

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ТРДДФ КОМПАНИИ GENERAL ELECTRIC

Зрелов В.А.

Самарский университет, г. Самара, zrelov07@mal.ru

Ключевые слова: турбовентиляторные двигатели с форсажной камерой, General Electric, конструктивные схемы, параметры, опоры, материалы, технологии.

Проанализирована деятельность компании General Electric по разработке турбовентиляторных двигателей с форсажной камерой. Выявлено развитие основных параметров, элементов конструкции, технологии и материалов ТРДДФ.

В первых ТРДДФ компании General Electric (GE) (MF295, F101), разрабатываемых в 1960-е гг., стали применяться жаропрочные никелевые и титановые сплавы, охлаждаемые лопатки, кольцевые камеры сгорания, поворотные сопла, форсажные камеры [1].

В 1970-е гг. на основе использования новых технологий, материалов и конструкций (модульная конструкция, направленная кристаллизация, порошковая металлургия, методы неразрушающего контроля, низкотемпературные композиты) были созданы модификации F101, F101DFE, F404-GE-400, F404J и другие [1 - 3]. В это время GE начинает исследовать возможность создания двигателя изменяемого рабочего цикла (семейство GE21) [4].

Следующее десятилетие (1980-е гг.) характеризуется освоением технологии монокристаллов, теплозащитных покрытий, автоматической вакуумной сварки. Разрабатываются CAD/CAM – системы и цифрового электронного управления двигателем. Создаются малоэмиссионные камеры сгорания, малозаметные входные и выходные устройства.

В этот период появляются модификации F404-GE-F1D2, F101-GE-100, F404-GE-100, F110-GE-100, F404-GE-400D, F110-GE-400, F110-GE-129, F404-GE-100D [1 - 3, 5].

В конструкции ТРДДФ 1990-х гг. GE применяет интерметаллиды, керамику для малонагруженных элементов, усовершенствованные покрытия, «блиски» (рабочие колёса или интегральные роторы), двузонные камеры сгорания, двухмерные отклоняемые сопла, дополнительные датчики системы диагностики, роторы противовращения, методы быстрого прототипирования. Созданы двигатели изменяемого цикла и модификации: F404-GE-IN20, F404-GE-102, F120, F414, F414-GE-400 [6, 7].

Разработки GE 2000-х гг. характеризуются применением лёгких высокотемпературных композитных материалов с керамической матрицей, лазерной обработки, многоточечных топливных форсунок, встроенных стартёр-генераторов, созданием методов повышения усталостной прочности при циклическом нагружении, испытания двигателей, интегрированных с имитаторами самолётов, полного моделирования динамики двигателя. Применяются электронные системы диагностики, используется металлическое прототипирование. К основным разработкам GE этого периода относятся: F110-GE-132, F404-GE-402, F110-GE-129EFE, F136, F414 EDE [6 - 8].

Современные проекты характеризуются дальнейшим ростом теплонапряжённости, уменьшением количества деталей, широким применением цифровых технологий, новых материалов. Проектирование и испытания предполагается осуществлять только с использованием виртуальных моделей. Значительно сокращены эксплуатационные расходы. Проектируются адаптивные двигатели (XA100), ТРДД для перспективных сверхзвуковых пассажирских самолётов (Affinity) [9]. Осуществляются исследования теплообменников для охлаждения охлаждающего воздуха, регулируемых сопловых аппаратов первой ступени турбины высокого давления, полых турбинных дисков, турбин низкого давления с противовращением без соплового аппарата на входе, магнитной подвески роторов, аэродинамического управления плоским соплом.

Конструктивно-силовые системы этих двигателей включают три силовых корпуса опор: передняя опора вентилятора с одним подшипником (А), средняя опора с задним

подшипником вентилятора и передним подшипником компрессора (Б) и задняя опора с двумя подшипниками - турбины высокого (межвальный) и низкого давления (В). Силовой связью турбокомпрессоров является наружный корпус камеры сгорания (рис. 1).



Рисунок 1 – Конструктивно-силовая схема ТРДДФ GE

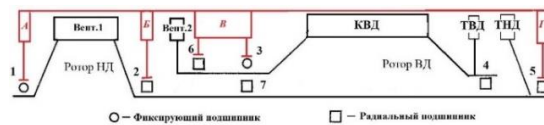


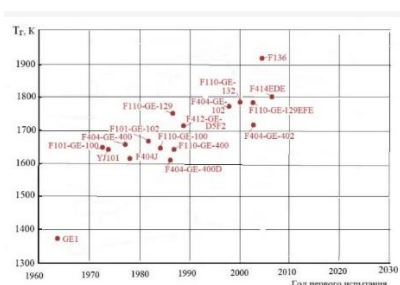
Рисунок 2 – Конструктивно-силовая схема адаптивного ГТД GE

Расположение опор в конструктивно-силовых системах турбокомпрессоров ТРДДФ General Electric различалось лишь в конструкции роторов низкого давления. Роторы газогенераторов – двухпорные с расположением фиксирующего подшипника перед компрессором и радиального межвального подшипника за турбиной. Количество ступеней компрессора – 9 (F101, F110), 7 (F404) или 6 (F120). Турбина высокого давления – одноступенчатая. Роторы турбовентиляторов – трёхпорные с расположением фиксирующего подшипника в разделительном корпусе. Количество ступеней вентилятора – три (F101DFE, F404, F110) или две (F101, F120).

