

УДК 621.452

А.А. ПЕРЕПЕЛИЦА, Н.Д. БАГАУТДИНОВ, В.А. СЕДРИСТЫЙ*Государственное предприятие «Запорожское машиностроительное конструкторское бюро «Прогресс» им. академика А.Г. Ивченко***АЛГОРИТМЫ НАЗЕМНОГО АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ
ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДВИГАТЕЛЯ Д-436-148 НА САМОЛЕТЕ АН-148
ПО ДАННЫМ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО РЕГИСТРАТОРА БСТО-148**

Рассмотрены алгоритмы контроля для реализации в наземной автоматизированной системе контроля двигателя Д-436-148 на самолете Ан-148.

эксплуатационный регистратор, техническое состояние, алгоритм контроля, установившийся режим, допусковый контроль, дроссельная характеристика, базовое отклонение

Введение

Для эффективной и безопасной эксплуатации авиационных двигателей необходимо применение достоверных методов оценки их технического состояния (ТС). Такая оценка обычно проводится на основании комплексных методов диагностики, включающих в себя бортовой и наземный контроль параметров и сигналов от датчиков и сигнализаторов, установленных на двигателе, периодические технические осмотры конструктивных частей двигателя, использование методов неразрушающего контроля и другие.

Разнообразие конструктивных особенностей двигателей настолько велико, что разработка системы контроля для каждого конкретно взятого двигателя подразумевает под собой комплексный подход с учетом индивидуальных особенностей двигателя.

В связи с развитием электронной техники, применяемой на борту современных летательных аппаратов, появилась возможность автоматизированной регистрации огромных объемов полетной информации в цифровом виде с достаточно высокой частотой регистрации, используя электронные устройства регистрации параметров. Это дало толчок к созданию эффективных наземных систем автоматизированного контроля ТС двигателей, позволяющих осуществлять обработку больших объемов полетной информации.

Кроме того, создание наземной автоматизированной системы контроля (НАСК) не требует разработки специализированной аппаратной части. Чаще всего НАСК представляет собой специальное программное обеспечение, адаптированное для обычного персонального компьютера (ПК) с невысокими системными требованиями. Считывание полетной информации с эксплуатационного регистратора, также, не представляет особого труда. На самолете Ан-148 считывание информации с бортовой системы технического обслуживания (БСТО), в эксплуатационный регистратор (ЭР) которой записывается информация от блоков и систем самолета и двигателя, осуществляется посредством съемной флеш-памяти, и полетный файл сохраняется на жестком диске ПК.

Таким образом, имея значительный объем зарегистрированной полетной информации за некоторый промежуток времени, целесообразно разработать наземную автоматизированную систему контроля двигателя Д-436-148, реализующую специальные алгоритмы контроля двигателя, которые являются объектом исследования данной работы.

**1. Алгоритмы контроля ТС двигателя
Д-436-148**

Алгоритмы контроля для реализации в НАСК-148 должны быть построены по принципу модульной

структуры с возможностью добавления дополнительных алгоритмов контроля, использующих прогрессивные методы диагностического анализа параметрической информации.

На начальном этапе разработки НАСК-148 должна решать следующие задачи:

1. Расшифровка полетного файла, считанного из ЭР.
2. Проверка достоверности выдаваемых блоком системы контроля и вибрации двигателя Д-436-148 (БСКВ-436) сигналов. Исключение недостоверных сигналов.
3. Анализ полетной информации по специально разрабатываемым алгоритмам контроля.
4. Отображение полетной информации в разных форматах: графическом – с возможностью быстро и просто менять набор отображаемых параметров, устанавливать временной диапазон графика, изменять шкалы параметров и др.; и текстовом – в виде перечня диагностических или информационных сообщений, сформированных НАСК-148 при обработке полетного файла по алгоритмам контроля.

В НАСК предусматривается реализация следующих алгоритмов контроля:

1. Алгоритм формирования подконтрольных режимов двигателя.
2. Контроль параметров двигателя в процессе запуска
3. Контроль газодинамических параметров на максимальном крейсерском режиме.
4. Контроль газодинамических параметров на взлетном режиме.
5. Контроль маслосистемы двигателя.
6. Контроль топливной системы двигателя.
7. Контроль вибросостояния.
8. Контроль системы реверсирования тяги.
9. Контроль продолжительности выбега роторов.
10. Контроль работоспособности клапанов перепуска воздуха от компрессоров высокого и низкого давления.

