

ТРДД «6-ГО ПОКОЛЕНИЯ» - ДОСТОЙНЫЙ ОТВЕТ двигателестроительных корпораций Запада и России «нефтяным олигархам»



Вячеслав Дворниченко, МГТУ ГА, д.т.н.,
профессор Mond University of DFRE,
член академий PAE и EUANH

Данный материал родился на основе дискуссий на двух презентациях британской двигателей фирмы Rolls-Royce по коммерческим двигателям TRENT-1000 модификаций (E, H, A, G, C, D, J, K), состоявшимся в августе 2006 г. и 13-15 ноября 2007 г. (совещание «Евросоюз – Россия» в области ГА), а также двух совещаний в ОАО «Аэрофлот» по российскому 16-тоннику ТРДД ПС-90А (30 марта 2006 г. и в октябре 2007 г. в Шереметьево-2).

Перспективы развития авиатехники корпораций Запада и США

Пути развития двигателестроения для дальних магистральных самолётов (ДМС) в настоящее время чётко определились. Двигателисты – учёные и конструкторы авиастроительных корпораций Запада и США пошли путём создания ТРДД, способного сэкономить до 20% удельного расхода топлива в крейсерском полёте, чтобы противостоять росту цен на авиакеросин во всём мире. Например, на всероссийском совещании 30 марта 2006 г. в аэропорту Шереметьево-2 была обнародована цена авиакеросина в аэропорту Гаваны в 900 долл. за тонну. Поэтому науке РФ за экономическую эффективность наших аэробусов Ил-96-300 и Ил-96-400 (транспортный самолёт) как ДМС надо упорно сражаться. Решить надо, в конце концов, проблему силовой установки для нашего ДМС.

По нашему мнению, если топливо – керосин, необходимо спроектировать «русский двигатель» ПС-90А3 винтовентиляторной схемы с взлётной тягой 250.000 Н, который предложил автор этой статьи. Предложения МГТУ ГА по модернизации ПС-90А до уровня ТРДД ПС-90А3 винтовентиляторной схемы уже известны ОКБ «АК имени С.В.Ильюшина». Четыре таких ТРДД дадут суммарную тягу при МСА 1.000.000 Н (98.100 кгс) для самолётов Ил-96-300 или Ил-96-400. По такой

же винтовентиляторной схеме (конструктивно реализуется высокая степень двухконтурности, достигая значений 9-12) функционируют ТРДД Д-436Т-12 («Мотор-Сич», Запорожье), PW-8000 (Pratt&Whitney) и ТРДД тягой 12.000 кгс для самолёта МС-21 (Самарское НПО имени Н.Д.Кузнецова).

В настоящее время в авиакомпаниях Великобритании топливная составляющая в стоимости авиабилета достигает 30% (данные Rolls-Royce за ноябрь 2007 г.). Похоже, в остальных странах Запада и США эта цифра аналогична. В РФ она уже повысилась до 60%. А так как уровень зарплат на предприятиях ГА в России ниже, чем на Западе, напрашивается вопрос – куда же авиаперевозчикам двигаться дальше? Потому так рьяно и взялись за дело: чтобы повысить топливную эффективность ТРДД двигателестроительные авиационные фирмы Запада и США, производящие ТРДД для СМС и ДМС ГА, а именно для самолётов фирм Boeing и Airbus.

Россия также постепенно втягивается в этот альянс, а если построим высокоэффективный (с учётом последних разработок Pratt&Whitney и Rolls-Royce) наш двигатель ПС-90А3, то отечественное авиастроение и в мире займёт

высокое положение. На Западе в создании новых ТРДД чётко просматривается «коллективность» решений фирм Boeing Aircraft Corporation, General Electric и Rolls-Royce (выбор и согласование параметров проектируемых двигателей и самолётов), например, для Boeing-787 Dreamliner. То есть, изначально был задан уровень «потребных тяг» ТРДД на взлётном режиме, степень двухконтурности 11, суммарная степень повышения полного давления 50 в трёх каскадах компрессоров (для General Electric имеем ввиду двухкаскадный компрессор и та же суммарная степень повышения полного давления 50), «заторможенная» температура газа перед турбиной высокого давления 1729°K для обеих фирм, задан ориентировочно сухой вес ТРДД, его габариты для восьми вариаций по тяге двигателей каждой из фирм.

