

УДК 681.5

В.М. БОЙКО, В.А. СЕДРИСТЫЙ

ГП «Ивченко-Прогресс», Запорожье, Украина

**АНАЛИЗ ВИБРАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ
МАЛОРАЗМЕРНЫХ ГТД НА БАЗЕ ГАЗОГЕНЕРАТОРА ДВИГАТЕЛЯ АИ-450**

Рассмотрены технические средства контроля и диагностики газотурбинных двигателей, проведен анализ вибрационного состояния однокаскадного газогенератора.

газогенератор, модуль контроля роторных вибраций, коэффициент вибраций

**Введение
и постановка задачи**

Датчики и сигнализаторы, установленные на двигателе АИ-450, обеспечивают контроль его технического состояния бортовыми и наземными электронными средствами.

Электронный регулятор двигателя цифровой (РДЦ-450) принимает электрические сигналы с датчиков и сигнализаторов и преобразовывает их в цифровой код.

В РДЦ реализуются алгоритмы управления и контроля двигателя.

Также РДЦ получает из бортовых систем информацию о внешних условиях (давление и температура наружного воздуха, скорость, высота полета).

Результатом работы алгоритмов контроля РДЦ являются диагностические сообщения типа “событие” о выявленных отказах и неисправностях двигателя и его систем, которые передаются в бортовые системы для их визуализации и регистрации.

Одной из важнейших проблем при создании и доводке авиационных газотурбинных двигателей (ГТД) является снижение уровня вибрации [1, 2]. В зависимости от задачи, решаемой с помощью приборов или систем измерения и анализа вибрации, к ним предъявляются различные технические требования. Существующие технические средства разделены на несколько классов [1]:

а) *средства допускового контроля и аварийной защиты* (их обязательной функцией является измерение величины виброскорости или вибросмещения в стандартной полосе частот);

б) *индикаторы состояния объектов контроля;*

в) *средства вибрационного мониторинга* (основным назначением средств вибрационного мониторинга является обнаружение необратимых изменений вибрации оборудования и прогнозирование скорости их развития);

г) *средства вибрационной диагностики.* Наряду со стационарными системами широкое применение находят и портативные переносные системы мониторинга и диагностики, оснащенные экспертными или автоматическими диагностическими программами. В состав переносной системы входят портативный прибор (приборы) обеспечивающий изменение и анализ вибрации в тяжелых промышленных условиях, компьютер с программой мониторинга, содержащей базу данных и выполняющий ряд операций анализа сигналов и обработки результатов анализа, а также экспертная или автоматическая программа диагностики, обрабатывающая полученную диагностическую информацию;

д) *исследовательские приборы и системы.* Среди задач, стоящих перед вибрационным мониторингом и диагностикой стоят и такие, решение которых требует проведение специальных исследований, для которых может не хватить возможностей типовых

анализирующих приборов. Многие из таких приборов и систем строятся на базе виртуальных анализаторов, т.е. компьютеров с входными устройствами, поддерживающими различные виды измерительных приборов.

Анализ вибрационного состояния однокаскадного газогенератора АИ-450

Контроль вибрации двигателя АИ-450 на вертолете осуществляется модулем контроля роторных вибраций (модуль), который конструктивно входит в состав РДЦ, во всем диапазоне частот вращения роторов турбокомпрессора (ТК) и свободной турбины (СТ) двигателя.

Модуль имеет три канала измерения и осуществляет раздельный непрерывный контроль вибрации каждого из роторов методом следящего анализа с автоматической настройкой на измеряемую гармоническую составляющую по сигналам от датчиков частоты вращения ДТА-15, а также контроль обоих роторов в широкой полосе частот.

Модуль обеспечивает:

- контроль вибрации роторов ТК (канал ТК) и СТ (канал СТ) по первым роторным гармоникам с помощью узкополосных следящих фильтров;
- контроль вибрации роторов ТК и СТ (канал ТК+СТ) в полосе частот с помощью полосового фильтра в случае выхода из строя одного из датчиков частоты вибрации, переключение на контроль по этому каналу производится автоматически;
- автоматическую настройку на частоты контролируемых гармонических составляющих в каналах ТК и СТ;
- измерение амплитуды виброускорения в месте установки датчика вибрации;
- выдачу сигналов, пропорциональных уровню контролируемого виброускорения, в бортовые системы.

– выдачу сигналов на сигнальные табло ПО-ВЫШЕННАЯ ВИБРАЦИЯ, ОПАСНАЯ ВИБРАЦИЯ, ОТКАЗ ВИБРО.

