

УДК 629.7.036:539.4

А.В. ШЕРЕМЕТЬЕВ*ГП ЗМКБ «ПРОГРЕСС» им. академика А.Г. Ивченко, Запорожье, Украина***ГЕНЕРАЛЬНЫЙ КОНСТРУКТОР Ф.М. МУРАВЧЕНКО – СОЗДАТЕЛЬ ДВИГАТЕЛЕЙ ВЫСОКОЙ НАДЁЖНОСТИ И БОЛЬШОГО РЕСУРСА**

В статье анализируются принципы и научные подходы, которые сформулировал и которых придерживался создатель авиационных газотурбинных двигателей (ГТД) генеральный конструктор Ф.М. Муравченко. Показано, что проектирование новых двигателей на базе надёжно работающих серийных образцов обеспечивает не только надёжность и ресурс авиационных ГТД, но и существенно сокращает сроки и уменьшает затраты на их создание. При этом установление ресурсов основных деталей вновь создаваемых авиационных ГТД может базироваться на опыте эквивалентно-циклических испытаний, доводки и эксплуатации прототипов. Эксплуатация вновь создаваемых авиационных двигателей осуществляется по техническому состоянию в рамках второй и третьей стратегий управления ресурсом, которые введены в руководящие документы по инициативе Ф.М. Муравченко.

Ключевые слова: газотурбинный двигатель, прототип, ресурс, эксплуатация, техническое состояние, основные детали.

Введение

Имя Фёдора Михайловича Муравченко – генерального конструктора ГП Запорожского машиностроительного конструкторского бюро «Прогресс» имени академика А.Г. Ивченко, члена-корреспондента НАН Украины неразрывно связано с авиацией, с созданием надёжных высоко-ресурсных авиационных ГТД. Фёдор Михайлович стоял во главе конструкторского бюро с 1988 по 2010 годы. Это были тяжёлые годы для Украины и для ГП «Ивченко-Прогресс».

Несмотря на это, под непосредственным руководством Ф.М. Муравченко были созданы и прошли сертификацию, государственные испытания такие двигатели, как ТВЗ-117ВМА-СБМ1 (самолёт Ан-140), Д-18Т 3 серии (Ан-124-100), Д-436(Т1,ТП), (Ту-334 и Бе-200), АИ9-3Б, Д436-148 (Ан-148), Д-36 серии 4А (Ан-74 ТК-300), АИ-222-25 (Як-130) и др. Созданы и прошли сертификацию целые семейства двигателей наземного применения [1].

Представляют интерес те принципы, которыми руководствовался Фёдор Михайлович, т.е. научные подходы, которые использовались при создании надёжных конкурентоспособных двигателей разработки ГП «Ивченко Прогресс».

1. Концепции создания и доводки семейства ТРДД с большой степенью двухконтурности

Базовым двигателем семейства ТРДД с высокой степенью двухконтурности являлся двигатель

Д-36. Ф.М. Муравченко, будучи заместителем главного конструктора по этому двигателю, сформулировал концепции и разрабатывал научно-технические решения, определял пути, методы и средства достижения поставленных целей. Среди главных концепций и конструктивных решений, реализованных в семействе ТРДД с высокой степенью двухконтурности следует отметить следующие [2]:

1. Впервые предложена и реализована трёхвальная шестиопорная схема трансмиссии ТРДД.

2. Разработана и впервые в отечественном двигателестроении реализована концепция модульной конструкции двигателя.

3. Предложена концепция проектирования высокотемпературных камер сгорания с улучшенными энергетическими и экологическими характеристиками на основе использования двухконтурного завихрителя и аэрофорсунок.

4. Впервые предложена и на примере двигателя Д-36 экспериментально обоснована концепция снятия высотно-скоростных и тягово-расходных характеристик современных ТРДД большой степени двухконтурности на летающей лаборатории, не требующая использования дорогостоящих термобарокамер.

5. Сформулирована и реализована концепция создания высоконадёжных опор роторов турбин для повышенных температурных режимов работы и высоких относительных скоростей скольжения.

Реализация каждой из перечисленных концепций вместе привели к созданию надёжной, экономичной, работоспособной конструкции семейства ТРДД.

2. Совершенствование методологии установления и увеличения ресурсов

Будучи главным конструктором по двигателям Д-36 и Д-136, Фёдор Михайлович возглавлял работы по повышению надёжности и увеличению ресурсов этих двигателей. На основании большого объёма проведенных эквивалентно-циклических испытаний (ЭЦИ), специальных испытаний Фёдор Михайлович пришёл к выводу о непригодности сложившейся в 80-е годы прошлого века практики работ по установлению и увеличению ресурсов авиационных ГТД.

