**Практическое занятие №1:**

**Диагностирование по изменению рабочих параметров. Диагностирование по изменению физико-механических параметров.**

*Диагностирование по изменению рабочих параметров ГТД*

Диагностирование ГТД по газодинамическим параметрам является одним из эффективных методов оценки его технического состояния. Этим методом выявляется главный параметр – способность ГТД обеспечивать требуемую мощность или тягу.

Как известно, технические условия на эксплуатацию ограничивают значения параметров, характеризующих процесс реализации алгоритма функционирования. Поэтому, зная величину функционального параметра и его ограничения, можно судить об исправности, работоспособности и правильности функционирования объекта.

Данный метод оценки состояния ГТД основывается на анализе тенденций изменения отклонения нерегистрируемых параметров от эталонных (базовых) значений. В свою очередь нерегистрируемые параметры рассчитываются по результатам измерения регистрируемых (контролируемых) параметров [4,5].

В качестве диагностических регистрируемых параметров ГТД используют температуру газов за турбиной Т\*, частоту вращения роторов высокого nвд и низкого nнд давления, часовой расход топлива Gт, давление топлива перед форсунками p и температуру масла на входе в двигатель tn. Кроме того, на входе в двигатель регистрируются полная температура и полное давление наружного воздуха.

На рис. 2.1 показана последовательность обработки регистрируемых параметров.

Приведение к стандартным атмосферным условиям

Измерение диагностических параметров

Усреднение по группе измерений на идентичных режимах

Вычисление отклонений относительно эталонных значений

Статистическое сглаживание

Постановка диагноза

Рис.2.1. Последовательность обработки регистрируемых параметров

Нерегистрируемые параметры ГТД – это параметры проточной части (камер сгорания, форсунок, состояние лопаток компрессора и турбины, коэффициент полезного действия и тяга двигателя и т.д.).

Данный метод позволяет выявить только те неисправности, которые вызывают изменение отклонений термогазодинамических параметров и параметров системы смазки. Характерные выявляемые неисправности – это увеличение радиальных зазоров в лопаточных машинах, износ торцов лопаток компрессора, турбины, коробление лопаток компрессора, турбины и газовоздушного тракта, изменение формы профилей лопаток компрессора и турбины, прогар, коробление камер сгорания и лопаток соплового аппарата, разрушение лабиринтных уплотнений и т.п.

Для определения отклонений нерегистрируемых параметров используется система линейных уравнений, где в качестве независимых величин приняты отклонения регистрируемых параметров. Применение линейных уравнений при решении диагностических задач возможно, так как при проявлении неисправностей в начальной стадии их развития параметры двигателя изменяются в пределах, удовлетворяющих линеаризованным термогазодинамическим уравнениям:

,

где  – нерегистрируемые термогазодинамические параметры (КПД турбины и компрессора, температура заторможенного потока, удельный расход топлива, тяга двигателя и т.п.); – регистрируемые в эксплуатации параметры;  – коэффициенты влияния.

Последовательность определения состояния двигателя по нерегистрируемым параметрам в этом случае следующая:

- составляются системы уравнений для неисправностей, выявление которых предусматривается в эксплуатационной документации на данном типе двигателей;

- регистрируются отклонения параметров  на выбранном режиме полета и работы двигателя;

- строится график изменения  по наработке и производится анализ тенденций изменения этих параметров по результатам решения системы уравнений. Критериями оценки изменения состояния двигателя служат скорость изменения и абсолютные значения .

В тех случаях, когда измерение термодинамических параметров проводится на режимах, отличных от стандартных, вводят поправки, учитывающие эти отклонения. Если в процессе эксплуатации проводились регулировки, влияющие на уровень термогазодинамических параметров, то при анализе тенденций отклонений параметров учитываются эти регулировки.

В качестве характеристик исправного состояния двигателя принимаются эталонные (базовые) кривые определенного двигателя, полученные при контрольно-сдаточных испытаниях, или индивидуальные эталонные кривые для каждого двигателя.

Для примера рассмотрим расчет нерегистрируемого параметра –тяги двигателя, по результатам регистрируемых в полете параметров с использованием следующей зависимости [8]:

,

где , ,  – коэффициенты, определяемые по формулярным данным двигателя;  – приведенная частота вращения ротора низкого давления;  – постоянный коэффициент;  – расход воздуха на систему кондиционирования.

Приведение частоты вращения ротора низкого давления к стандартным атмосферным условиям выполняется по формуле: 

,

где  – измеренное значение частоты вращения ротора низкого давления;  – абсолютная температура наружного воздуха;  – коэффициент, учитывающий влажность воздуха.

