

ПРОБЛЕМЫ ДИАГНОСТИКИ ОТКАЗОВ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ ДВУХКОНТУРНЫХ ГТД И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Георгий Константинович Герман,

начальник конструкторского отдела "Опытного конструкторского бюро им. А. Люльки", филиала ОАО "УМПО"

Алексей Игоревич Зубко,

инженер-конструктор "Опытного конструкторского бюро им. А. Люльки", филиала ОАО "УМПО",
соискатель Московского авиационного института (национального исследовательского университета)

Олег Николаевич Калюжный,

инженер-программист ЗАО НПП "ИДС Маяк"

Рассматриваются вопросы возникновения отказов подшипников опор газотурбинных двигателей. Приводятся результаты экспериментальных работ.

In this work we study the nature of failures of pillar bearings located in gas-turbine engines, and the questions of such failures registration. The results of the experimental works are presented.

Ключевые слова: вибрационная диагностика, газотурбинные двигатели, подшипники качения, спектральный анализ вибрации.

Keywords: vibration diagnostics, gas turbine engines, bearings, spectral analysis of vibration.

Роторы высокого и низкого давления входят в число важнейших элементов двухконтурных газотурбинных двигателей (ГТД). Связывая соответствующий каскад компрессора с турбиной, они передают крутящий момент и обеспечивают реализацию рабочего цикла лопаточной машины. Вместе с тем, высоконагруженные роторы являются основными источниками вредных вибраций, интенсивность которых зависит от целого ряда факторов. Эти факторы, в свою очередь, определяются как конструктивными особенностями двигателя (характер соединения между собой отдельных деталей роторов, близость рабочих скоростей к так называемым критическим скоростям), так и технологией его изготовления.

Для улучшения массогабаритных характеристик двухвальных ГТД, в их силовых схемах используется крепление и передача нагрузок от ротора высокого давления (РВД) через узел межроторного подшипника (МРП) на ротор низкого давления (РНД). Далее усилия передаются на опоры РНД, имеющие механическую связь с корпусом двигателя.

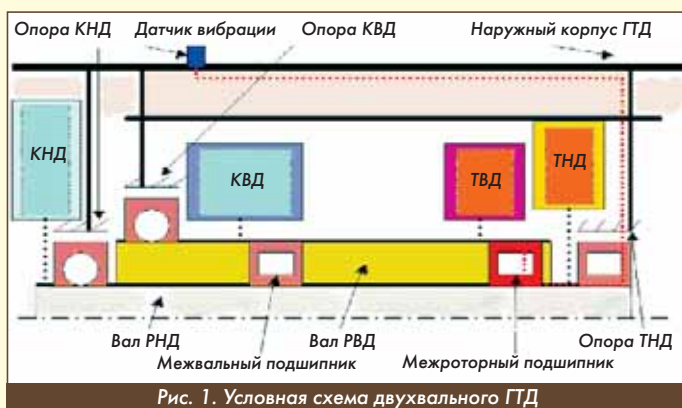


Рис. 1. Условная схема двухвального ГТД

Собственное название "межроторный" подшипник получил для того, чтобы его можно было отличать от так называемого "межвального" подшипника (МВП), также установленного между валами роторов. Однако, если МРП расположен в районе турбин, то МВП размещают примерно на середине длины роторов; он служит, главным образом, для уменьшения амплитуды колебаний валов и исключения возможности их касания.

Указанная компоновка двигателя с МВП и МРП, нашедшая сегодня широкое распространение, помимо определенных достоинств имеет и существенные недостатки. Один из таких недостатков связан с тем, что узел МРП консольно закреплен на валу РНД и, соответственно, все колебания последнего передаются на РВД. В свою очередь, при возникновении колебаний РВД они передаются на РНД, а межроторный подшипник при этом становится

ся узлом энергообмена.

