Силуянова М.В., Курицына В.В., Шарафеев И.Р.

Анализ методов проектирования модульных авиационных газотурбинных двигателей

ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»
(Россия, Москва)

doi: 10.18411/sr-10-06-2020-17

idsp: sciencerussia-10-06-2020-17

Аннотация

В статье проводится анализ методов проектирования модульных авиационных газотурбинных двигателей (ГТД). Рассматриваются особенности модульной конструкции. Описаны требования к модульной конструкции и методы обеспечения модульности на примере модульного авиационного двигателя АЛ-31ФП.

Ключевые слова: газотурбинный двигатель, методы проектирования, конструкция, модульность.

Газотурбинный двигатель является тепловым двигателем, в котором газ сжимается и нагревается, а затем энергия сжатого и нагретого газа преобразуется в механическую работу на валу газовой турбины. Рабочий процесс ГТД может осуществляться с непрерывным сгоранием топлива при постоянном давлении или с прерывистым сгоранием топлива при постоянном объеме (рис. - 1).

Рисунок 1 – общая схема ГТД.

Двухконтурный турбореактивный двигатель с форсажной камерой и управляемым вектором тяги АЛ-31ФП (рис. – 2) имеет модульную конструкцию и состоит из 4-ступенчатого компрессора низкого давления с регулируемым входным направляющим аппаратом, промежуточного корпуса с центральной коробкой приводов, 9-ступенчатого компрессора высокого давления с регулируемой первой группой ступеней, наружного контура, кольцевой камеры сгорания, одноступенчатой охлаждаемой турбины высокого давления, одноступенчатой охлаждаемой турбины низкого давления, форсажной камеры и поворотного в одной плоскости осесимметричного сверхзвукового реактивного сопла.

Рисунок 2 – общий вид двигателя АЛ-31ФП

Двигатель включает в себя следующие основные узлы:

- компрессор, состоящий из компрессора низкого давления (КНД) и компрессора высокого давления (КВД);
- основная камера сгорания;
- турбина, состоящая из турбины высокого давления (ТВД) и турбины низкого давления (ТНД);
- наружный контур, в котором размещён воздухо-воздушный теплообменник (ВВТ);
- форсажная камера сгорания со смесителем и сверхзвуковым соплом;
- приводы вспомогательных устройств;
- поворотное реактивное сопло.

Кроме того, двигатель имеет масляную, топливную, противообледенительную, противопомпажную и пусковую системы, систему аварийного слива топлива и систему управления.

Для обеспечения высокой технологичности сборки и замены в процессе эксплуатации отдельных узлов при минимальном объёме проверок и регулировок двигатель выполнен по модульной схеме.

Модуль – заменяемая составная часть двигателя, конструктивно-технологическое исполнение которой обеспечивает при обнаружении неисправности ее замену в условиях эксплуатации на любом двигателе одной модификации и серии путем частичной помодульной переборки – без разборки ее и соседних сборочных единиц, без подгоночных и балансировочных работ, испытаний двигателя на стенде, с сохранением работоспособности и параметров двигателя в заданных пределах. Требование к проектированию двигателя модульной конструкции и перечень модулей задаются в техническом задании заказчика на разработку двигателя с учетом прогнозируемой типовой повреждаемости, безотказности и долговечности элементов конструкции и условий применения двигателя.

Деление двигателя на модули следует осуществлять по операционно-технологическому и функциональному принципам и данным о повреждаемости сборочных единиц и деталей с учетом возможностей и особенностей обслуживания и ремонта двигателя в условиях эксплуатации. Следует выделять модули легкоъемные, т.е. модули, заменяемые при текущем техническом обслуживании в эксплуатации, и модули, заменяемые при проведении среднего ремонта двигателя.

Модуль двигателя должен быть автономным при изготовлении, транспортировании, хранении, ремонте и контроле технического состояния, иметь свое обозначение (шифр), наименование, заводской номер и паспорт.

Для обеспечения модульности конструкции двигателя необходимо выполнить требования функциональной и геометрической взаимозаменяемости модулей.