Аналогичным способом приводятся к стандартным атмосферным условиям и другие регистрируемые параметры работы двигателя (температура газов за турбиной, удельный расход топлива).

Для выявления возможных неисправностей в двигателе, возникающих в процессе его функционирования, измеренные величины и величины, рассчитанные по результатам измерения параметров работы, проходят статистическую обработку. Обработка выполняется при условии прохождения параметрами допускового контроля.

Методика выявления неисправностей основана на сопоставлении текущих значений параметров со статистическими характеристиками параметров работы данного двигателя и статистическими характеристиками совокупности случайных процессов изменения параметров работы парка исправных двигателей.

Для каждого двигателя по каждому параметру определяются диапазоны статистически возможных и статистически допустимых изменений параметров.

Диапазон статистически возможного изменения каждого параметра с заданной доверительной вероятностью характеризует прогнозируемую область разброса параметра данного двигателя относительно его среднего значения в зависимости от числа измерений в процессе контроля.

Диапазон статистически допустимых изменений любого из параметров характеризует с заданной доверительной вероятностью область допустимого разброса параметра двигателя относительно его среднего значения и определяется на основании данных о разбросе величины анализируемого параметра по парку исправных двигателей.

Исправному состоянию двигателя соответствует нахождение измеренных значений параметров внутри диапазона статистически возможного изменения параметра, а диапазон статистически возможного изменения находится внутри статистически допустимого диапазона.

Возможному началу развития неисправности двигателя или измерительной аппаратуры, предназначенной для измерения и обработки параметра, соответствует выход величины измеренного параметра за пределы статистически возможного диапазона.

Для проверки факта начала развития неисправности начинается отсчет числа всех последующих замеров параметра. Если в процессе выполнения данного числа замеров выход параметра за статистически возможный диапазон повторяется трижды, то диагностическая система предписывает выполнение работ по выявлению неисправности на ранней стадии ее развития.

Если принятые меры не оказались эффективны и продолжаются случаи выхода параметра за установленные пределы, то система выдает информацию о выходе параметра за допустимый диапазон К раз за А полетов.

Если измеряемый параметр выходит за верхнюю границу статистически возможного уровня, то повышается вероятность неисправности элементов газодинамического тракта двигателя.

Необходимо иметь в виду, что границы статистически возможного диапазона изменения каждого анализируемого параметра определяются для номера замера, большего 20, так как в предыдущие полеты накапливаются исходные данные для расчетов. При этом доверительная вероятность оценки среднего значения параметра соответствует значению 0.995, доверительная вероятность оценки дисперсии соответствует значению 0.95, уровень значимости соответствует 0.005.

*Диагностирование по изменению физико-механических параметров ГТД.*

Оценка технического состояния деталей, омываемых маслом, осуществляется по наличию металлических частиц – продуктов износа деталей кинематических пар, которые улавливаются с использованием штатных чувствительных элементов – датчиков и сигнализаторов. Количество продуктов изнашивания зависит от скорости развития дефектов и является диагностическим признаком технического состояния деталей. Это направление работ носит название «трибодиагностика.

С помощью трибодиагностики выявляются неисправности подшипников и лабиринтных уплотнений опор роторов, деталей коробки приводов и центрального привода, приводных агрегатов, включенных в маслосистему ГТД (электрогенераторы, гидронасосы).

Обычно износ деталей начинается с выкрашивания поверхностного слоя под воздействием динамических нагрузок. Первопричина этого процесса заключается в незначительных отклонениях в механических свойствах и структуре материала деталей, а также в их размерах. В местах контакта образуются язвочки, что способствует росту концентрации напряжений и дальнейшему разрушению материала.

В процессе развития неисправностей поток масла в системе смазки уносит оторванные частицы от мест разрушения. Масло в этом случае выступает как носитель информации о появлении неисправностей.

Необходимо уметь отличать продукты нормального износа, имеющие место в процессе всего периода эксплуатации ГТД, от металлических частиц, появляющихся при разрушениях или выявленных при осмотре и ремонте.

Нормальная кривая закона изменения содержания металла в масле приведена на рис. 2.2. Можно выделить три участка в процессе образования частиц износа за период эксплуатации:

- 1 участок – приработка (длится порядка 100 часов). В этот период осадок в масле из мелких частиц может то увеличиваться, то снижаться;

- 2 участок – период нормальной эксплуатации ГТД. На этом этапе мелкие частицы износа (размером не более 0.5 мкм) образуют пастообразную массу с низкой вязкостью и обычно не оказывают вредного действия на работу двигателя;

- 3 участок – износ нарастает, дефекты прогрессируют, размер частиц сильно увеличивается (до 60мкм).