Сравнение данных по испытаниям отечественных и зарубежных двигателей показывало, что в зарубежных фирмах наработки двигателей на стендах составляла 50...80%, а то и менее от величины устанавливаемых ресурсов. По действующей у нас методологии на каждый час приращения ресурса требовалась наработка на стендах 4...6 часов. В действительности стендовая наработка была значительно выше.

Фёдор Михайлович справедливо считал, что действующее на то время «Положение об установлении и увеличении ресурсов...» нуждается в принципиальной переработке по целому ряду позиций:

1. Поскольку опыт ресурсных испытаний показал, что конструктивные недостатки двигателя в первую очередь проявляются при проведении испытаний по программе ЭЦИ деталей, а не ЭЦИ двигателя, то для сокращения времени проведения обязательного комплекса испытаний ЭЦИ двигателя надо исключить, либо в значительной степени сократить. Конечно всё это при условии, что ЭЦИ деталей проводится на полноразмерном двигателе.

2. Ресурсные испытания при внедрении улучшающих мероприятий необходимо осуществлять с учётом выполненного объёма проверок прототипов и новых методов расчёта.

3. Существующее понятие межремонтного ресурса сдерживает эксплуатацию двигателей, так как даже двигатели, находящиеся в хорошем состоянии принудительно отправляются в ремонт. Двигатели должны после выработки фиксированного ресурса продолжить эксплуатацию по техническому состоянию в пределах действующего назначенного ресурса.

4. Ресурс устанавливать по основным деталям и определять вне зависимости от того, разбирался двигатель в процессе испытаний или не разбирался, проходили циклические испытания детали на одном или нескольких двигателях.

Сегодня мы можем с полным правом утверждать, что появление в отечественных нормативных документах разделов об эксплуатации авиационных ГТД по техническому состоянию, введение второй и третьей стратегий управления ресурсами было ини-

цировано Ф.М. Муравченко, поддержано специалистами трёх основных ОКБ России: Самарским, Пермским и Санкт-Петербургским, нашло понимание среди ведущих сотрудников авиационных институтов отрасли.

Практическое применение идеи Фёдора Михайловича сразу же нашли при увеличении ресурсов двигателю Д-18Т 3 серии. При установлении ресурсов деталям двигателя Д-18Т 3 серии были использованы результаты испытаний, доводки и эксплуатации двигателя Д-36.

На предприятии был создан и использован на практике метод установления циклических ресурсов авиационных ГТД, основанный на использовании опыта доводки, испытаний и эксплуатации прототипа (ретроспективный метод).

Метод обладает высокой достоверностью, позволяет учитывать двухчастотное нагружение, влияние конструктивных, технологических и эксплуатационных факторов на МЦУ детали [3].

В основу ретроспективного метода положено сравнение конструктивного и физического подобия соответствующих основных деталей вновь разрабатываемого двигателя и двигателя-прототипа.

Для доказательства того, что основные детали двигателя-прототипа являются физическими моделями деталей нового двигателя необязательно наличие математического описания физической функционально-геометрической модели [4]. Перечень величин, фигурирующих в уравнениях оригинала и модели, анализ размерностей этих величин и π -теорема позволяют найти критерии подобия, а по ним получить масштабные уравнения

Для термонапряжённого состояния основных деталей авиационных ГТД можно показать [3], что подобие соответствующих деталей двух сравниваемых двигателей определяется шестью критериями подобия.

В число критериев сначала включаем все безразмерные определяющие параметры:

$$K_1 = \varepsilon = \text{idem}; \quad K_2 = \mu = \text{idem}. \quad (1)$$

Следующие критерии подобия – это критерии, образованные с помощью отношений параметров одинаковой размерности (критерии-симплексы):

$$K_3 = \frac{\sigma}{E} = \text{idem}; \quad K_4 = \frac{u}{l} = \text{idem}. \quad (2)$$

$$K_5 = \frac{t\alpha}{l} = \text{idem} \quad (3)$$

Наконец, последний критерий – это критерий-комплекс:

$$K_6 = \frac{P}{El^2} = \text{idem}. \quad (4)$$

Значения критериев подобия для оригинала и модели очень близки друг к другу, но, все же, детали двигателя-прототипа не являются точными физическими моделями основных деталей нового двигателя.

