритетна и ей уделяется непропорционально мало внимания. Кроме того:

- основная поддержка идет по линии гражданской авиатехники,
- отсутствует приоритет двигателестроения по сравнению с платформой (самолеты, вертолеты, БПЛА);
- перекося в пользу серийного производства по сравнению с НИОКР ;
- существенно меньший заказ на НИЭР по сравнению с ОКР, в то время как весь мировой опыт говорит о необходимости баланса в этих направлениях.

По линии государственной авиации двигателестроение имеет меньшую поддержку на этапах научно-исследовательских, экспериментальных и опытно-конструкторских разработок. Создание авиационных двигателей, как правило, финансируется через летательный аппарат, что не обеспечивает необходимый объем финансирования и значительно усложняет процесс создания двигателя. Научно-исследовательских и экспериментальных работ по созданию НТЗ в обеспечение разработки двигателей для государственной авиации, ведущихся при поддержке Минпромторга России в рамках ФЦП "Развитие ОПК", по временным показателям и по уровню финансирования меньше, чем по линии ГА. Серьезной проблемой в том числе является и то обстоятельство, что в последнее время авиационный двигатель рассматривается как составная часть летательного аппарата, то есть как комплектующее, что противоречит стандартам СРПП ВиВТ, ОТТ ВВС, РИАТ (рис.9).

В этих условиях существенно возрастает роль научного сектора авиадвигателестроения России, призванного в условиях жестких финансовых ограничений обеспечить промышленность прогрессивными техническими решениями и технологиями для создания двигателей нового поколения, конкурентоспособных с продукцией ведущих мировых двигателестроительных компаний.

Основной задачей ЦИАМ с момента его организации является научное обеспечение создания авиационных двигателей, развитие авиационной науки, которая способствовала бы созданию передовой конкурентоспособной авиационной техники. Задача очень многогранная. Это поисковые и прикладные научно-исследовательские работы в области газовой динамики, прочности, горения и теплообмена, лопаточных машин, теории регулирования, разработки критических технологий (создание научно-технического задела) в обеспечение совершенствования серийных и разработки новых авиационных двигателей, а также газотурбинных установок на их основе. При этом для двигателей различного назначения требуются свои прорывные технологии. Кроме того, необходимо четкое взаимодействие науки и промышленности, так как НИЭР или формирование научно-технического задела (обеспечение технологической готовности для проведения ОКР) не менее важны, чем работы по созданию самого продукта (ОКР) и по его производству.

За более чем 60-летний период развития авиации с реактивными двигателями было создано пять поколений авиационных газотурбинных двигателей при кардинальном улучшении их показателей. При этом "локомотивом" развития двигателестроения являлась фронтовая авиация, которая при постоянном ужесточении требований к массогабаритным характеристикам, надёжности, расширению диапазона эксплуатационных режимов и т.д., требует разработки и внедрения новых "прорывных" технологий, материалов и конструкторских решений. Сегодня основным критерием для двигателя военной авиации является показатель весовой эффективности - с одного килограмма веса двигателя "снимается" уже 10 кг тяги.

За годы развития пассажирских самолетов с реактивными двигателями переход к новой схеме двигателя, повышение параметров рабочего процесса и улучшение аэродинамических характеристик самолетов позволил уменьшить затраты топлива на пассажирокилометр более, чем на 80%. При этом почти 50% снижения этого показателя получено за счет двигателя, а один из основных показателей - удельный расход топлива в условиях крейсерского полета ( $H=11$  км;  $Mp=0,8$ ) - для двигателей 5-го поколения имеет значение 0,50-0,52 кг/кгс ч.

