

АНАЛИЗ ОПЫТА ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗАРУБЕЖНЫХ ГТД ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ СОСТОЯНИЮ

А.В. Шереметьев, канд. техн. наук,

ЗМКБ “Прогресс” им. А.Г. Ивченко, г. Запорожье, Украина

В шестидесятых годах прошлого столетия получил признание у многих фирм, авиакомпаний и нашёл применение метод технического обслуживания и ремонта самолётов и ГТД “по состоянию”. Экономия при использовании этого метода достигалась тем, что капитальному ремонту подлежали только те узлы и детали двигателя и планера, которые ограничивали срок службы. Этот метод был принят Авиационным Регистрационным комитетом Англии в 1963 г., в 1965 г. ему последовало и Федеральное авиационное агентство США [1]. Практически повсеместно в настоящее время эксплуатация авиационных ГТД ведётся по техническому состоянию. В год 40-летия этого вида эксплуатации представляет интерес накопленный опыт ведущих авиакомпаний мира в этой области.

В настоящей статье анализируется опыт эксплуатации по техническому состоянию (ЭТС) двигателей большой степени двухконтурности JT9D, PW4000 и CF6-50.

Преимущества эксплуатации по техническому состоянию авиационных ГТД изложены в [2, 3].

ЭТС авиационных ГТД прежде всего подчиняется принципу экономической целесообразности и экономической выгоды.

Для авиационных ГТД составляются и уточняются по результатам эксплуатации схемы ремонтов двигателей и объёмы выполняемых при этом работ. Эти схемы и объёмы работ могут отличаться для одного и того же двигателя в разных авиакомпаниях для различных условий эксплуатации (например, для различных полётных циклов).

Выполняемые объёмы работ при посещении цеха двигателей можно представить в виде схемы (рис. 1).

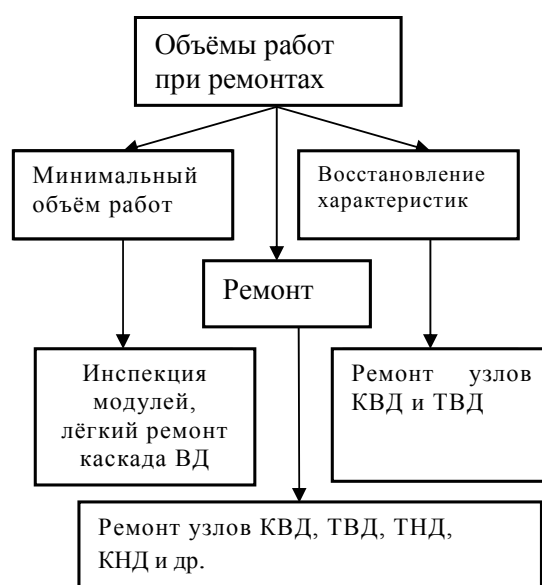


Рис. 1. Объёмы работ при посещении цеха

Объёмы работ в авиакомпаниях при ремонтах определяются таким образом, чтобы обеспечить планируемый срок службы на крыле. Вообще говоря, различные авиакомпании следуют различным подходам при выборе объёма работ при ремонте. Например, авиакомпания Финаэро добивается баланса между временем эксплуатации на крыле и объёмом работ для достижения наименьших затрат на лётный час.

Авиакомпания Люфтганза для двигателя CF6-50 в первом приближении следует схеме чередования “среднего” и “тяжёлого” визитов в цех.

Для двигателя PW4000 оптимальное время эксплуатации на крыле составляет 3500 - 4500 полётных циклов. Это связано с возможностью ремонта лопаток ТВД. Более длительное время пребывания двигателя на крыле приводит к высокой степени утилизации лопаток.

В [4, 5, 6] приведена наработка различных модификаций рассматриваемых двигателей без съёма с крыла составляет для различных летательных аппаратов (табл. 1).

Таблица 1

Время эксплуатации двигателей на крыле без съёма

	Двигатель	Наработка без съёма, цикл
1	JT9D	1250...1600
2	PW4000	1700...3500
3	CF6-50	1250...2500
4	CF6-80	1500...5000

Затраты при ремонте двигателей состоят из трудозатрат на разборку (сборку), расходов на материалы и детали, расходов на ремонты по субконтрактам и расходов на детали, ограничивающих ресурс.

Величины первых трёх статей затрат даны в табл. 2.

Таблица 2

Затраты на ремонт двигателей (доллары США)

	Двигатель	Материалы	Субконтракты	Трудозатраты
1	CF6-50	800000	800000	450000
2	PW4000	850000	700000	350000
3	JT9D	800000	700000	385000

Затраты при ремонтах на замену деталей, ограничивающих ресурс, считаются отдельно и учитываются в общих затратах отдельной статьёй. Таким образом, стоимость ремонта может составлять 1700...2050 тысяч долларов США.