У англичан (Rolls-Royce) при проектировании в ход пошла их традиционная трёхвальная схема ТРДД для установки на строящийся в США самолёт Boeing-787 Dreamliner. У американской двигателестроительной фирмы General-Electric традиционная схема – двухвальная с подпорными ступенями за каскадом вентилятора исключительно для первого



(внутреннего) контура ТРДД. Все параметры рабочего процесса ТРДД у семейства GE-nx идентичны параметрам британских двигателей. Очевидно, это - требование фирмы Boeing соблюдения эквивалентности рабочих параметров, весовых характеристик, габаритов у семейств двух двигателей этих двух фирм - английской и американской.

Однако, при ближайшем рассмотрении, можно увидеть, что британская фирма Rolls-Royce, а также американская General-Electric резко ушли вправо с проторённой дороги (создание полностью «электрического» самолёта и, соответственно, полностью «электрического» двигателя). Двигатель (точнее, семейство двигателей TRENT-1000 - восемь модификаций - для Boeing-787: E, H, A, G, C, D, J и K) спроектирован и уже изготовлен (или изготавливается) на авиазаводах Rolls-Royce в Derby (Центральная Англия) как двигатель без отбора воздуха на «самолётные нужды» (нулевой отбор воздуха) и с обрабатываемым электростартером переменного тока большой электрической мощности (500 кВт). Коробка приводов двигательных и самолётных агрегатов на новейших двигателях отсутствует.

Таким образом, можно говорить о двигателях TRENT-1000 модификаций E, H, A, G, C, D, J и K с диапазоном уровня тяг восьми модификаций этого ТРДД в фунтах тяги на взлётном режиме при MCA в 53.000-74.000 lbs, как о двигателях 6-го поколения (по терминологии ФГУП ЦИАМ, принятой в РФ). Предусматривается полностью автономная система кондиционирования воздуха на самолётах Boeing-787 Dreamliner, так как отбор воздуха от КВД отсутствует (он запрещён концептуально). Требуемая электроэнергия для системы кондиционирования заложена в электростартере-генераторе. Приводится генератор во вращение от КВД ТРДД с помощью механической трансмиссии, где традиционно присутствует тауэр-шестерня.

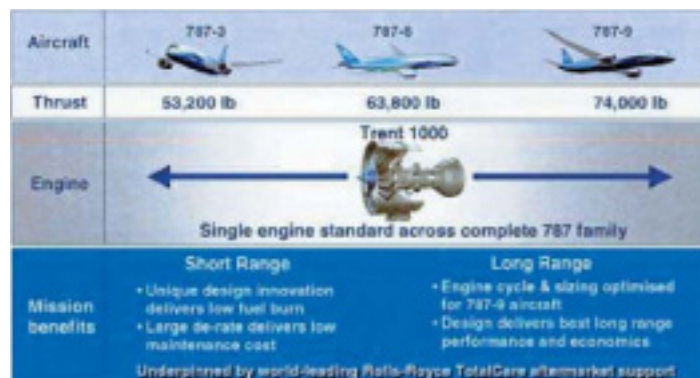
И что же мы получаем от этого ТРДД в полёте «на крыле»? По удельному расходу топлива ТРДД - солидная экономия «на крыле»: ни много, ни мало, а менее 0,5 кг/кг/ч. О таком удельном крейсерском расходе топлива для ТРДД мечтали во ФГУП ЦИАМ ещё в середине 70-х годов прошлого столетия, и автор статьи слышал эту «заораживающую» воображение

цифру» от маститых учёных ФГУП ЦИАМ ещё в 1975 г., где тогда работал.

Уровень взлётных «земных тяг» в единицах технической системы кгс у ТРДД TRENT-1000 (модификаций E, H, A, G, C, D, J и K) при MCA - от 24.000 до 34.000 кгс. И это только по двигателю авиастроительные корпорации Запада и США запланировали получить 20% экономии топлива, а что ещё может дать «собственно самолёт»? Самолёт также может дать дополнительно экономию в 10-15% по часовому расходу топлива в крейсерском полёте, если использовать новейшие разработки.

Например, внедрение методики минимизации асимметрии тяги в крейсерском полёте, по концепции Pratt&Whitney + МГТУ ГА, и устранение колебаний ВС в плоскости рыскания X-O-Z, а также исключение вхождения самолёта в режим полёта Dutch-Roll (путём «срезания амплитуды» этих синусоидальных колебаний) электронно-гидравлической системой демпфирования (как на Boeing-767-300ER и Boeing-777-400ER) с использованием триммера руля направления.