В период 1995...2015 гг. в эксплуатацию были введены широ-

Продукт	США	Россия
<b>Государственный уровень</b>		
Авиационная техника (АТ)	• Авиационное входит в число национальных научно-технических приоритетов	• Авиационное относится к числу важных социально-экономических приоритетов
<b>Отраслевой уровень</b>		
Авиационный двигатель (АД)	• АД - самостоятельный продукт, входит в число важнейших критических технологий • Сопоставимое бюджетное финансирование НИОКР по АД и ЛА	• АД рассматривается как составная часть ЛА • Бюджетное финансирование НИОКР по ЛА существенно превышает бюджетное финансирование по АД
<b>Подотраслевой уровень</b>		
Авиационный двигатель (АД)	• Затраты на серийное производство сопоставимы с затратами на НИОКР • Бюджетное финансирование НИОКР по линии Министерства Обороны значительно превышает финансирование по линии гражданских ведомств (NASA, FAA) • Бюджетное финансирование НИЭР сопоставимо с бюджетным финансированием ОКР • Зачётные испытания проводятся на ЗБ государственного центра (АД ВМ) • Бюджетное финансирование содержания ЗБ государственного центра	• Затраты на серийное производство многократно превышают затраты на НИОКР • Объём финансирования НИОКР по линии гражданской продукции превышает финансирование по линии государственной авиации • Бюджетное финансирование НИЭР существенно меньше бюджетного финансирования ОКР • Зачётные испытания проводятся на ЗБ ОКБ Высокие испытания во ФГУП "ЦИАМ" ограничены • Недостаточное бюджетное финансирование содержания ЗБ ФГУП "ЦИАМ"

Рис. 9. Пропорции и диспропорции в авиадвигателестроении

кофюзеляжные самолеты нового поколения компаний Boeing и Airbus. В связи с этим, в настоящее время наиболее актуальными являются работы по узкофюзеляжным ближне-среднемагистральным самолетам (БСМС) с пассажироместимостью ~150 - 210 чел. Такие работы ведутся как у нас в стране, так и за рубежом. Если ведущие производители магистральных самолетов - компании Boeing и Airbus планируют ввести в эксплуатацию узкофюзеляжные самолеты нового поколения не ранее конца 2020-х годов и для обеспечения конкурентоспособности выпускаемой продукции приняли решение о ремоторизации самолетов семейств B737 и A320, то в России (МС-21) и КНР (C919) ведется разработка БСМС нового поколения.

В период 2016...2018 гг. будут введены в эксплуатацию двигатели пятого поколения для новых и ремоторизованных узкофюзеляжных магистральных самолетов, над проектами которых в настоящее время работают все ведущие зарубежные авиадвигателестроительные компании. По сравнению с двигателями, находящимися в эксплуатации (семейства CFM56, V2500, PW6000), они должны обеспечить уменьшение затрат топлива на ~15% и стоимости технического обслуживания на 25 - 30%, снижение уровня шума на ~15 - 20 EPN дБ относительно требований Главы 4 ИКАО и запас по уровню эмиссии NOx не менее 50% относительно норм ИКАО 2008 г. При этом в их конструкции будут использоваться технические решения и технологии, которые с успехом применяются в ТРДД пятого поколения для широкофюзеляжных самолетов, а также результаты работ по специализированным программам разработки перспективных технологий.

Сегодня отечественные двигателестроительные предприятия активно работают над созданием авиационных двигателей пятого поколения. В ЦИАМ разработка научно-технического задела для ПД-14 ведется с начала 2000-х годов. Институт совместно с АО "Авиадвигатель" принял участие в создании критических технологий: малошумного вентилятора с широкохордными лопатками рабочего колеса, компрессора высокого давления, малоэмиссионной камеры сгорания, разработку математической модели для САУ типа FADEC. На основе результатов испытаний даны рекомендации по проектированию турбин высокого и низкого давления, воздушной системы и другие (рис. 10).

Одновременно с участием в этих работах ЦИАМ проводит исследования по формированию облика двигателей 2025-2030 гг. и технологиям "прорывного" характера, которые должны обеспечить достижение амбициозных целей (целевых индикаторов) для летательных аппаратов следующего поколения со значительно сниженными затратами топлива, шума и эмиссии вредных веществ (рис. 11).