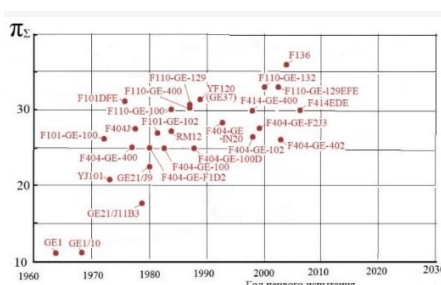
Конструктивно-силовые системы адаптивных двигателей включают четыре силовых корпуса опор: передняя опора вентилятора №1 с одним подшипником (А), передняя опора вентилятора №2 с одним подшипником (Б), передняя опора компрессора с межвальным задним подшипником вентилятора №1 (В) и задняя опора с двумя подшипниками – турбины высокого (межвальная) и низкого давления (Г) (рис. 2).

Анализ развития ТРДДФ GE свидетельствует, что для компании определяющим фактором являлось создание двигателей, обеспечивающих самолёту-истребителю высокую манёвренность, скороподъёмность и завоевание превосходства в воздухе.

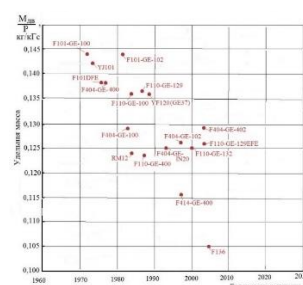
Поставленные цели достигаются реализацией жёстких требований по удельной массе двигателей, большой тяги в широком диапазоне высоты и скорости полёта, надёжности, экономичности, эксплуатационной технологичности и низкой стоимости жизненного цикла.



а)



б)



в)

Рисунок 3 – Изменение удельной массы а), температуры газа перед турбиной б), степени повышения давления в) двигателей GE по годам их создания

Благодаря повышению температуры газов перед турбиной (рис. 3,а), созданию высоконапорных компрессоров (рис. 3,б), совершенствованию систем охлаждения, применению новых материалов и технологий, удалось уменьшить количество деталей, снизить удельную массу - за 25 лет примерно в 1,4 раза (рис. 3,в), а также снизить трудоёмкость изготовления и эксплуатации двигателей.

Список литературы

1. The History of General Electric Aircraft Engines. URL: https://www.456fis.org/HISTORY_OF_GENERAL_ELECTRIC_AIRCRAFT_ENGINES.htm
2. General Electric F101-GE-102. <http://www.airwar.ru/enc/engines/f101-102.html>
3. F404. General Electric, USA. <http://www.leteckemotory.cz/motory/f404/index.php?en>

4. Vdoviyak J.W., Thackeray M.J. Definition Study for Variable Cycle Engine Testbed Engine and Associated Test Program. NASA CR-159459.Final Report. General Electric Company. November 1978. Contract GE21. - 112 p.

5. Jon K. Holzman, Lannie D. Webb, Frank W. Burcham, Jr. Flight and Static Exhaust Flow Properties of an F110-GE-129 Engine. NASA TM 104326. 1996. 32 p.

6. Joakim Kasper. About the F414-GE-400 Engine: URL: <http://www.fi-powerweb.com/Engine/F414-GE-400.html>

7. GE YF120. URL: <https://www.secretprojects.co.uk/threads/ge-yf120.1927/>.

8. Guy Norris. Исследования двигателей для истребителей шестого поколения ХА100 и ХА101. 9 мая 2017. URL: <https://www.secretprojects.co.uk/threads/ge-xa100-and-p-w-xa101-aetp-engines.28976/>.

9. GE Aviation представила двигатель для СПС. URL: <https://www.aex.ru/news/2018/10/17/189329/>.

Сведения об авторах

Зрелов В.А., д.т.н., доцент, профессор кафедры конструкции и проектирования двигателей летательных аппаратов Самарского университета. Область научных интересов: конструкция и проектирование авиационных и ракетных двигателей, история науки и техники, уплотнительная техника.

RESEARCH OF THE DEVELOPMENT OF THE GENERAL ELECTRIC TURBOFAN ENGINES WITH AFTERBURNER

Zrelov V.A.

Samara University, Samara, Russia, zrelov07@mail.ru

Keywords: afterburner turbofan engines, General Electric, structural diagrams, parameters, supports, materials, technologies.

The activities of the General Electric company in the development of turbofan engines with an afterburner are analyzed. The development of the main parameters, structural elements, technology and materials of the turbofan engine is revealed