



ДВИГАТЕЛЬ CFM56

О НЕМ И О ТОМ, ЧТО ВОКРУГ НЕГО...

Олег Юрьевич Бондарев, специалист II уровня по визуальному и измерительному контролю, президент Промышленной ассоциации "МЕГА" в области технической диагностики

Юрий Александрович Тарасенко, специалист инженерно-авиационной службы BBC



(Окончание. Начало в № 3 - 2013)

Серия CFM56-5 (рис. 11) - модификация двигателя CFM56, имеющая самое большое количество вариантов и подвариантов. Создана для того, чтобы удовлетворить все возможные "запросы" самолетов Airbus (главным образом семейства A320, а также A340), поэтому имеет довольно широкий диапазон тяговых параметров.

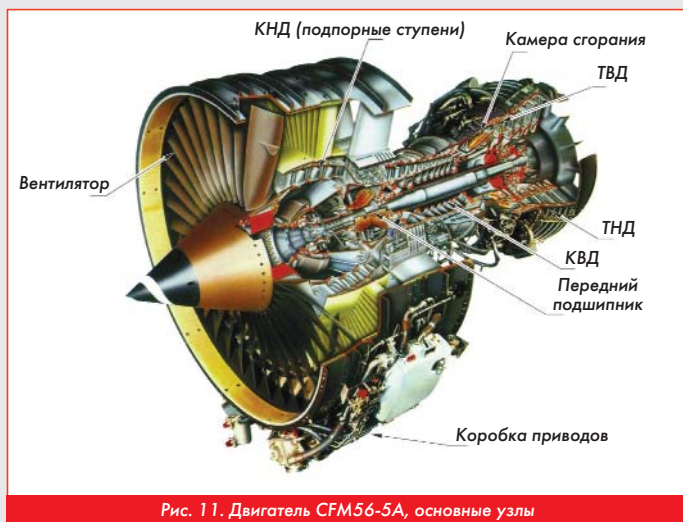


Рис. 11. Двигатель CFM56-5A, основные узлы

Спроектированные на базе своих предшественников CFM56-2 и CFM56-3, двигатели пятой модификации ощутимо отличаются от них аэродинамикой (и аэродинамической компоновкой) проточной части. Кроме того, все эти двигатели оборудованы цифровой компьютеризированной системой управления FADEC (Full authority digital engine Controller).

Двигатели модели CFM56-5A. Эти движки создавались для самолетов группы A320. Диаметр вентилятора вернулся к исходному диаметру "двойки" - 173 см. Количество лопаток в нем 36. Улучшилась аэродинамика вентилятора, обоих компрессоров (КНД и КВД) и кольцевой камеры сгорания. Все это позволило улучшить топливную эффективность серии почти на 11 % по сравнению с предшественниками.

CFM56-5A1: P - 25 000 lbf, C - 6,0 (устанавливается на A320).

CFM56-5A3: P - 26 500 lbf, C - 6,0 (A320).

CFM56-5A4: P - 22 000 lbf, C - 6,2 (A319).

CFM56-5A5: P - 23500 lbf, C - 6,2 (A319).

Далее следует версия CFM56-5C (рис. 12). Это самые мощные двигатели семейства CFM56. Имеют увеличенные тягу, степень повышения давления в компрессоре и, конечно, массу: 3990 кг против 2270 кг (двигатель 5A). Устанавливаются на дальнемагистральные самолеты A340-200/300 (рис. 13). Диаметр вентилятора увеличен до 184 см.



Рис. 12. Двигатель CFM56-5C



Рис. 13. Airbus A340-313X

Двигатели этой модели на самолете A340 выполнены со смешением потоков. Это единственный такой вариант во всей линейке CFM56. В остальных вариантах смешения потоков нет.

Чтобы иметь возможность вращать такую массу и обеспечить нужные параметры, компрессору и турбине низкого давления добавлено по одной ступени, то есть КНД имеет 4 ступени, ТНД - пять ступеней.

CFM56-5C2: P - 31 200 lbf, C - 6,6.

CFM56-5C3: P - 32 500 lbf, C - 6,5.