Так, например, в соответствии с ними новые пассажирские самолеты с перспективными двигателями к 2030 г. должны обеспечить:



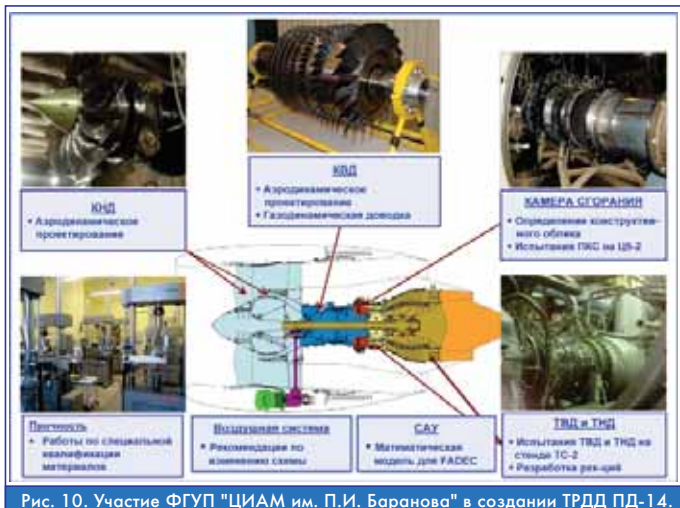


Рис. 10. Участие ФГУП "ЦИАМ им. П.И. Баранова" в создании ТРДД ПД-14.

- уменьшение удельного расхода топлива в условиях крейсерского полета до 20% относительно двигателя ПД-14;
- запас по уровню шума не менее 30 EPNдБ относительно требований Главы 4 ИКАО;
- запас по эмиссии NOx по циклу "взлет - посадка" не менее 65% относительно требований ИКАО 2008 г. (CAEP/6).

Достижение заявленных индикаторов требует решения ряда сложных задач и разработки перспективных технологий и может быть реализовано только при комплексном подходе путем улучшения характеристик двигателя, летательного аппарата и управления воздушным движением.

Необходимо еще раз подчеркнуть важную роль авиационных двигателей в прогрессе пассажирского транспорта будущего. Это видно, в частности, из прогноза ACARE. В снижении расхода топлива и эмиссии CO<sub>2</sub> около половины ожидается получить за счет дальнейшего совершенствования авиационных двигателей [16].

Принимая во внимание целевые индикаторы, в ЦИАМ был проведен анализ перспективных схем двигателей для пассажирских самолетов нового поколения, результаты которого практически совпадают с выводами зарубежных коллег (рис. 11).

Основной тенденцией развития мирового авиадвигателестроения является широкое применение в конструкции узлов перспективных двигателей композиционных материалов на различных матрицах, что позволяет уменьшить массу конструкции, затраты топлива и уровни эмиссии вредных веществ, повысить надежность и увеличить межремонтный ресурс и, соответственно, сократить прямые эксплуатационные расходы. Наибольший эффект ожидается от применения керамических композиционных материалов в "горячей" части двигателя.

Создание перспективных двигателей требует развития численных методов проектирования. В ЦИАМ разработаны высокоэффективные методы многодисциплинарного моделирования и



Рис. 11. Целевые индикаторы и технологии перспективных двигателей для самолетов гражданской авиации и военно-транспортной авиации

многопараметрической оптимизации и проектирования различных узлов двигателя, учитывающие нестационарные пространственные эффекты, эволюцию турбулентности по тракту двигателя, химическую кинетику и др. Созданные методы верифицированы по результатам модельных или натурных испытаний узлов двигателей на стендах ЦИАМ. Внедрение разработанных методов позволило Институту решить многочисленные задачи по улучшению характеристик, оптимизации конструкции и повышению надежности авиационных двигателей и их узлов.

В ЦИАМ совместно с предприятиями АО "ОДК" начаты работы по определению облика и критических технологий для двигателей большой тяги (30 - 35 тонн) (рис. 12).