Для контроля газодинамических параметров на установившихся режимах работы двигателя предварительно формируются признаки подконтрольных режимов при выполнении следующих условий: по истечении 5 секунд после установки рычага управления двигателем (РУД) в требуемое положение, соответствующее заданному режиму, и наличию или отсутствию вспомогательных признаков. В алгоритмах формируются следующие признаки подконтрольных режимов: запуска, земного малого газа, максимального крейсерского, максимального продолжительного, взлетного, реверса.

1.1. Контроль параметров двигателя в процессе запуска. В алгоритме контроля параметров двигателя в процессе запуска контролируется выполнение циклограммы запуска, заложенной в систему автоматического управления (САУ) двигателя. Для этого фиксируется время начала роста частоты вращения ротора высокого давления (ВД), время начала роста температуры газов за турбиной низкого давления (ТНД), роста частоты вращения ротора низкого давления (НД), время отключения стартера воздушного, время подачи рабочего топлива и т.д. Также контролируется общее время запуска двигателя, максимальная температура газа за ТНД на запуске, максимальное и минимальное давление воздуха в пусковой системе стартера. Зафиксированные в результате работы алгоритма значения, приведенные выше, сохраняются в памяти НАСК для формирования графических зависимостей этих значений от наработки двигателя, для сравнения параметров запуска двух двигателей, установленных на самолете. В результате работы алгоритма выдаются сообщения : «Продолжительность запуска выше нормы», «Температура за ТНД на запуске выше допустимой», «Давление воздуха перед стартером не в норме», «Позднее по времени начало роста $N_{ВД}$ », «Позднее по времени начало роста $N_{НД}$ », «Неудавшийся запуск двигателя». Если не сформировано ни одного сообщения об отклонениях параметров в

процессе запуска, то выдается сообщение «Параметры на запуске в норме».

1.2. Контроль газодинамических параметров двигателя. В алгоритме контроля газодинамических параметров двигателя на максимально крейсерском режиме выполняется поиск признака установившегося максимального крейсерского режима, при наличии признака – формирование выборки из 15 значений по каждому параметру:

$$N_B, N_{HD}, N_{ВД}, G_T, T_{ТНД}, \pi_{КС}, t^*_{ВХ}, P^*_{ВХ}, M.$$

С целью исключения недостоверных или сбойных значений выполняется входной контроль элементов выборки по специальной методике. После этого определяются средние значения каждого параметра и используются в расчете базовых отклонений дроссельной характеристики двигателя от эталонной. Отклонения дроссельной характеристики по параметрам $N_B, N_{HD}, N_{ВД}, G_T, T_{ТНД}$ рассчитываются следующим образом:

$$\Delta\Pi = \Pi_{ПР} - \Pi_{ПР\text{ ЭТАЛ}}, \quad (1)$$

где Π – условное обозначение одного из пяти параметров $N_B, N_{HD}, N_{ВД}, G_T, T_{ТНД}$;

$\Pi_{ПР} = f(\Pi_{ЗАМ}, t^*_{ВХ}, P^*_{ВХ}, M)$ – приведенное значение измеренного параметра с учетом поправок по температуре наружного воздуха, влияния отборов воздуха;

$\Pi_{ПР\text{ ЭТАЛ}} = f(\pi_{КС})$ – значение параметра, определенное с помощью аналитической дроссельной характеристики двигателя в стандартных атмосферных условиях.

Базовые отклонения дроссельной характеристики рассчитываются как среднее арифметическое отклонений дроссельных характеристик по каждому параметру за первые 10 полетов.

$$\Delta\Pi_{БАЗ} = \frac{\sum \Delta\Pi}{10}. \quad (2)$$

После того как базовые отклонения определены, они сохраняются в памяти НАСК для каждого конкретного двигателя соответственно и обнуляются

только в случае ремонта двигателя, при котором могут измениться характеристики газозвдушного тракта двигателя, или в случае изменений в САУ двигателя. При штатной работе алгоритма производится сравнение рассчитываемых отклонений дроссельных характеристик параметров двигателя с базовыми отклонениями и в случае несоответствия выдается сообщение «Параметр Π не в норме».