CFM56-5C4: P - 34 000 lbf, C - 6,4.

Теперь о двигателях модели CFM56-5B. Если описанные модификации CFM56, -2, -3, -5A и -5C считаются уже моделями отработанными, можно сказать, "базовыми", то следующие две модели имеют категорию "перспективные". Это CFM56-5B (рис. 14) и CFM56-7B (рис. 15).



Рис. 14. Двигатель CFM56-5B

Версия 5B создана на основе 5A, однако заметно превосходит ее. Поступила в эксплуатацию в 1994 г. Первоначально создавалась для установки на самолет A321, однако широкий диапазон тяговых параметров (у 5B целых девять вариантов!) позволяет использовать этот двигатель на всех самолетах семейства A320 и тем самым вытеснить версию 5A.

Этот двигатель получил новый вентилятор в удлинненном корпусе



Рис. 19. Самолет Boeing Business Jet

CFM56-7B27: P - 27 300 lbf, C - 5,1 (Boeing-737-800/900, Boeing Business Jet (рис. 19).

В 2009 г. CFMI анонсировала новую модификацию CFM56-7BE (CFM56-7B Evolution) со сниженной на 4 % стоимостью технического обслуживания и улучшенной топливной экономичностью (около 2 %). В июле 2010 г. этот двигатель был сертифицирован EASA и FAA.

Разработку устройств реверса двигателей CFMI проводит совместно с фирмами-изготовителями самолетов. На двигателях CFM56 используются два типа реверсивных устройств: перенаправление потока при помощи профилированных решеток и дефлекторов и при помощи открывающихся створок.

Кроме того, для самолетов A321 как опция предлагается установка шевронов на выходном устройстве первого контура (что-то вроде треугольных выступов по краю сопла). Проведенные исследования показали, что такого рода устройство позволяет снижать уровень шума при взаимной турбулизации во время смешения потоков, выходящих из двигателя.

Одним из достоинств двигателей CFM56 является их хорошая ремонтно- и контролепригодность. Эти параметры очень важны в эксплуатации, потому что напрямую влияют на безопасность полетов, а также на величину финансовых и трудовых затрат на обслуживание авиатехники.

Расположение CFM56 на самолетах очень удачное. Подвеска на пилоны и открывающиеся (если понадобится - съемные) капоты делают двигатель практически полностью доступным для осмотра и, при необходимости, ремонта (рис. 20).

Возможности ремонта улучшает модульная конструкция двигателя. Двигатель имеет четыре главных узла-модуля (рис. 21):

1. Модуль вентилятора (рис. 22);
2. Модуль турбокомпрессора высокого давления (рис. 23);
3. Модуль турбины низкого давления;
4. Модуль коробки привода агрегатов. Иногда в двигателе CFM56-3 четвертый модуль отдельно не выделяют.

Кроме того, главные модули имеют деление на субмодули. Всего их насчитывается семнадцать. Преимущества модульной конструкции очевидны. Она значительно повышает возможности ремонта, упрощает его и снижает его стоимость.



Рис. 20. Раскрытый двигатель самолета A-319-114

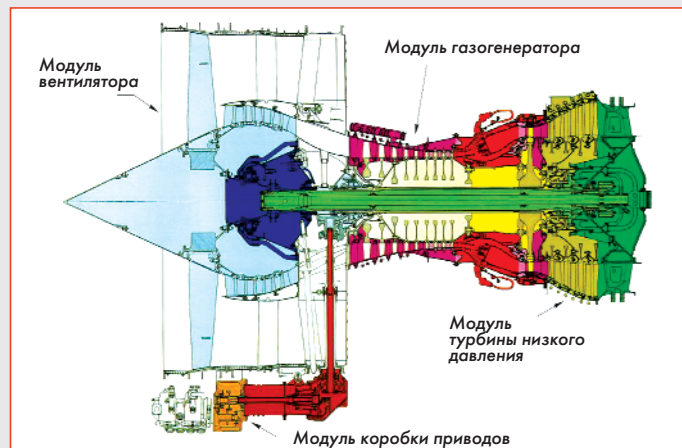


Рис. 21. Модульная конструкция двигателя CFM56-5A

Работы на одном из трех главных модулей могут проводиться при минимальной разборке других узлов. Ремонт двигателя в принципе сводится к замене отдельных модулей (субмодулей), причем часто без съема его с самолета. Обработка этих снятых узлов потом может проводиться (при необходимости), в свободное время и в установленном месте.