Функциональная взаимозаменяемость обеспечивается заданной точностью изготовления деталей и сборочных единиц, при которой разброс параметров одноименных модулей не превышает значений, устанавливаемых техническими условиями, и подтверждается испытаниями модуля в составе технологического двигателя. Геометрическая взаимозаменяемость модулей обеспечивается конструктивными и технологическими методами. В рабочих чертежах модулей должны быть заданы отклонения рабочих поверхностей и допуски на размеры относительно центрирующих поверхностей стыков модулей. Назначенные такие допуски на точность изготовления стыковочных мест, которые исключают необходимость подгоночных работ, дополнительной регулировки и балансировки при замене модулей.

В сборочных чертежах модулей должны быть приведены контролируемые допуски и отклонения рабочих поверхностей, которые определяют геометрическую взаимозаменяемость модулей и обеспечивают сохранение соосности опор роторов, расчетных зазоров, допустимой неуравновешенности роторов и т.д. Конструкция модулей, включающих компрессор (в том числе и вентилятор) или турбину, должна обеспечивать замену поврежденных лопаток в эксплуатации, для чего в корпусе может быть предусмотрен осевой разъем, установка лопаток компрессора в диске с помощью кольцевого элемента соединения и т.д. Замена поврежденных лопаток на новые производится из условия равенства масс и статических моментов новой и заменяемой лопаток.

В заключении стоит отметить, что модульные двигатели обладают определенными преимуществами при техническом обслуживании. Они обладают высокой контролепригодностью, доступностью, взаимозаменяемостью. При техническом обслуживании и ремонте не требуется съем и разборка всего двигателя, а только того модуля, где обнаружена неисправность. Легкость и быстрота съема модулей обеспечивается надежным, легкодоступным стационарным креплением агрегатов модулей, применением легкоразъемных трубопроводов, болтов соединений корпусов модулей, хомутов, минимальными требованиями по балансировке и применением встроенных в модули подшипников.

Диагностирование двигателей, поиск неисправностей и оценка технического состояния облегчаются применением лючков для введения эндоскопов, с помощью которых определяется состояние внутренних деталей двигателя, а также рациональным размещением датчиков температуры и давления вдоль газового тракта двигателя.

1. Сибкин В.А., Солонин В.И., Палкин В.А., Фокин Ю.В., Егоров И.В., Бакалеев В.П., Работы ведущих авиадвигателестроительных компаний по созданию перспективных авиационных двигателей (аналитический обзор). – М.: ЦИАМ, 2004. – 424 с.
2. Новиков А.С., Пайкин А.Г., Сиротин Н.Н. Контроль и диагностика технического состояния газотурбинных двигателей – М.: Наука, 2007. – 469 с.
3. Литвинов Ю.А., Боровик В.О. Характеристики и эксплуатационные свойства турбореактивных двигателей. – М.: Машиностроение, 1979. – 288с.
4. Сиротин Н.Н. Конструкция и эксплуатация, повреждаемость и работоспособность газотурбинных двигателей (Основы конструирования авиационных двигателей и энергетических установок). – М.: РИА “ИМ-Информ”, 2002. – 442 с.
5. Смирнов Н.Н., Владимиров Н.И., Черненко Ж.С. Техническая эксплуатация летательных аппаратов: Учебник для вузов. – М.: Транспорт, 1990. – 423 с.
6. Иноземцев А.А. Нахимкин М.А. Сандрацкий В.Л. и др. Серия учебников “Газотурбинные двигатели” в пяти томах. – М.: Машиностроение, 2007/2008.
7. Kuritsyna V.V., Siluyanova M.V. Automated Management in Aerospace Production // Russian Engineering Research. – 2018. – Vol. 38 (3). – P. 201-207.
8. Kraev V.V., Tikhonov A.I., Novikov S.V. Economic Conversion in the Aviation Industry // Russian Engineering Research. – 2018. – Vol. 38 (4). – P. 330 – 333.
9. Kraev V.V., Siluyanova M.V., Tikhonov A.I. Assessment and improvement of rationality methods of modern aircraft engines design and technological solution// Journal of Physics Conference Series. – 2019. – Vol. 1353 (1). – P. 1–6.