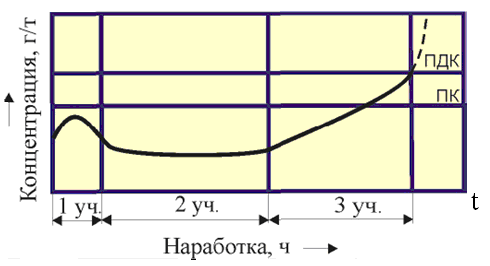


Рис. 2.2. Характер изменения концентрации частиц износа в масле при эксплуатации:

ПК – повышенная концентрация частиц в масле, при которой двигатель допускается эксплуатировать под «особым контролем»; ПДК – предельно допустимая концентрация, при достижении которой двигатель подлежит отстранению от эксплуатации

Контроль содержания в масле частиц износа условно можно подразделить на бортовой и лабораторный (наземный). Бортовой контроль необходим для предупреждения о дефекте узлов трения во время работы ГТД (в полете) за небольшой интервал времени до возникновения опасности их разрушения.

К бортовым средствам обнаружения частиц износа относятся:

- электрические детекторы; при накоплении определенного количества продуктов износа происходит замыкание контактов и формирование предупреждающего сигнала на приборную панель экипажу или записывающее устройство;

- магнитные пробки (МП), которые устанавливаются в трубопроводах и полостях двигателя в районах циркуляции масла. Осмотр МП выполняется в процессе ТО на земле с периодичностью, предусмотренной регламентом.

Лабораторный контроль выполняется в наземных условиях путем спектрального анализа проб масла, феррографического и гранулометрического анализов, а также определения марки материала продуктов износа. В процессе спектрального анализа определяются концентрации в масле металлов, из которых состоят частицы износа. Как правило, определяется содержание железа и меди, реже серебра. Феррографический анализ позволяет выявлять размеры, форму и количество крупных частиц в масле. По этим параметрам можно составить картину характера повреждения трущихся поверхностей.

При гранулометрическом анализе оценивается общая загрязненность масла любыми частицами с определением их размеров, количества и соответствия нормируемому классу чистоты масла по ГОСТу 17216-2001.

Периодичность отбора проб масла устанавливается не реже, чем через 200 часов полета. Пробы масла берутся через 15…40 минут после остановки двигателя, пока частицы износа находятся во взвешенном состоянии. При возрастании содержания продуктов износа в масле отбор проб производится чаще.

Для определения концентрации продуктов износа в масле на авиапредприятиях преимущественно используются установки двух типов:

- МФС-5 (МФС-7) – многоканальный фотоэлектрический спектрометр, основанный на применении эмиссионного спектрального метода;

- БАРС-3 – бездифракционный анализатор рентгеновский скоростной, основанный на реализации рентгеноспектрального метода определения содержания продуктов износа в работавших маслах.

Рассмотрим схему работы МФС. Он предназначен для возбуждения эмиссионных спектров и регистрации сигналов, вызванных излучением спектральных линий различных элементов, находящихся в работавшем масле. На рис. 2.3 показана принципиальная схема МФС-7.

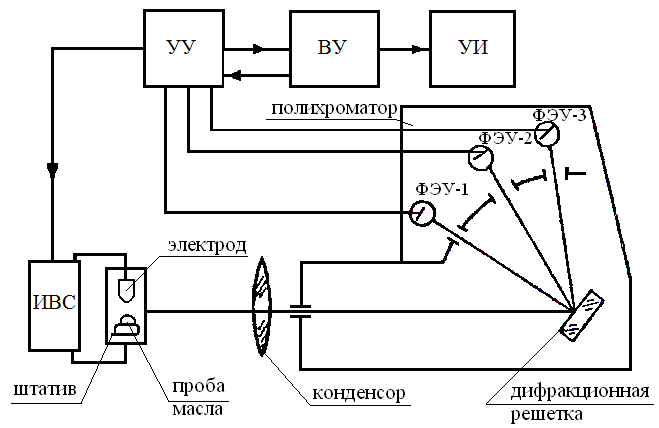


Рис.2.3. Схема МФС-7

При спектральном анализе пробы масла сжигают в электрической дуге. В основу работы установки положен метод эмиссионного спектрального анализа, использующий явление свечения газа или пара исследуемого вещества в результате нагревания его до температуры выше 1000ºС. Свечение через усилительную линзу поступает в полихроматор, где установлена дифракционная решетка, разлагающая спектр излучения на составляющие по длинам волн. Излучение с определенными длинами волн фокусируется в виде спектра на сферической поверхности полихроматора. В сфере имеются девятнадцать узких щелей, через которые излучение с определенными длинами волн попадает на катоды фотоэлектронных умножителей (ФЭУ).