Причиной выхода смещений дроссельных характеристик за допустимые пределы может быть: погрешность регистрации параметра двигателя или несоблюдение условий его регистрации, ошибка при вводе формулярных данных в систему, изменение ТС двигателя за период между началом эксплуатации и определением смещений. Кроме этого на максимально крейсерском режиме осуществляется контроль превышения максимальных и максимально допустимых значений частот вращения роторов и температуры газов за ТНД с выдачей соответствующих сообщений.

На взлетном режиме выполняются аналогичные действия для контроля газодинамических параметров, что и на максимально крейсерском. Кроме того, контролируется время непрерывной работы двигателя на взлетном режиме, которое не должно превышать 5 минут.

1.3. Контроль параметров маслосистемы, топливной системы, вибрационного состояния. Для контроля маслосистемы используются следующие параметры: уровень масла в маслобаке, давление масла на входе в двигатель, температура масла на входе в двигатель, температура масла в полостях суфлирования опор, сигналы от четырех стружко-сигнализаторов, располагающихся в магистралях слива масла из опор двигателя и коробке приводов. На установившихся режимах формируются 10-ти секундные выборки перечисленных выше параметров, производится отбраковка недостоверных значений в выборках, определяется среднее значение и сравнивается с нормативными для каждого режима. При этом в алгоритме контролируется превышение

максимальных значений по температуре масла на входе в двигатель, температуре масловоздушной смеси в полостях суфлирования опор. Рассчитанные средние значения параметров маслосистемы на режимах сохраняются в памяти НАСК для обеспечения возможности построения графических зависимостей, указанных параметров от наработки двигателя.

Кроме того, в алгоритме контролируется правильность действий экипажа или технического персонала по эксплуатации двигателя: фиксируется средняя температура масла перед запуском двигателя и перед выходом на режим полетного малого газа. Эти температуры не должны быть ниже нормируемых значений.

В результате работы алгоритма выдаются соответствующие диагностические и информационные сообщения.

Для контроля ТС топливной системы двигателя используются следующие параметры и сигналы: давление топлива перед рабочими форсунками, расход топлива, давление топлива на входе в двигатель.

Вибрационное состояние двигателя оценивается на основании сигналов от двух датчиков вибрации, установленных в области передней и задней подвески двигателя: вибросмещение ротора вентилятора, виброскорость ротора НД и виброскорость ротора ВД в передней и задней плоскостях.

1.4. Контроль ТС реверсивного устройства.

Определяется зона контроля режима реверсирования тяги двигателей, на которой контролируется появление в трех и более кадрах сигналов о неисправности реверсивного устройства (РУ) от сигнализаторов, установленных на РУ. Также контролируется превышение температуры газов за ТНД на реверсе, время непрерывной работы на режиме максимального реверса, включение реверса на низкой скорости самолета.

Заключение

Использование предлагаемых алгоритмов контроля для наземной обработки зарегистрированной в полете информации по двигателю Д-436-148 на самолете Ан-148 позволит качественно и быстро обработать полетный файл, выдать диагностические сообщения о неисправностях двигателя или отклонениях от нормы параметров двигателя, сформировать и вывести на средства отображения графические зависимости параметров двигателя за значительный промежуток времени, произвести визуальную сравнительную оценку параметров двух двигателей и, таким образом, определить ТС двигателя, оценить его надежность с прогнозированием ресурса работы.

Применение наземной автоматизированной системы контроля позволяет перейти на ремонт и техническое обслуживание двигателя по состоянию и снизить эксплуатационные затраты.

Литература

1. Епифанов С.В., Кузнецов Б.И., Богаенко И.М. Синтез систем управления и диагностики газотурбинных двигателей. – К.: Техника, 1998. – 312 с.
2. Котенко П.С. Системы технического обслуживания и автоматизированного контроля летательных аппаратов: Учебное пособие. – Уфа: УГАТУ, 2000. – 212с.
3. Методы и средства диагностики газотурбинных двигателей: Сб. научн. тр. / Редкол.: Д.Ф. Симбирский и др. – Х.: ХАИ, 1989. – 176 с.

Поступила 1.06.2006

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Д.Ф. Симбирский, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.