Одним из обязательных контролируемых параметров является вибрация корпуса компрессора и турбины и значение коэффициента вибрации.

Модуль имеет встроенную систему контроля (ВСК) для проверки его работоспособности, а также исправности линий связи с датчиком вибрации и каждого из датчиков частоты вращения.

На стенде ГП «Ивченко-Прогресс» были проведены испытания однокаскадного газогенератора. В основном, газогенератор АИ-450 отличается от базового двигателя АИ-450 отсутствием свободной турбины, вала свободной турбины и набора шестерен для вывода мощности от вала свободной турбины.

Наружные корпусные детали, обвязка газогенератора и его крепление на испытательном стенде не отличаются от двигателя АИ-450.

При виброисследовании газогенератора АИ-450 датчики вибрации устанавливались в плоскости передней подвески в вертикальном, поперечно-горизонтальном и продольно-горизонтальном направлениях; в плоскости задней подвески в вертикальном направлении.

Выводы

Был проведен анализ вибрационного состояния однокаскадного газогенератора АИ-450.

В результате проведенных испытаний было установлено следующее:

1. Вибрационные характеристики газогенератора с соплами и без сопла имеют повышение амплитуды вибрации в плоскости передней подвески на частотах вращения:

$$n_{\text{ТК}} = (42000 \pm 1500) \text{ об/мин.}$$

$$n_{\text{ТК}} = (48000 \pm 1000) \text{ об/мин.}$$

в плоскости задней подвески на частотах вращения

$$n_{\text{тк}} = (45000 \pm 1500) \text{ об/мин,}$$

$$n_{\text{тк}} = (49000 \pm 1500) \text{ об/мин.}$$

Однако эти повышения амплитуд вибрации не стабильны по частотам вращения.

2. Вибрации газогенератора на установившихся частотах вращения не стабильны. Самопроизвольно повышаются с $k = 7,5$ до $k = 30$ в плоскости передней подвески и с $k = 1$ до $k = 6$ в плоскости передней подвески. Вибрации газогенератора самопроизвольно понижаются с $k = 18$ до $k = 5$ в плоскости задней подвески и с $k = 10$ до $k = 1,5$ в плоскости передней подвески.

3. Заклинивание упругого кольца в передней опоре газогенератора ухудшает вибрационное состояние газогенератора и приводит к возрастанию вибраций в плоскости передней подвески.

4. Постановка в передней опоре газогенератора кольца (масляного демпфера) приводит к повышению амплитуды вибрации на частотах вращения в плоскости передней подвески в направлении (Z), $n_{\text{тк}} = 45500$ об/мин, в направлении (Y), $n_{\text{тк}} = 48500$ об/мин с увеличением вибрации до $k = 20$.

5. При постановке усиленной втулки стяжной с хвостовиком и моментом затяжки $M = 27...32$ кгс·м до частот вращения $n_{\text{тк}} = 51500$ об/мин вибрации газогенератора не превышали в плоскости передней подвески $k = 2,5$, в плоскости задней подвески $k = 5$. На частоте вращения $n_{\text{тк}} = 52600$ об/мин вибрации повысились в плоскости передней подвески до $k = 5$, в плоскости задней подвески до $k > 35$.

6. При постановке в переднюю опору газогенератора упругого кольца в корпус опор турбин упруго-масляного демпфера и стяжки втулки стяжной

моментом $M = 27...32$ кгс·м максимальные вибрации с соплом 1,2 ном во всем диапазоне рабочих частот вращения до вращения $n_{\text{тк}} = 52380$ об/мин не превышали в плоскости передней подвески $k = 2$, в плоскости задней подвески $k = 3,5$.

7. В центробежном компрессоре лопатки диффузора являются мощным источником возбуждения рабочего колеса. Возбуждение генерируется полем статического давления направляющего аппарата.

При сверхзвуковом обтекании лопаток направляющего аппарата скачки уплотнения достигают рабочего колеса, вызывая сильное импульсное возбуждение, богатое гармониками. При этом основной составляющей возбуждения выступает первая роторная гармоника, однако наибольший уровень возбуждения может реализоваться на более высоких гармониках.

В результате проведенных испытаний, было установлено, что вибрационное состояние газогенератора двигателя АИ-450 позволяет проводить стендовые испытания по исследованию и доводке параметров газогенератора.

Литература

1. Клюев В.В. Неразрушающий контроль. – М.: Машиностроение, 2006. – 829 с.
2. Т/о № 160/2003-450-ГО1. Анализ вибрационного состояния однокаскадного газогенератора АИ-450-ГО1. – 2003. – С. 149.

Поступила в редакцию 28.05.2007

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