Двигатели CF6-50 и CF6-80C2 следуют такой же схеме объёма работ при ремонтах, как и двигатель PW4000. Выполняемые объёмы работ, проводимые на каждой ремонтной базе (цехе) следуют рекомендациям путевоителя планируемых работ (WPG) фирмы GE. Путевоитель планируемых работ определяет объём работ для каждого модуля двигателей семейства CF6. Путевоитель содержит пороговое значение периода эксплуатации на крыле для нового двигателя, последнего съёма для лёгкого ремонта, восстановления характеристик и замены каждого модуля. Входящая информация, например, данные текущего наблюдения, директивы лётной годности, ресурс деталей,

ограничивающих ресурс, совместно с путевоителем планируемых работ определяет конечный объём работ.

Все семейства эксплуатируемых двигателей имеют несколько причин съёма для посещения цеха. Помимо плановых причин съёма (исчерпание запаса по температуре выхлопных газов, восстановление запасов устойчивости КВД, исчерпание сроков службы деталей, ограничивающих ресурс, и др.) значительную долю занимают внеплановые. Так, например, для двигателей семейства PW4000 внеплановые причины съёма составляют 35...45% от всех съёмов. Для двигателей CF6-50 причиной 25% съёмов является исчерпание запаса по температуре выхлопных газов, другие 25% съёмов обусловлены необходимостью замены основных деталей, исчерпавших ресурс, а остальные 50% съёмов составляют внеплановые съёмы. Следует отметить, что, по мнению некоторых авиакомпаний, увеличенный объём работ при ремонтах (при визитах в цех) уменьшает вероятность внеплановых съёмов.

Как свидетельствует опыт эксплуатации зарубежных двигателей большой степени двухконтурности, одним из главных факторов, влияющих на время наработки двигателя на крыле, является уменьшение запаса по температуре выхлопных газов. Скорость снижения запаса по температуре газов для двигателей CF6-50 и PW4000 показана на графике (рис. 2).

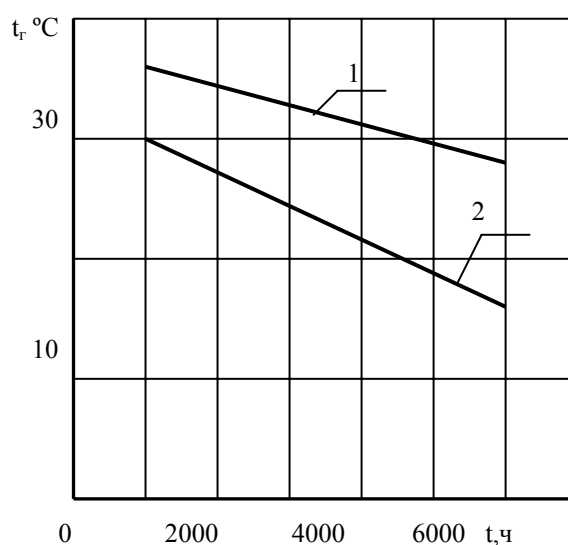


Рис. 2. Скорость снижения запаса по температуре выхлопных газов для двигателей PW4000 (1) и CF6-50 (2)

В идеальном случае исчерпание запаса по температуре газа совпадает с одной из других причин съёма. Например, с исчерпанием ресурса деталей, ограничивающих ресурс. На практике это случается редко.

У двигателя PW4000 есть два основных профиля: серия 1 и серия 3. Хотя основной причиной введения профиля серии 3 являлось улучшение расхода топлива, запасы по температуре выхлопных газов, запасы по устойчивости работы КВД у двух серий двигателя PW4000 также разнятся (табл. 3).

Указанные в табл. 3 величины запасов по температуре выхлопных газов $t_{\text{вх}}$ °C могут отличаться в зависимости от поэкземплярного отличия двигателей, условий эксплуатации (жаркие или холодные) и от объёма работ, проведенного при ремонте (визите в цех). Уменьшение запаса по температуре газов (рис. 2) зависит от уровня тяги, интенсивности эксплуатации и среднего времени полётного цикла.

Таблица 3

Запасы по температуре
выхлопных газов
двигателей семейства PW4000

	Двигатель	Серия	Тяга, фунт	Запас по $t_{\text{вх}}$ °C
1	PW4060	1	60000	26
2	PW4052	3	52000	47
3	PW4060	3	60000	40
4	PW4062	3	62000	29

Опыт эксплуатации показывает, что наиболее значительное уменьшение запаса по температуре выхлопных газов происходит в течение первых 1000...2000 часов работы двигателя на крыле.

Так, для двигателя CF6-80C2A3/5, эксплуатируемого в классе тяги 59000 фунтов на самолётах А300, ухудшение запасов по температуре газов составит 12°C в течение первых 2000 лётных часов и около 3°C на каждые последующие 1000 часов.