Полученное отступление от полного подобия может быть отнесено к случаям частичного подобия, при которых соблюдаются основные условия моделирования, определяющие процесс или явление в целом.

Однако, поскольку каждый конкретный случай частичного подобия характерен присущим только ему масштабным эффектом, то требуется "... специальный анализ условий моделирования с последующей экспериментальной проверкой" [5].

Всё это позволило использовать результаты ЭЦИ двигателя Д-36 для установления ресурсов двигателю Д-18Т.

В результате удалось добиться существенной экономии материальных средств и значительного сокращения сроков установления ресурсов (рис. 1) при одновременном повышении достоверности величин установленных ресурсов. Эти же идеи Фёдора Михайловича нашли своё применение при создании двигателей ТВ3-117ВМА-СБМ1, Д-436(Т1,ТП), Д-436-148 и др.

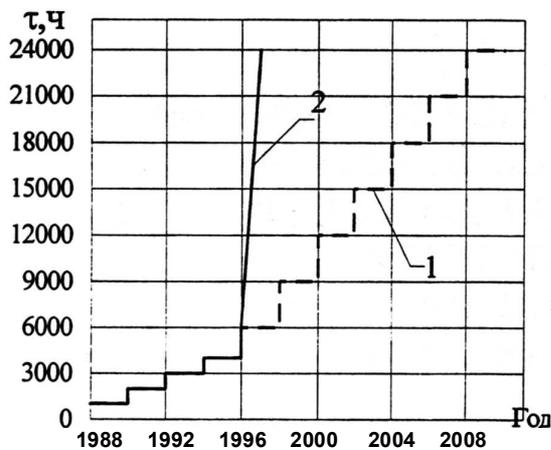


Рис. 1. Динамика увеличения ресурса двигателю Д-18Т 3 серии (1 – планировавшийся на основании метода ЭЦИ, 2 – установленный ретроспективным методом)

За прошедшие 12 лет со времени установления ресурсов двигателю Д-18Т 3 серии наработка отдельных экземпляров этих двигателей перевалила за 18000 часов, суммарная наработка парка двигателей уже давно превышает 1000000 часов.

Прибыль авиакомпаний России и Украины от успешной эксплуатации двигателей Д-18Т 3 серии в составе самолётов Ан-124-100 составляет миллиарды долларов США, что служит наглядным подтверждением правильности идей Федора Михайловича Муравченко.

3. Основные принципы разработки новых двигателей

Один из основных принципов, который исповедовал Фёдор Михайлович при разработке новых двигателей можно выразить следующим образом: везде, где можно (без ущерба для основных характеристик двигателя) применять проверенные, имеющие большой опыт эксплуатации конструкторские решения.

Так, например, при форсировании двигателя ТВ3-117ВМА-СБМ1 для обеспечения работоспособности турбины при более высоких температурах были использованы проверенные схемы системы охлаждения деталей, применены хорошо известные, проверенные серийной эксплуатацией жаропрочные сплавы.

Рабочую лопатку вентилятора двигателей Д-436(Т1,ТП) моделировали с рабочей лопатки вентилятора двигателя Д-18Т и т.п.

При создании двигателей Д-436 (Т1,ТП), Д-436-148, АИ9-3Б, АИ-222-25 были максимально сохранены конструкции, отработанные на двигателях-прототипах.

Это позволило в сжатые сроки и без существенных материальных затрат довести и сертифицировать новые двигатели.

Второй принцип, которым руководствовался Фёдор Михайлович, формулируется так: устранять дефекты следует, по-возможности, без существенной переделки конструкции.

Радикальная переделка конструкции помимо больших материальных затрат приводит к появлению новых дефектов. По опыту Ф.М. Муравченко с введением четырёх новых деталей в конструкцию двигателя, вносится, по крайней мере, один новый дефект.

При устранении дефекта, связанного с поломкой вала ТНД на двигателе Д-136 в середине 80-х годов прошлого века применялся именно этот принцип, позволивший путём утолщения одного из участков вала, сохранить все соседние детали и обеспечивший быстрый и успешный ремонт всего парка двигателей.

Третий принцип требует применять только всесторонне взвешенные, неторопливо продуманные решения, от которых уже нельзя отступать, которые нельзя менять.

Всем на предприятии этот принцип был хорошо известен: если Фёдор Михайлович что-то решил, то уже бесполезно разубеждать его, принятые решения не меняются.