Вопросы асимметрии тяги (причина появления режима полёта Dutch-Roll) в крейсерском полёте автор статьи исследовал в своей докторской диссертации. С нею можно ознакомиться в интернете (копирование только с согласия автора) и к ней уже вовсю апеллируют различные «околонаучные структуры». Связаться с автором этой диссертации можно также через редакцию журнала «АКО». Информация по британским ТРДД для данной статьи получена «из первых рук», поскольку в августе 2006 и ноябре 2007 гг. автор присутствовал на презентациях новейших ТРДД фирмы Rolls-Royce TRENT-500, -800, -900 и -1000. Особенно представительной была презентация ТРДД TRENT-1000 (модификаций E, H, A, G, C, D, J и K).

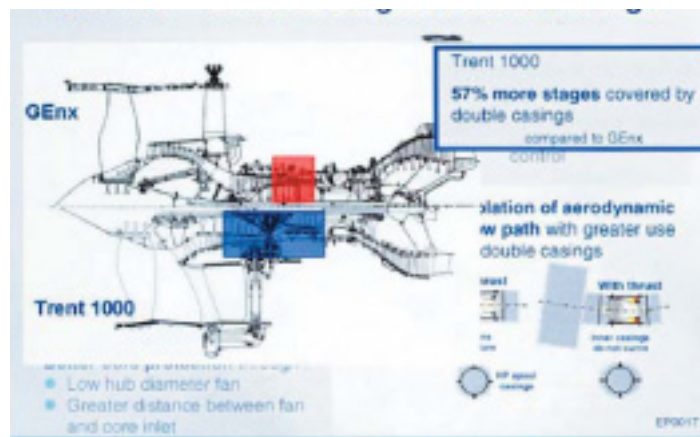
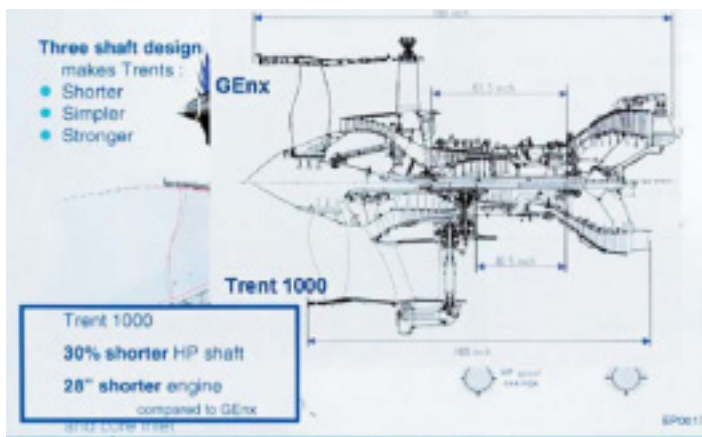


Диапазон взлётной тяги (53,200-74,000 lbs) для применения двигателей фирмы Rolls-Royce семейства TRENT-1000 на самолётах Boeing-787 Dreamliner.

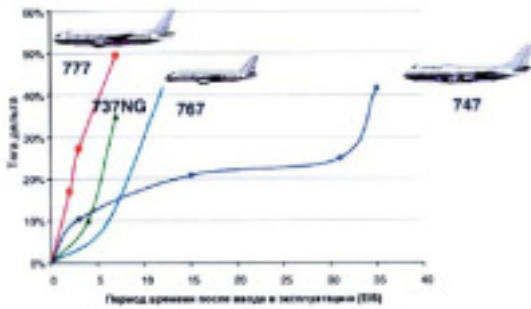
Сегодня межремонтный ресурс у английских ТРДД фирмы Rolls-Royce, как заявляет производитель двигателя, составляет 12.000 ч, а для своих новейших разработок британцы прогнозируют межремонтный ресурс в 25.000 ч. А поскольку сейчас англичане заложили для ТРДД TRENT-1000 (восьми модификаций) полную температуру газа перед турбиной ВД, как у ТРДДФ фирмы Pratt&Whitney, например, F-100PW-119 (и для ТРДДФ F-100PW-229 истребителя F-16C) для истребителя F-22 Raptor (у американцев температура газа перед турбиной высокого давления - 1777°K, у англичан - 1729°K) завоевания господства в воздухе с векторным регулированием тяги, то британцы решили, что будут через 8000-9000 ч менять всю «горячую часть» двигателя (оба каскада турбин: и лопатки, и диски), конечно, в условиях специализированного ремонтного предприятия.