Следует отметить, что установка FADEC на модификации двигателя CF6-80C2A3/5 позволила получить дополнительные 5°C к запасу по температуре выхлопных газов.

Снижению темпов уменьшения запасов по температуре выхлопных газов, как свидетельствует опыт эксплуатации двигателей семейства PW4000, способствует введение в конструкцию двигателя щёточных уплотнений взамен лабиринтных. Щёточные уплотнения лучше сохраняют характеристики.

ЭТС предполагает наработку двигателя в пределах установленного циклического ресурса основных деталей (деталей, ограничивающих ресурс).

Рассматриваемые в настоящей статье двигатели эксплуатируются, главным образом, длинными полётными циклами с интервалами между визитами в цех 1500...3000 полётных циклов (табл. 1) и со сроками службы деталей, ограничивающих ресурс приблизительно в 10000 - 30000 циклов.

Большая часть двигателей JT9D, PW4000, CF6-50 и CF6-80 эксплуатируется на линиях со средним или дальним плечом полёта при среднем времени полётного цикла 5,0 часа и более.

Интервалы между ремонтами (визитами в цех) могут быть смещены на уровне 2500...3000 лётных часов. Для того чтобы избежать вынужденного съёма двигателя с крыла из-за окончания ресурса основных деталей, большинство авиакомпаний, эксплуатирующих авиационные ГТД, придерживаются политики “остатка ресурса” (минимального срока службы деталей).

Суть дела заключается в том, что большинство деталей, ограничивающих ресурс, вырабатывают свой срок службы в интервале 1500...3000 полётных циклов от своего предельного срока службы. Например, передний вал ротора ТВД двигателя CF6-50 имеет предел 11500 полётных циклов, но, вероятно, будет утилизирован после 9500...10000 полётных циклов.

Стоимость деталей, ограничивающих ресурс (основных деталей), величины остатков ресурсов для рассматриваемых двигателей приведены в табл. 4.

Таблица 4

Стоимости и неиспользуемые остатки ресурсов основных деталей зарубежных двигателей

	Двигатель	Стоимость основных деталей, млн дол.	Неиспользуемые остатки ресурса, цикл
1	JT9D	2,1	2000
2	PW4000	2,44	2000...3300
3	CF6-50	2,1	1400...2500
4	CF6-80C2	2,7	2000...2500

Стремясь использовать остатки ресурсов деталей, ограничивающих ресурс, некоторые авиакомпании переставляют эти детали с двигателей, эксплуатируемых короткими циклами, на двигатели, эксплуатируемые длинными циклами. Также существует рынок деталей с остатками ресурса и двигателей, списанных с самолётов.

Приведенные данные позволяют сделать следующие выводы из анализа опыта ЭТС зарубежных двигателей.

1. Для обеспечения минимальных затрат на один лётный час сроки службы деталей, ограничивающих ресурс, должны составлять более 15000...20000 циклов.

2. Для каждого применения двигателя на самолётах с различными условиями эксплуатации (продолжительность полёта, класс тяги, температура воздуха) существуют экономически оптимальные величины ресурса основных деталей.

3. Более высокая величина запаса по температуре выхлопных газов и более низкие темпы истощения этого запаса обеспечивают более низкую стоимость одного лётного часа двигателя.

4. Целесообразно периоды эксплуатации двигателя на крыле соразмерять с возможностью восстановления деталей при ремонте.

5. Существует оптимальный период эксплуатации двигателя на крыле.

Литература

1. Техническое обслуживание, ремонт, доводка и увеличение ресурса ГТД за рубежом.- Кн. 1.- М.: ГосНИИ ГА, 1969.- 118 с.

2. Акимов В.М. Основы надёжности газотурбинных двигателей.- М.: Машиностроение, 1981.- 208 с.

3. Шереметьев А.В. Выбор метода установления ресурсов и формы эксплуатации авиационных ГТД // Авиационно-космическая техника и технология: Сб. науч. тр.- Харьков: ХАИ, 2002.- Вып. 30. Двигатели и энергоустановки.- С. 66-70.

4. Aircraft Commerce // The Journal For Commercial Aircraft Business. Issue.- 2000.- № 10. (March – April).- P. 27-32.

5. Aircraft Commerce // The Journal For Commercial Aircraft Business. Issue.- 2000.- № 14. (November - December).- P. 18-24.

6. Aircraft Commerce // The Journal For Commercial Aircraft Business. Issue.-2002.- № 23. (June - July).- P. 24-30.

Поступила в редакцию 03.06.03

Рецензенты: Главный конструктор В.Н. Денисюк, ЗМКБ «Прогресс» им. академика А.Г. Ивченко, г. Запорожье; д-р техн наук, профессор Д.Ф. Симбирский, Национальный аэрокосмический университет «ХАИ», г. Харьков.