Этот принцип давал очень сильный мобилизационный, конструктивный импульс. С момента принятия решения все специалисты были озабочены

только одним: наилучшим образом выполнить принятое решение.

Заключение

Фёдор Михайлович Муравченко внёс большой вклад в методологию создания, доводки и сертификацию авиационных ГТД.

Выработанные на протяжении его жизненного пути концепции и принципы создания авиационных двигателей заслуживают внимательного изучения и творческого применения. Неполные 22 года пребывания Фёдора Михайловича на посту генерального конструктора были удивительно плодотворными.

Это объясняется, во-первых, хорошим заделом авиадвигательных конструкций, созданных его предшественником – генеральным конструктором Лотаревым В.А. и самим Муравченко Ф.М. на должностях заместителя главного конструктора и главного конструктора, а во-вторых, умелым применением перечисленных концепций и принципов создания авиационных ГТД.

Литература

1. Муравченко Ф.М. Актуальные проблемы динамики, прочности и надёжности авиадвигателей / Ф.М. Муравченко // Проблемы прочности. – 2008. – № 5. – С. 7-14.
2. Муравченко Ф.М. Концепции создания и доводки семейства высокоэффективных ТРДД с большой степенью двухконтурности: дис. ... доктора техн. наук: 05.07.05 / Муравченко Фёдор Михайлович. - Х., 1991. – 56 с.
3. Муравченко Ф.М. Использование конструктивного и физического подобия для установления ресурсов двигателя / Ф.М. Муравченко, Д.Ф. Симбирский, А.В. Шереметьев // Авиационно-космическая техника и технология. – Х.: Гос. аэрокосмич. ун-т, 2001. – Вып. 23. – С. 113-115.
4. Лебедев А.Н. Моделирование в научно-технических исследованиях / А.Н. Лебедев. – М.: Радио и связь, 1989. – 224 с.
5. Шаповалов С.А. Подобие и моделирование в задачах прочности, устойчивости и разрушения элементов машин и конструкций / С.А. Шаповалов. – М.: Машиностроение, 1969. – 96 с.

Поступила в редакцию 31.05.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой С.В. Епифанов, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

ГЕНЕРАЛЬНИЙ КОНСТРУКТОР Ф.М. МУРАВЧЕНКО – ТВОРЕЦЬ ДВИГУНІВ ВИСОКОЇ НАДІЙНОСТІ ТА ВЕЛИКОГО РЕСУРСУ

О.В. Шереметьев

У статті аналізуються принципи та наукові підходи, які сформулював та яких дотримувався творець авіаційних газотурбінних двигунів (ГТД), генеральний конструктор Ф.М. Муравченко. Наведено, що проектування нових двигунів на базі надійно працюючих серійних зразків забезпечує не тільки надійність та ресурс авіаційних ГТД, але й суттєво скорочує терміни та зменшує витрати на їх створення. При цьому встановлення ресурсів головних деталей знов створюваних авіаційних ГТД може базуватися на досвіді еквівалентно-циклічних випробувань, доводки та експлуатації прототипів. Експлуатація знов створених авіаційних двигунів здійснюється за технічним станом в рамках другої та третьої стратегії керування ресурсом, які введені в керуючі документи за ініціативою Ф.М. Муравченко.

Ключові слова: газотурбінний двигун, прототип, ресурс, експлуатація, технічний стан, головні деталі.

GENERAL DESIGNER F.M. MURAVCHENKO – CREATOR OF THE ENGINES WITH HIGH RELIABILITY AND LARGE SERVICE LIFE

A.V. Sheremetyev

In article there were analysed principles and scientific methods of approach, which were formulated and which followed the rule F. M. Muravchenko, creator of the aviation gasturbine engines (GTE). There was shown, that the new engine projecting on the base of the reliably working serial production samples provides not only reliability and service life of the aviation GTE, but essential shortening of terms and diminishing of expenditures on there creating. Hereby the service life establishing of the new creating aviation GTE main parts can be based on the experience of the equivalent-cyclic tests, working out and exploitation of the prototypes. Exploitation of the new creating engines is carried out on condition in the frame of the second and third service life management strategy, which were introduced in guiding documents by F. M. Muravchenko initiative.

Key words: gasturbine engine, prototype, service life, exploitation, on condition, main parts.

Шереметьев Александр Викторович – канд. техн. наук, начальник отдела, Запорожское машиностроительное конструкторское бюро “Прогресс” им. академика А.Г. Ивченко, Запорожье, Украина, e-mail: 03530@ivchenko-progress.com.