Ко всему этому, камеры сгорания у британцев выложены огнеупорной керамикой, как доменные печи в металлургическом производстве. И, надо заметить, это впервые в мире в авиадвигателях ТРДД. У американцев, французов, россиян этого новшества до настоящего момента не наблюдалось.

Можно ожидать, что экономия по топливу в 15% может и должна быть получена от применения новых материалов в конструкции планера (углепластики), а также титановых сплавов в самолётных системах - гидравлической, управления, топливной, воздушной, кондиционирования, противопожарной, системе шасси. А как же трещины и их иссле-



Преимущества ТРДД фирмы Rolls-Royce TRENT-1000 по габаритам при установке на самолёт Boeing-787 Dreamliner, по сравнению с ТРДД фирмы General Electric GE9x (британский ТРДД - с двойной стенкой корпуса КВД).



Наращивание взлётной тяги семейства современных самолётов Boeing в процессе лётной эксплуатации за 25-35 лет. Это достойный пример для подражания нашего Ил-96-300, у которого взлётная тяга при МСА 27 лет (1980-2007 гг.) оставалась на уровне 4x16.000 кгс.

над ТРДД ПС-12 для самолёта МС-21. Схема этого двигателя напоминает изделие американской фирмы Pratt&Whitney с подпорными ступенями.

Тяга нашего водородного ТРДД, схема без смещения потоков составила на одном из крейсерских режимов (0,9 N) 46.410 Н (4730,8 кгс). К примеру, у ПС-90А на стандартном топливе, согласно РЛЭ, в крейсерском полёте она составляет 3500 кгс. А крейсерский удельный расход водородного топлива у ПС-90АЗК (водородный) составляет 0,0018954 кгс/Н/ч (0,0189538 кгс/кгс/ч). Таким образом, наш новый высокоэкономичный ТРДД ПС-90АЗК на жидком водороде обеспечит тягу самолёту Ил-96-400, даже большую, чем ПС-90А2.

Распечатки результатов подтверждают, что мы можем рассчитывать и водородные ТРДД с предельно высокими параметрами термодина-

тана» в России и за рубежом, где её результаты сопоставляли с работой других программ, и успешно прошла все тестирования и экспертизы.

Тестировал эту программу автор дополнительно в Mond University в Дебре-Зейте (ДФРЭ) при исследовании маневренных характеристик истребителей 5-го поколения с векторным регулированием тяги. Программа и результаты её работы на сверхзвуковых режимах полёта сопоставлялись с известными данными по ТРДДФ F-100PW-229 профессора Маттингли. Сравнение двух программ показало полную идентичность параметров по всем режимам и высотам полёта F-22 Raptor (ТРДДФ F-100PW-119).

Мы в конструктивной схеме двигателя ПС-90А3 не пошли путём британской Rolls-Royce, и у нас схема ТРДД - винтовентиляторная с приводом вентилятора через редуктор как для керосинового, так и для водородного варианта. Этот же путь выбрали: Запорожская «Мотор Сич» с двигателем ТРДД Д-436Т-12 (воплощён в металле), американская Pratt&Whitney со своим ТРДД PW-8000 (идёт интенсивная разработка), Самарское НПО имени Н.Д.Кузнецова со своим 12-тонником (выделены финансы, идёт усиленное проектирование под патронажем Правительства Самарской области), ну, конечно, и мы - МГТУ ГА со своим 25-тонником ПС-90А3 (разработана концепция ТРДД 6-го поколения с привлечением научных ресурсов и всех достижений фирм Запада и США, а также российских фирм - производителей ТРДД).

Теперь необходимо поработать, засучив рукава, чтобы создать российский ДМС на уровне западных стандартов (по всем нормативам ИКАО)