Принципиальное значение для двигателей большой тяги с высокой или сверхвысокой степенью двухконтурности имеет применение корпуса и лопаток вентилятора из легких композиционных материалов. В настоящее время ЦИАМ активно работает в этом

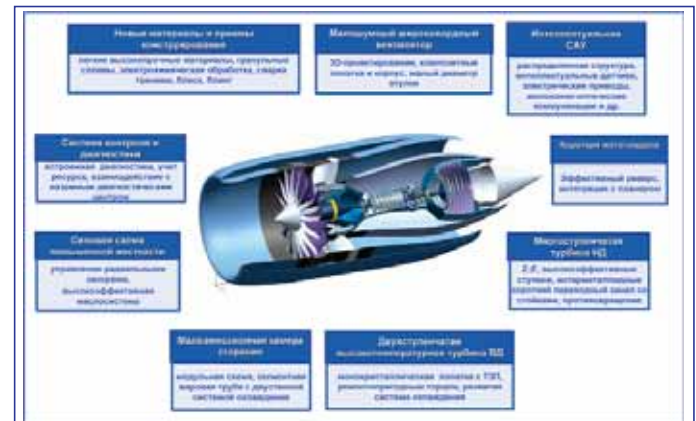


Рис. 12. Ключевые технологии ТРДД большой тяги.

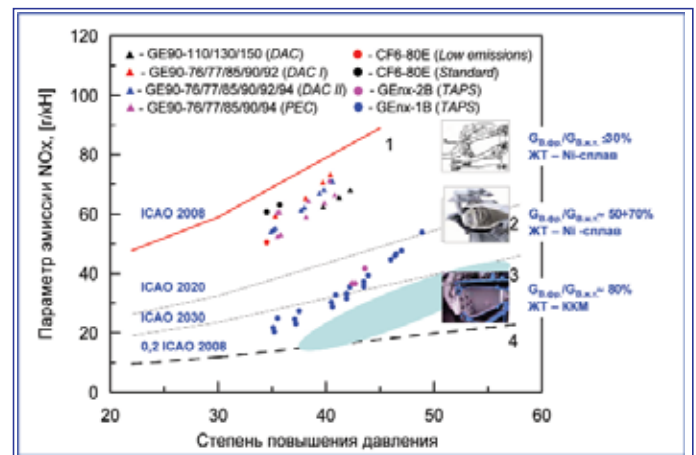


Рис. 13. Действующие и перспективные требования ICAO к уровню эмиссии NO<sub>x</sub>.

направлении, и планирует предложить в перспективе применение лопаток и корпуса из ПКМ не только для двигателей большой тяги, но и для двигателей семейства ПД-14.

В рамках НИР по двигателям большой тяги в ЦИАМ был разработан аэродинамический проект КВД на степень повышения давления π<sub>к</sub>\*=27 на базе результатов экспериментальных исследований типовых ступеней, спроектированных с применением методов, учитывающих нестационарное взаимодействие лопаточных венцов.

Создание малоэмиссионной камеры сгорания для двигателей большой тяги представляет более сложную задачу, чем для ПД-14, так как она должна обеспечивать большой запас по эмиссии NO<sub>x</sub> относительно норм ICAO 2008 г. при более высоких значениях температуры и давления на выходе из компрессора и большой ресурс. При этом особое внимание следует обратить на разработку фронтного устройства и жаровой трубы.

Учитывая возможные сроки создания двигателя большой тяги в России и для удовлетворения перспективным требованиям по



Рис. 14. Работы ЦИАМ в обеспечении создания "Электрического" ГТД.

ван при создании жаровой трубы для двигателя большой тяги.

Учитывая тенденции развития авиадвигателестроения для обеспечения конкурентоспособности двигателя большой тяги необходимо развернуть работы по применению композиционных материалов для лопаток и других деталей турбин, опыт работ по которым есть только у ЦИАМ.

