

УДК 621.43

Е.В. ГЛАДКИХ, В.Ф. ХАЛИУЛЛИН, В.Е. ВОРОНКОВ

ОАО «Авиадвигатель», Пермь, Россия

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ГАЗОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ НАЗЕМНОГО ПРИМЕНЕНИЯ

Представлены алгоритмы параметрической диагностики газотурбинной установки наземного применения.

алгоритмы параметрической диагностики, газотурбинная установка наземного применения

К рассмотрению представляются алгоритмы параметрической диагностики, разработанные для автоматизированной системы диагностики (АСД) газотурбинных установок (ГТУ) наземного применения.

Целью работы является разработка АСД для ГТУ разработки ОАО «Авиадвигатель», г. Пермь, производящихся на Пермском моторном заводе.

Применение АСД позволит повысить эффективность эксплуатации ГТУ за счет перехода от «эксплуатации по ресурсу» к «эксплуатации по техническому состоянию».

Так, например, АСД, оценивая изменение совокупности параметров ГТУ, формирует сообщения оператору о текущем состоянии проточной части ГТУ, наличии тренда того или иного параметра, вероятные причины его возникновения и рекомендации о своевременном проведении регламентных или ремонтных работ.

В настоящее время основная масса эксплуатирующих организаций не имеет систем такого рода, что зачастую приводит к простоям газоперекачивающих агрегатов или энергоустановок при возникновении нештатных ситуаций, требующих экспертного заключения специалистов-разработчиков ГТУ.

Разработка АСД – сложная научно-техническая задача. В ходе разработки АСД необходимо:

- разработать идеологию экспертного анализа массива параметрической информации о состоянии ГТУ, поступающей из эксплуатации, в том числе с использованием математической модели ГТУ, разработанной на базе реальных характеристик эксплуатирующихся ГТУ и пригодной для использова-

ния при анализе состояния ГТУ;

- формализовать процедуру идентификации неисправностей ГТУ на основе результатов анализа;
- отработать логику локализации неисправностей ГТУ с точностью до конструктивно-функционального модуля.

Для обеспечения высокого технико-экономического уровня АСД при ее создании разработчики АСД поставили перед собой принципиальные задачи:

1. Алгоритмы работы АСД должны быть универсальными и после доводки базового варианта АСД могут быть настроены на характеристики любой ГТУ.
2. АСД должны использовать штатные датчики и сигнализаторы САУ ГТУ, что снимет необходимость установки дополнительного оборудования на ГТУ.
3. Программное обеспечение АСД может быть установлено на любую ПЭВМ, входящую в состав САУ ГТУ.

Основные функции АСД:

1. Сбор информации.
2. Обработка и регистрация в архивах параметров ГТУ.
3. Параметрический контроль технического состояния ГТУ.
4. Тренд-анализ и прогнозирование параметров ГТУ.
5. Учет и контроль наработок ГТУ.
6. Формирование сообщений и рекомендаций.

Для иллюстраций в докладе используются алгоритмы, настроенные на характеристики ГТУ-4П, разработанной на базе газотурбинного двигателя

Д-30ЭУ-2 производства ОАО «Авиадвигатель» и эксплуатирующейся в составе ГТЭС «Урал 4000».

В составе АСД алгоритмы реализуются в виде модульного программного обеспечения (ПО), состоящего из отдельных подпрограмм, объединенных решением единой задачи.

Подпрограмма № 1. Входные параметры АСД, получаемые от САУ ГТУ, проходят входной контроль путем сравнения с установленными предельно допустимыми значениями. Например, температура воздуха на входе в ГТУ при исправном канале измерения должна находиться в диапазоне от -65°C до $+70^{\circ}\text{C}$. Замеры, полученные по резервированным каналам измерения, после проведения входного контроля усредняются.

Подпрограмма № 2. Формируется признак работы двигателя: «Двигатель остановлен» или «Двигатель работает».