У любого ротора всегда имеется некий дисбаланс, возникающий по различным причинам (остаточный, температурный и т.д.), что вызывает его колебания и повышенную вибрацию, которая негативно влияет на ресурс подшипника. Поэтому МРП оказывается критическим элементом, в заметной степени определяющим ресурс ГТД в целом. Соответственно, диагностика МРП занимает одно из важнейших мест при оценке состояния подшипников трансмиссии двухвального ГТД.

Типовым повреждением МРП, наиболее часто встречающимся в эксплуатации, является питтинг на тела качения и беговой дорожке наружного кольца из-за превышения расчетных нагрузок. Классическая схема повреждения подшипника качения предполагает наличие пяти этапов:

- возникновение трещин в подповерхностном слое из-за превышения допустимых нагрузок и нарушения структуры кристаллических решеток;
- увеличивающиеся трещины выходят на поверхность беговой дорожки или тела качения;
- объединение трещин приводит к скалыванию участка поверхности и образованию раковины (на этом этапе из-за ударного взаимодействия тел качения и беговых дорожек возникает подшипниковая вибрация, но ее амплитуда пока не превышает амплитуды фоновых шумов);
- объединяющиеся раковины развиваются на все большей площади рабочих поверхностей контактирующих деталей (продолжается рост вибрации, но теперь ее амплитуда интенсивно растет из-за наличия существенных неровностей на беговых дорожках и роликах);
- искажение геометрических размеров деталей подшипника приводит к интенсивному тепловыделению, что вызывает уменьшение рабочих зазоров из-за нерасчетного расширения деталей и заклинивание подшипника.

По времени описанный процесс требует для своего развития десятков часов работы двигателя, но по мере перехода от этапа к этапу происходит его ускорение, и четвертой стадии интенсивного повреждения деталей МРП соответствует интервал времени длительностью в несколько часов.

Основные проблемы диагностирования состояния МРП

Масса деталей МРП по сравнению с массой двигателя в целом невелика, поэтому амплитуда вибрации корпуса двигателя, порождаемая повреждениями МРП, оказывается небольшой. В связи с этим датчики, установленные на корпусе двигателя, оказываются не в состоянии выделить слабые "сигналы" появляющихся дефектов на фоне виброшумов.

К этому необходимо добавить, что расстояние от источника слабого сигнала - поврежденного МРП - до датчика (путь, по которому распространяется этот сигнал, показан на рис. 1 красной пунктирной линией) достигает нескольких метров. На этом пути встречаются болтовые и сварные соединения, детали подшипника опоры турбины низкого давления и т.д. Все эти элементы вносят нелинейность в сигнал вибрации, приходящий на корпус и способствуют появлению в его спектре искажений и биений частот.

Уже появившиеся раковины небольших размеров из-за ударного взаимодействия деталей подшипника вызывают вибрацию в высокочастотном диапазоне, но с небольшими амплитудами. Заметное влияние на увеличение амплитуды вибрации двигателя оказывают уже развившиеся дефекты, которые вызывают отклонения оси вала массивного ротора относительно ее "теоретического" положения.

Вибрация двигателя является следствием случайного изменения геометрии, жесткости, массовой балансированности и других характеристик двигателя. Результатом взаимодействия вибрационных колебаний от различных источников является появление биений, фонового шума и флуктуации амплитуд всех частот. Поэтому для устойчивого диагностирования появляющегося повреждения подшипника необходимо научиться выявлять признаки начала разрушения МРП на фоне шумов.

Итак, одна из основных проблем при диагностировании МРП состоит в отсутствии легко идентифицируемых ранних признаков начала его повреждения. Значительное (над уровнем шума) увеличение амплитуды вибрации наблюдается лишь на заключительных стадиях отказа МРП, когда повреждение МРП вызывает колебания роторов, при этом интервал времени от начала интенсивного роста вибрации ГТД до выхода из строя измеряется десятками минут.