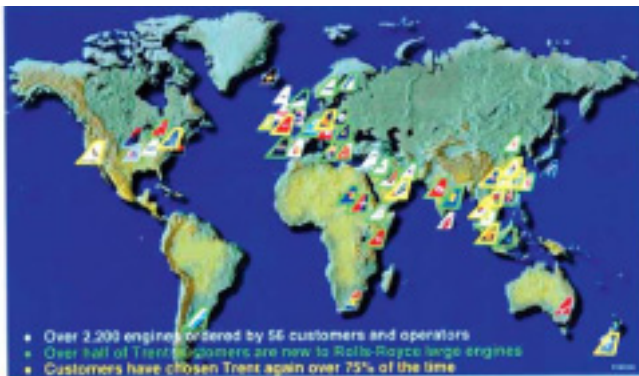
как на стандартном топливе - керосине, так и на криогенном - жидком водороде. Можно вспомнить, что у нас было в начале пути в 1945 г.: британский ТРД Nene – Derwent, который трансформировался тогда же в российский ТРД ВК-1А и ВК-1Ф и хромоникелевый английский сплав Nimonic для турбин, который русскому академику-металловеду Кишкину подарили британские инженеры во время посещения им авиазаводов в Великобритании в 1945 г. А сегодня российским двигателям позарез нужен сплав (пусть даже и на основе молибдена), чтобы поднять температуру газа до 1750°K для нашего ТРДД ПС-90А3 и, в то же время, обеспечить гарантийный ресурс в 25.000 ч (общетехнический ресурс 25.000x3 ч).

Выводы

1) Производители ВС и ТРДД для этих самолётов на Западе и в США целенаправленно проектировали их так, что уже достигли 20% экономии по удельному расходу топлива только по ТРДД по сравнению с современным уровнем (что касается экономической эффективности самолёта, то её надо рассматривать дополнительно: сверхкритическое крыло, удлинённая кабина, наличие электронно-гидравлической системы демпфирования колебаний самолёта в плоскости рыскания X-O-Z, минимизация асимметрии тяги с помощью САУ ТРДД, например, с применением электронной FADEC/EEC, самолёт обеспечивается двигателями ТРДД с большим гарантийным ресурсом 25.000 ч и его тяговооружённость на взлёте в полностью снаряжённом виде должна быть не ниже 0,35, обеспечивается число $M_p=0,9$ на высоте крейсерского полёта 11.000 м, дальность полёта самолёта должна быть на уровне 15.000-16.000 км и более).

2) Все проектируемые двигатели для СМС и ДМС на Западе и в США проектировщики выполняют, взяв за основу ТРДД (Rolls-Royce, General-Electric и Pratt&Whitney), «переразмеренные» по тяге и без отбора воздуха на самолётные нужды, чтобы в эксплуатации использовать концепцию, принятую и на Западе - derating modes, особенно при взлёте и наборе высоты. Это - не что иное, как ТРДД 6-го поколения. Используется электрический запуск (воздушный запуск концептуально запрещён, воздушный стартёр отсутствует) на земле с помощью мощных электромоторов. В конструкцию ТРДД закладывается гарантийный ресурс 25.000 ч для СМС и ДМС при эксплуатации двигателя «на крыле».

3) Российские ДМС Ил-96-300 и Ил-96-400 также нуждаются в переразмеренном по тяге ТРДД, предложенном автором статьи ещё в ноябре 2005 г. ПС-90А3 (топливо стандартное - керосин). Ресурс нового российского двигателя должен быть на уровне мировых стандартов, а именно, 25.000 ч (двукратная замена обеих турбин через 8000-9000 ч, поскольку температура газа перед турбиной высокого давления - 1750°K - на режиме «взлётной» тяги при МСА довольно высока. В процессе выработки гарантийного ресурса - подход фирм Rolls-Royce или Pratt&Whitney для двигателей военного назначения).



- Over 2.200 engines ordered by 56 customers and operators
- Over half of Trent engines are now in Rolls-Royce large engines
- Customers have chosen Trent again over 75% of the time



Unique 3 shaft design

- Lighter
- Shorter
- Stronger

Proven contra-rotating architecture

География распространения двигателей семейства TRENT (вверху). Сегодня авиаперевозчиками заказано 2200 двигателей. Более 50% покупателей приобретают коммерческие ТРДД фирмы Rolls-Royce большой тяги. Конструктивное преимущество трёхвальной схемы ТРДД TRENT - противоположное вращение КВД для минимизации гироскопического момента при манёврах самолёта (внизу).

*Двигатели -
энергия успеха!*

ДВИГАТЕЛИ-2008



10 МЕЖДУНАРОДНЫЙ САЛОН

15-19 апреля 2008 г.
г. Москва

Устроитель салона



Ассоциация «Союз авиационного двигателестроения»
Россия, 105118, Москва, пр-т Будённого, 19
тел.: (495) 369-80-48, 366-09-16, факс: (495) 366-45-88
e-mail: assad@assad.ru www.assad.ru