На работающем двигателе формируется признак «установившийся режим»: «0,5 номинала», «номинальный», «пиковый», «максимальный». В момент формирования сигнала «Двигатель работает» запускается счетчик учета общей наработки двигателя.

В момент формирования одного из признаков «установившегося режима»: запускается счетчик наработки с пометкой режима работы двигателя.

Подпрограмма № 3. Подпрограмма, осуществляющая приведение параметров, прошедших входной контроль, к МСА. В подпрограмме используются параметры, полученные на установившемся режиме работы.

Подпрограмма № 4. Параметры, используемые для оценки технического состояния ГТУ (частота вращения турбокомпрессора $n_{\text{тк}}$ и силовой турбины $n_{\text{ст}}$, температура газов за силовой турбиной $t_{\text{ст}}^*$, электрическая мощность генератора $P_{\text{ген}}$, параметры маслосистемы, замеры вибропараметров конструкции ГТУ) приводятся к режиму работы ГТУ методом интерполяции в зависимости от сформированного в подпрограмме № 2 признака режима работы двигателя.

Подпрограмма № 5. По параметрам, приведенным к режиму в подпрограмме № 4, проводится контроль технического состояния проточной части

двигателя. Контроль осуществляется путем расчета разницы между базовым значением параметра и его текущим режимным значением. Допустимое отклонение заложено в АСД в виде констант. Сравнивая текущее отклонение с константой, алгоритм формирует сообщение о текущем состоянии параметров. Например:

1. При наличии сигнала о включенном отборе воздуха на ПОС ВНА или собственные нужды, производится определение поправок на отборы воздуха:

$$\Delta P_{\text{ОВ}} = \Delta P_{\text{посвна}} + \Delta P_{\text{СН}},$$

где $\Delta P_{\text{посвна}}$ – поправка на отбор воздуха от компрессора ПОС ВНА двигателя;

$\Delta P_{\text{СН}}$ – поправка на отбор воздуха от компрессора на технологические нужды КС.

Величины поправок $\Delta P_{\text{посвна}}$, $\Delta P_{\text{СН}}$ рассчитаны и заложены в виде констант.

2. Определение базового значения параметра. Алгоритм выполняется для параметров $n_{\text{тк}}$, $t_{\text{ст}}^*$. Полученное базовое значение, в начале эксплуатации, параметра $P_{\text{баз}}$ сравнивается:

2.1. С максимальным и минимальным предельно-допустимыми значениями P_{min} и P_{max} , заложенными в виде констант, если условие $P_{\text{баз}} \leq P_{\text{min}}$ или $P_{\text{баз}} \geq P_{\text{max}}$ выполняется, то формируется сообщение о выходе базового значения за ПДЗ.

2.2. С формулярными значениями на номинальном режиме $\Delta P_{\text{min}}^{\phi}$, $\Delta P_{\text{max}}^{\phi}$ выполняется для параметров $n_{\text{тк}}^{\text{базн}}$, $t_{\text{ст}}^{*\text{базн}}$. Определение отклонения БЗ параметра от формулярного выполняется по формуле:

$$\Delta P^{\phi} = P_{\text{баз}} - P^{\phi},$$

где P^{ϕ} – формулярное значение параметра;

$P_{\text{баз}}$ – базовое значение параметра.

Если $\Delta P^{\phi} \leq \Delta P_{\text{min}}^{\phi}$ или $\Delta P^{\phi} \geq \Delta P_{\text{max}}^{\phi}$, то формируется сообщение о выходе отклонения БЗ от формулярного за ПДЗ.

Предельно-допустимые значения P_{min} , P_{max} , $\Delta P_{\text{min}}^{\phi}$, $\Delta P_{\text{max}}^{\phi}$ определены и заложены в АСД в виде констант.