Оценка элементов существующей системы диагностирования

Основной элемент системы диагностики большинства отечественных ГТД является штатный датчик вибрации типа МВ-27. Он обладает довольно узким диапазоном рабочих частот (от 20 до 500 Гц), что не позволяет отслеживать вибрации от средне- и высокочастотных источников. Ко всему этому, датчик не в состоянии определять спектр вибраций. Существующая на борту самолета система регистрации обладает относительно низкой для высокочастотных процессов частотой опроса. На двигателе датчик устанавливается в одной точке на промежуточном корпусе, поэтому на отдельных частотах, характерных для корпуса, датчик может оказаться в зоне узлов или пучностей, что приведет к искажению получаемой информации. Датчик фиксирует колебания только вдоль одной оси и не отслеживает увеличения составляющих вибрации в двух других ортогональных направлениях. Конструкция МВ-27, созданного более тридцати лет назад, безусловно, устарела. Дополнительные сложности вызывает использование в настоящее время в бортовых системах регистрации параметров ГТД только интегральной виброскорости (как правило, от одного датчика вибрации).

С другой стороны, число отказов МРП составляет небольшое количество от общего числа отказов эксплуатирующихся двигателей, поэтому экономически нецелесообразно проводить объемные, дорогостоящие доработки всего существующего парка двигателей и самолетов, требующие проведения дополнительных исследований и испытаний.

Резюмируя, можно сделать вывод о том, что при создании перспективной системы диагностики, решая очень сложную с точки зрения определения технического состояния ГТД задачу, следует максимально использовать существующую структуру и не вносить существенные изменения в сложившуюся конструкцию самолета и двигателя.

На основе большого объема экспериментов, выполненных на стендах испытаний подшипников и двигателя в целом, было установлено, что классические приемы диагностирования, базирующиеся на анализе частот колебаний подшипников и применяемые для диагностики небольших по размерам и относительно несложных по конструкции агрегатов, неприменимы для оценки состояния

роторных систем ГТД. Для решения диагностических задач состояния подшипников необходимо использовать другие подходы.

Сегодня диагностирование состояния ГТД может производиться непосредственно в процессе полета или по накопленным записям полетной информации на земле. Разумеется, с точки зрения эффективности и обеспечения безопасности, предпочтительнее производить диагностирование в полете, в режиме реального времени, с возможностью выдачи в экстренных случаях информации летчику о критическом состоянии двигателя. Однако сегодня отечественные серийные двухвалы ГТД не оснащены подсистемами, способными обрабатывать большие массивы информации (в том числе и сигналов от датчиков вибрации), и для решения указанной задачи потребуется серьезная модернизация оборудования самолета и двигателя, что экономически нецелесообразно. Вариант обработки информации на земле, после посадки самолета, в сложившейся ситуации представляется наиболее предпочтительным.

Поэтому перспективным направлением развития вибродиагностики МРП является разработка методов обработки полетной информации, регистрируемой бортовыми системами регистрации параметров двигателя (в авиационной терминологии - бортовое устройство регистрации (БУР)), с целью выявления ранних признаков изменения вибросостояния двигателя.



Рис. 2. Состояние дорожки наружного кольца подшипника после длительной эксплуатации

По техническому заданию НТЦ им. А. Люльки был разработан и в настоящее время проходит испытания программный модуль комплекса обработки полетной информации в составе ИДС "АРМ ДК-30(СД) серия М", позволяющий в автоматизированном режиме решать задачу выбраковки поврежденных МРП на этапах подготовки самолета к вылету.

Для подтверждения полученного диагноза двигателя, технология работы модуля вибродиагностики предусматривает установку дополнительных датчиков вибрации на ГТД при проведении опробования на земле, что позволяет выделить спектр вибрации двигателя, а затем провести его анализ существующими стандартными методами и с достаточной вероятностью определить техническое состояние элементов и узлов роторной системы ГТД.



Рис. 3. Состояние сепаратора и роликов подшипника после длительной эксплуатации

Литература

1. Справочник под редакцией академика РАН Ключева В.В. "Не разрушающий контроль", том 7, книга 2, "Вибродиагностика". М.: Машиностроение, 2006, 828 с.

Связь с автором: ids_majak@mail.ru