Электрический сигнал с каждого ФЭУ соответствует определенной длине волны или части спектра и пропорционален интенсивности свечения, а следовательно, концентрации продуктов износа. Управляющее устройство (УУ) управляет работой установки и обработкой сигналов. Вычислительное устройство (ВУ) обрабатывает полученную информацию и передает на устройство индикации (УИ). В составе УИ имеются цифропечатающее устройство и цифровой вольтметр.

Установки типа МФС позволяют с высокой точностью определять концентрацию 10 элементов (железо, медь, серебро, алюминий, свинец, кремний, магний, хром, никель, олово). Время обжига масла составляет 20…25 с. Продолжительность анализа одной пробы масла составляет 3 мин.

Установки типа МФС требуют периодического проведения тарировок для проверки зависимости величины регистрируемых сигналов от концентрации химических элементов в масле.

В настоящее время все большее распространение на авиационных предприятиях получает более точный, надежный, простой в использовании прибор БАРС-3. Действие анализатора заключается в возбуждении и регистрации флуоресцентного излучения химических элементов, входящих в состав анализируемого вещества. Анализатор БАРС-3 дает возможность проводить экспресс-анализ масла на содержание элементов железа, меди, хрома, никеля, цинка, свинца, молибдена, кобальта, титана, марганца и др.

Практика эксплуатации авиационных ГТД показывает, что в тех случаях, когда использование дорогостоящих приборов типа МФС и БАРС не представляется возможным, с успехом может применяться сравнительно дешевый анализатор ПОЖ-М (прибор определения железа в работающих маслах).

Принцип работы прибора основан на измерении силы взаимодействия отфильтрованных частиц железа с постоянным магнитом, укрепленным на коромысле крутильных весов. Количество железа в анализируемом масле определяется по углу закрутки крутильных весов. Шкала прибора оттарирована в граммах железа на тонну масла.

При использовании описанных приборов пробы масла отбираются из двигателя с определенной периодичностью по наработке, а в ряде случаев после каждого прилета ВС в базовый аэропорт.

Все результаты анализа масла заносятся в специальные карты, в которых указываются величины концентрации металлов и скорости ее нарастания. Если концентрация элементов износа достигает заданного уровня, то периодичность отбора проб масла из двигателя сокращается.

При достижении концентрации одного из элементов износа предельного уровня дальнейшая эксплуатация двигателя приостанавливается до выяснения причин и источника поступления продуктов износа в масло. По химическому составу продуктов износа возможно установить те группы деталей двигателя, неисправность которых может служить причиной повышения концентрации металла в масле:

- Fe – тела качения, обоймы и сепараторы подшипников, шестерни, рессоры и детали уплотнений;

- Cu – подпятники, маслоуплотнительные кольца, бронзовые и латунные сепараторы подшипников, омедненные шлицы рессор;

- Al, Mg – корпуса и детали агрегатов маслосистемы и системы суфлирования, корпуса коробок приводов и их крышки.

Исследуя комбинации элементов продуктов износа в зависимости от наработки, возможно устанавливать неисправные узлы и в определенной степени прогнозировать техническое состояние двигателя.

Основные неисправности, выявляемые параметрической диагностикой маслосистемы:

- неисправности системы измерения параметров маслосистемы (датчиков, сигнализаторов, разъемов, линий связи);

- засорение, неисправность маслофильтров;

- негерметичность масляных уплотнений и трубопроводов;

- неисправность маслоагрегатов (маслонасосов, маслобака, воздухоотделителей, теплообменников).

Действующий стандарт устанавливает минимальный перечень измеряемых параметров маслосистемы ГТД для самолетов:

- давление масла на входе в двигатель;

- температура масла на входе в двигатель;

- количество масла в баке;

- максимальный перепад давления на масляном фильтре;

- стружка в масле.

Диагностирование параметров маслосистемы осуществляется бортовыми и наземными средствами контроля по измеренным и приведенным к стандартным атмосферным условиям и режиму параметрам.

Во время полета ВС применяется оперативный контроль, который предназначен для выявления быстроразвивающихся неисправностей и принятия решений о дальнейших действиях экипажем во время полета.

Оперативный контроль осуществляется в процессе работы ГТД средствами бортовой системы контроля и визуально экипажем по отображаемым в кабине самолета параметрам. При этом измеренные значения сравниваются с предельно допустимыми значениями, и при выходе за допуск система контроля ГТД выдает сигнал в информационную систему самолета.

Выявление неисправностей ГТД на ранней стадии их развития осуществляют наземные комплексы диагностирования, которые отслеживают изменение параметров каждого ГТД в отдельности в течение полета и за весь период эксплуатации.