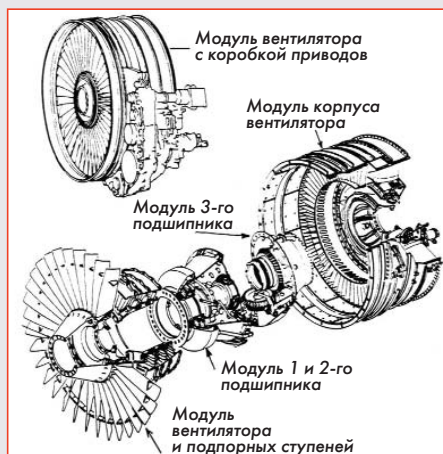


Рис. 22. Модуль вентилятора и КНД CFM56-3

Самолет в это время уже летает, а не "загорает" на стоянке.

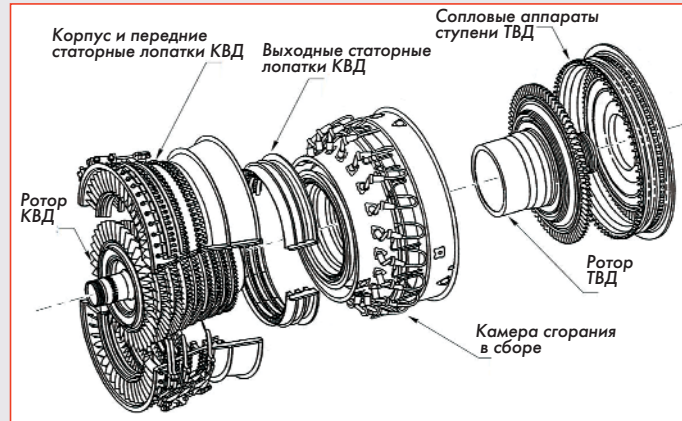


Рис. 23. Модуль турбокомпрессора высокого давления (газогенератора) CFM-56-5A

Транспортироваться двигатель тоже может в разобранном виде (разбирается на три главных модуля, кроме коробки приводов). Причем после сборки не требуются какие-либо дополнительные стендовые испытания, двигатель сразу устанавливается на самолет.

В систему технического наземного обслуживания двигателей CFM56 заложена концепция, носящая название "по техническому состоянию" ("On Condition Maintenance"). То есть двигатель не имеет каких-либо жестких графиков периодических регламентных работ, во время которых он выключается из эксплуатации (или даже снимается с самолета). Работы (съем двигателя) проводятся в случае обнаружения серьезных проблем или по истечении ресурса, полного или же отдельных агрегатов.

В рамках такой концепции существует специальная программа мер для осуществления "контроля за ситуацией". Она включает в себя постоянный анализ параметров работы двигателя и определенные проверочные операции, такие как, например, проверка на-

личия стружки в масле, спектрометрический анализ масла, постоянные замеры вибрации двигателя штатными датчиками и, конечно, бороскопический контроль.

Без визуального осмотра никак не обойтись. Если взять, например, такое неприятное, но достаточно часто встречающееся явление, как попадание посторонних предметов и птиц в двигатель, то тут возможность осуществления контроля газозавоздушного тракта двигателя с последующим ремонтом (если потребуется) становится во главу угла.

Двигатель CFM56 для этого максимально открыт. Можно достаточно легко через выходное устройство осмотреть лопатки последней ступени турбины низкого давления. Кроме того, размер входного устройства позволяет без проблем осматривать вентилятор.