Сегодня в эксплуатации находятся летательные аппараты, в которых применяются "электрические" технологии. К "электрическим" технологиям для двигателя относят стартер-генератор на валу каскада высокого давления, генератор на валу каскада низкого давления, электрические исполнительные механизмы приводов двигательных агрегатов, магнитные подшипники и др. Применение "электрических" технологий позволяет отказаться от ряда агрегатов и систем, а также от отборов воздуха на самолётные нужды. "Электрификация" двигателя и самолета позволяет уменьшить затраты топлива на 3 - 5%, повысить надежность примерно в 2 раза, уменьшить прямые эксплуатационные расходы ~ в 2 раза и уменьшить массу и мидель двигателя на 10 - 15%. (рис.14)

Что касается системы автоматического управления (САУ), то на перспективных двигателях предполагается применение интеллектуальной распределенной САУ со SMART-датчиками, в том числе и беспроводными. Управление двигателем будет осуществляться по не измеряемым параметрам с использованием математической модели "виртуального" двигателя.

Международное сотрудничество всегда было важным направлением деятельности ЦИАМ. Им оно и остаётся, благодаря

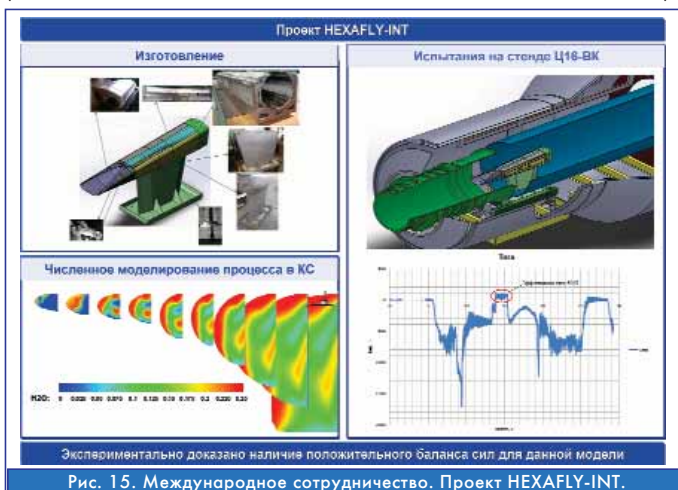


Рис. 15. Международное сотрудничество. Проект HEXAFly-INT.

уровню эмиссии NOx (линии 3 и 4 рис.13) необходимо активизировать работы по созданию малоэмиссионной камеры сгорания с жаровой трубой из керамического композиционного материала, что обеспечит снижение расхода воздуха на ее охлаждение до 15 - 20%. В ЦИАМ была спроектирована, изготовлена и испытана жаровая труба из керамического композиционного материала для малоразмерного двигателя, опыт создания которой может быть использо-

высокому научно-техническому потенциалу наших ученых и специалистов и наличию уникальной экспериментальной базы.

С 2005 года ЦИАМ принимает участие в проектах рамочных программ Европейского сообщества. В настоящее время ЦИАМ - партнер в международных кооперационных проектах, финансируемых Европейской Комиссией в рамках 7-ой Рамочной программы Европейского Союза

В рамках 7-й Рамочной программы по проекту HEXAFly-INT разрабатывается демонстратор ГЛА с надфюзеляжным расположением водородного ГПВРД, основной целью которого является демонстрация положительного баланса сил при гиперзвуковых скоростях полета. С российской стороны в работе принимают участие ЦАГИ, ЦИАМ, ЛИИ и МФТИ.

В рамках проекта ЦИАМ провел численное моделирование рабочего процесса в камере сгорания с использованием программного пакета, разработанного в Институте, изготовил и провел испытания крупномасштабной модели демонстратора ГЛА в интеграции с надфюзеляжным ГПВРД. Результаты испытаний показали наличие положительного баланса сил для данной конфигурации модели демонстратора (рис. 15).

ЦИАМ вместе с АО "ОДК" работает в соответствии с утвержденными Минпромторгом "Перечнем мероприятий по проектированию, изготовлению и испытаниям экспериментальных объек-



Рис. 16. Демонстраторы технологий, созданные в ЦИАМ в 2012...2015 гг., компетенции НТЗ по двигателям 5-го и 6-го поколений

тов...", каждый раз на этапе НИЭР доводя до максимально возможного уровня технологической готовности эти экспериментальные объекты. Тематические работы Института ориентированы, прежде всего, на доведение НТЗ в области разработки конкретных технических решений и критических технологий для перспективных базовых двигателей различного назначения до высокой степени зрелости. За последние 4 года в Институте создано значительное количество демонстраторов технологий по различным типам двигателей и по различным областям авиационной науки (рис. 16).