3. Определение отклонения параметра от базового значения на контрольном режиме. Выполняется расчет отклонений текущих значений параметров от базовых по формуле:

$$\Delta P = P - P_{\text{баз.}}$$

4. Контроль величины отклонения параметра от базового значения. Полученное значение отклонения параметра ΔP сравнивается с величиной погрешности определения отклонений $\Delta P_{\text{погр}}$ и предельно-допустимым отклонением $\Delta P_{\text{min/max}}$ заложенных в виде констант. Если отклонение параметра находится в пределах погрешности определения отклонений $\Delta P_{\text{погр}}$, то данное отклонение параметра квалифицируется как отсутствие значимого изменения параметра. Если отклонение величины параметра выходит за границы погрешности, то данное отклонение параметра квалифицируется как изменение параметра. Если $\Delta P \leq \Delta P_{\text{min}}$ или $\Delta P \geq \Delta P_{\text{max}}$, то формируется сообщение о выходе отклонения параметра за ПДЗ. Сообщение содержит значение отклонения параметра, предельно-допустимую величину, с указанием единицы измерения, и соответствующие дату, время, значение наработки.

5. Частота выполнения алгоритма 1 Гц.

Подпрограмма № 6. Проводится контроль параметров маслосистемы. Приведенные параметры сравниваются с предельно-допустимыми значениями, и алгоритм формирует соответствующее сообщение. Подпрограмма выполняется аналогично подпрограмме № 5.

Подпрограмма № 7. Проводится контроль вибропараметров. Контроль осуществляется путем сравнения замера с предельно-допустимым значением.

Вышеописанные подпрограммы №№ 1 – 7 решают задачи оперативного контроля технического состояния ГТУ. **Это первый уровень задач, решаемых АСД.** В настоящий момент алгоритмы, реализующие эти задачи, разработаны, отлажены, оформлены в виде методик отдела диагностики ОАО «Авиадвигатель» и переданы для программирования разработчикам ПО.

Второй уровень задач, решаемых АСД – это задачи ретроспективного диагностирования, т.е. задачи сохранения событийных и периодических архивов, анализа сохраненной информации и прогнозирования на основе результатов анализа техни-

ческого состояния ГТУ, а именно: определение с заданной степенью вероятности временного интервала, в течение которого ГТУ сохраняет свои проектные характеристики, полученные в процессе приемо-сдаточных и пуско-наладочных работ, или временной интервал, в течение которого должны быть выполнены ремонтно-профилактические работы.

Алгоритм этого таков:

После накопления событийных и периодических архивов, содержащих результаты расчетов вышеописанных подпрограмм №№ 1 – 7, запускается задача анализа поведения параметров, которая сводится к поиску трендов параметров и, при их наличии, контролю угла наклона «трендовой» прямой.

Подпрограмма № 8. Записывает все параметры и сигналы в архив АСД. Сохранение информации осуществляется по принципу кольца. Параметры, полученные подпрограммой № 1, прореживаются до частоты выполнения подпрограмм № 5 – 7 – 1 Гц. Параметры, сигналы, результаты расчетов подпрограмм № 5 – 7 сохраняются в оперативных архивах с частотой 1 Гц. Оперативный архив заполняется в течении 3600 секунд непрерывной работы двигателя. 3600-ая запись сохраняется в постоянный архив и сохраняется в течении всего периода эксплуатации двигателя. 3601-ая запись заменяет 1-ую запись

Подпрограмма № 9. Проводит тренд-анализ «режимных» параметров, записанных в архив АСД. Для каждого параметра рассчитывается допустимый угол роста тренда. Работы второго этапа в настоящее время ведутся, но о результатах пока говорить рано – это тема следующего выступления.

В заключение хочется подчеркнуть, что внедрение в эксплуатацию АСД, разработанной для одного типа ГТУ, обеспечит ее безболезненную доводку и, в дальнейшем, послужит базой для ее унификации с целью применения на других типах ГТУ.

Поступило в редакцию 12.06.2006

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.В. Епифанов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.