Причем крепление его лопаток выполнено таким образом, что в случае обнаружения повреждений (из-за попадания птиц, например), при которых дальнейшая эксплуатация невозможна, поврежденная лопатка (лопатки) заменяются достаточно легко без съема двигателя с самолета. CFM56 - один из первых двигателей, на которых появилась такая возможность.

Однако в двигателе часто бывает важно осмотреть те узлы, которые скрыты от глаза человека, так называемые внутренние полости. Вот тут на помощь приходит бороскоп (иначе его еще называют эндоскопом).

Что такое бороскоп? Это оптический прибор, позволяющий увидеть состояние различных закрытых объемов изнутри, не разрушая и не разбирая их. Такого рода объемами как раз являются закрытые полости газозавоздушного тракта, в которые невозможно заглянуть обычным способом.

Для двигателя CFM56 (как, впрочем, и для других) такими полостями являются проточные части компрессоров низкого и высокого давления, камеры сгорания и обеих турбин (ТНД и ТВД).

Бороскоп обычно представляет собой трубу очень малого диаметра (жесткую или гибкую), на одном конце которой расположен окуляр, а на другом - объектив, который снабжен подсветкой. Объектив на конце трубы (зонд) может проникать в закрытые полости через функциональные, либо специальные технологические отверстия.

Современные бороскопы уже, конечно, мало соответствуют такому примитивному описанию, хотя принцип работы остался тем же. Интересно, что одним из крупнейших разработчиков и производителей современных бороскопов является все та же фирма GE. Для этого у нее существует специальное подразделение, "GE Measurement & Control Solutions".

Спектр производимой им продукции достаточно широк, от обычных жестких эндоскопов до видеобороскопов с элементами 3D технологий (рис. 24, 25, 26). Гибкие управляемые зонды различных



Рис. 25. Видеобороскоп XLG0+

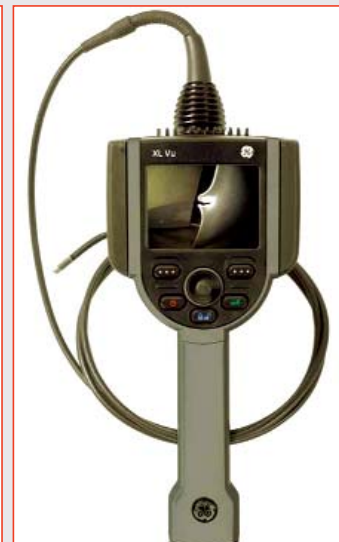


Рис. 26. Видеобороскоп XLVu

диаметров с отличной артикуляцией (изгибные движения зонда в пространстве под управлением специального джойстика) на 360° (All-way) и мощным освещением позволяют отчетливо рассмотреть внутреннее состояние практически любой полости двигателя.

При этом изображение на цветном жидкокристаллическом экране может быть зафиксировано в любом формате, а осматриваемый объект может быть измерен с применением различных режимов (стерео, теневые, сравнительные, 3D). Существуют "навороченные" эндоскопы с функциями компьютера, такие как, например, видеоэндоскоп XLG3 (www.xlg3.ru), а есть приборы попроще, типа XLG0+ (www.xl-go.ru) или XLVu (www.xlvu.ru). Однако в данном случае слово "попроще" отнюдь не означает примитивнее.

CFM56 хорошо приспособлен к такого рода работам, и проведение периодических бороскопических инспекций позволяет поддерживать его надежность на довольно высоком уровне (рис. 27). По всему двигателю расположены специальные бороскопические порты или, попросту говоря, отверстия, прикрытые пробками определенной конструкции.