За последние три года в рамках создания НТЗ Институту выполнено 47 НИР и 1 ОКР, изготовлено 47 демонстраторов, модернизировано 7 стендов, получено 62 патента на изобретения и полезные модели и 15 свидетельств на программы для ЭВМ.

И в заключение хочу отметить, что для ведения поиска новых технических решений и создания прорывных технологий в ЦИАМ есть талантливая и дерзкая молодежь и умудренные опытом и практикой высококвалифицированные специалисты старшего поколения. Такое сочетание молодых энтузиастов и умудренных опытом ученых и инженеров является залогом успешной деятельности Института в будущем.

Литература

1. Бабкин В.И., Цховребов М.М., Солонин В.И., Ланшин А.И. Развитие авиационных ГТД и создание уникальных технологий. Двигатель №2(86),2013, стр. 2-7



2. The Jet Engine, Rolls-Royce plc 2005
3. Aaron J. Gellman. A Shadow Critical Project Appraisal: The Airbus A380 Program. Northwestern University, Transportation Center, Seminar Series, Thursday, April 6, 2006
4. Airbus A350XWB. Overview (<http://www.airbus-a350.com/>)
5. B-2 Bomber: Cost and Operational Issues (Letter Report, 08/14/97? GAO/NSIAD-97-181).
6. F-22 As of December 31, 2010. Selected Acquisition Report (SAR), RCS: DD-A&T(Q&A)823-265, Defense Acquisition Management Information Retrieval (DAMIR), 2011
7. F-35 As of December 31, 2012. Selected Acquisition Report (SAR), RCS: DD-A&T(Q&A)823-198, Defense Acquisition Management Information Retrieval (DAMIR), 2013
8. Anytime, Anyone, Anything, Anywhere - Final report of the Commission on the future of the United States Aerospace Industry, November, 2002
9. John C. Mankins. Technology Readiness Levels. A White Paper, April 6, 1995, NASA
10. Manager's Guide to Technology Transition in an Evolutionary Acquisition Environment. Version 1.0, January 31, 2003, Defense Procurement and Acquisition Policy, Office of the Under Secretary of Defense (Acquisition, Technology and Logistics), Department of Defense
11. Работы ведущих авиадвигателестроительных компаний по созданию перспективных авиационных двигателей (аналитический обзор). Под общей редакцией д.т.н. В.А. Скибина и к.т.н. В.И. Солонина М., ЦИАМ, 2004, с. 424.
12. Бюджеты NASA за 2002...2013 гг.
13. В.А. Палкин, В.И. Солонин, В.А. Скибин. Работы ведущих авиадвигателестроительных компаний в обеспечение создания перспективных авиационных двигателей (аналитический обзор). ЦИАМ, 2010, с. 676.
14. Improving the Efficiency of Engines for Large Non-fighter Aircraft. Committee on Analysis of Air Force Engine Efficiency Improvement Options for Large Non-fighter Aircraft, National Research Council, The National Academy Press, 2007, 192 pages.
15. Стратегия развития авиационной промышленности России на период до 2015 года.
16. FlightPath 2050. ACARE, 2011.



# 10-12 августа, 2016

## Казань

3-й международная специализированная выставка

**А** ВИА

**К** ОСМИЧЕСКИЕ

**Т** ЕХНОЛОГИИ, СОВРЕМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ и

**О** БОРУДОВАНИЕ






Россия, 420059, г. Казань, Оренбургский тракт, 8,  
 Выставочный центр "Казанская ярмарка"  
 Тел/факс: (843) 570-51-26, 570-51-11, 570-51-23  
 E-mail: d9@expokazan.ru, www.aktokazan.ru