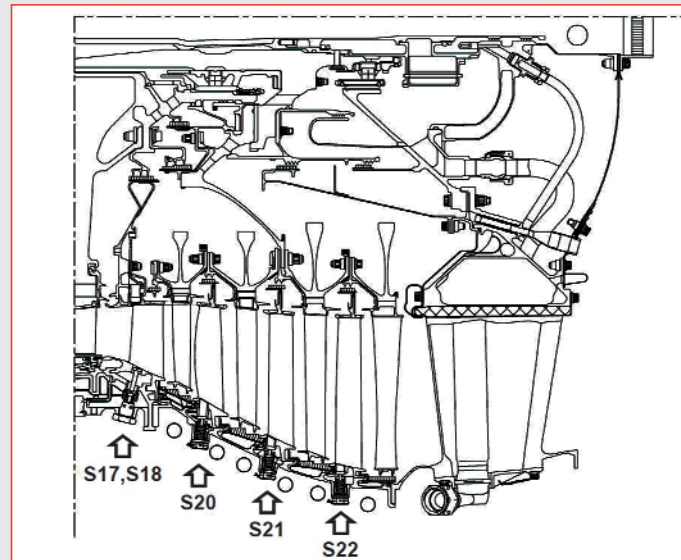
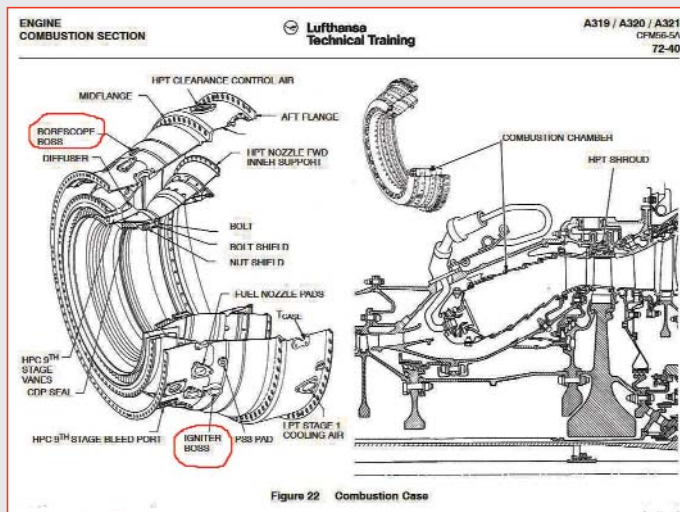
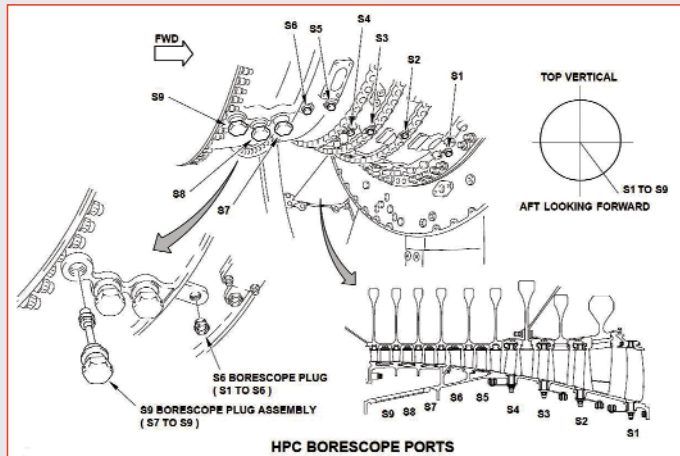
Рис. 27. Осмотр двигателя CFM56 с помощью видеобороскопа XLG3



Рис. 24. Видеобороскоп XLG3

Через эти отверстия зонд бороскопа легко проникает во внутренние полости двигателя и на экране можно видеть состояние поверхностей. Для осмотра компрессора низкого давления имеется один порт (на внешнем корпусе за вентилятором), для компрессора высокого давления - девять портов на корпусе статора (по числу ступеней, на схеме S1-S9), на корпусе камеры сгорания выполнены четыре порта по окружности корпуса, через которые можно осмотреть саму кольцевую жаровую трубу (рис. 28, 29).

Кроме того, через пусковые воспламенители камеры сгорания (места установки свечей зажигания, их два) можно выполнить осмотр соплового аппарата и передней кромки лопаток турбины высокого давления.



Ротор двигателя (турбокомпрессора высокого давления) при этом приводится в необходимое для осмотра вращение через коробку приводов агрегатов при помощи специального приспособления. В итоге получается достаточно эффективная и несложная в плане осуществления проверка, которая не занимает много времени и не требует исключения самолета из полетного графика.