

свою очередь, информационный импульс формируется на основе принятого отраженного от контролируемой поверхности цилиндра светового потока. Тангенс угла α количественно характеризует величину производной в конкретной точке внутренней поверхности цилиндра. Для примера на рисунке 16 приведены графики полуокружности ($R=5$) и её производной.

Сравнивая изменение производной линии профиля конкретного сечения, можно судить о его отклонении от цилиндричности. Перемещая оптическую насадку по высоте цилиндра и получая набор реальных профилей, можно составлять 3D картину реального состояния поверхности цилиндра.

Список использованных источников

1. Патент на изобретение 2548939 Российская Федерация, МПК G01B 21/22 Способ определения угловых положений поверхности объекта и устройство для его осуществления. Данилин А.И., Данилин С.А., Грецов А.А., заявитель и патентообладатель Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. акад. С.П. Королёва (СГАУ). Заявл. 20.01.2005, опубл. 20.04.2015, бюл. № 11.

УДК 629.7.03:658.583

ПЕРЕДАТОЧНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СВЧ ВИБРОДАТЧИКА ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Ф.Н. Мирсаитов, В.В. Болознев

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева (КНИТУ – КАИ), г. Казань

В работе приводится принцип работы СВЧ датчика вибраций лопаток при ближнем радиолокационном зондировании лопаток турбины газотурбинного двигателя. В работе также установлены диагностические возможности радиолокационного метода.

Ключевые слова: турбина, лопатка, виброспектр, диагностический отклик.

Объектом контроля являются лопатки компрессора высокого давления, соплового аппарата и турбины газотурбинного авиационного двигателя. Общее число лопаток в газотурбинном двигателе достигает нескольких сотен, и десятка типоразмеров по числу дисков. Каждая из них подвержена различным типам колебаний (крутильным, изгибным) разных форм и обладает несколькими резонансными частотами.

Поэтому эксплуатационная (полетная) диагностика вибраций представляет весьма громоздкую задачу. Близкими по методам решения являются еще две задачи диагностики: повреждение и обледенение лопаток.

Названный датчик (Вибродатчик, ВД) представляет собой антенно-генераторный модуль, конструкция которого близка к датчикам [1,2]. Он устанавливается на стенке авиационного двигателя в непосредственной близости антенны датчика к контролируемому объекту, например, вблизи рабочего колеса турбины. Антенна не выступающая, что обеспечивает не возмущающий и оперативный контроль.

Принцип работы. В рабочем режиме газотурбинного двигателя лопатки турбины последовательно проходят рядом с антенной, возмущая электромагнитное поле в ближней зоне и, как следствие, изменяя проводимость антенны. Ранее [1,2] экспериментально установлено, что квазистатическое расположение и даже ориентация лопатки вызывает заметный отклик датчика, формируя помеху. В номинальном режиме вращению турбины соответствует огибающая спектра отклика, на форму которой в той или иной мере влияют виброперемещение всех лопаток и вала. Изменение этой формы есть предвестник аномального режима, и проявляется оно с недостижимой другими методами оперативностью. Преимущество перед известными методами СВЧ виброконтроля в отсутствии большеразмерной направленной антенны.

Конечным результатом предпринятого исследования мыслится установление причин аномалии в спектре каждого из дисков, а само исследование сопряжено с выделением искомого спектра из многочисленных помех.

Цель данной работы – выявление количественной взаимосвязи между перемещением (регулярным и вибрационным) отдельной лопатки в зоне излучения антенны с комплексной проводимостью последней, а затем с частотным откликом датчика. Варьируемыми параметрами служат размеры антенны (радиус и ширина кольцевой щели), ее расстояние от плоскости турбины и зондирующая (рабочая) частота.

Измерительное преобразование включает операции: виброперемещение $\vartheta \rightarrow$ комплексная проводимость антенны $\dot{y}_A = (g_A + jb_A) \rightarrow$ коэффициент отражения от антенны $\dot{\Gamma}_A = |\Gamma_A| \exp(j\eta_A) \rightarrow$ автодинный эффект в виде приращения зондирующей частоты ω .

Виброотклик датчика:

$$d\omega = \left[\frac{dy_A}{d\vartheta} \frac{d\dot{\Gamma}_A}{dy_A} \frac{d\omega}{d\dot{\Gamma}_A} \right] \delta\vartheta \approx \left[\frac{db_A}{d\vartheta} \frac{d\eta_A}{db_A} \frac{d\omega}{d\eta_A} \right] \delta\vartheta = F(b_A, \eta_A, \omega) d\vartheta$$

Существенную новизну переходной характеристики $F(b_A, \eta_A, \omega)$ имеет ее первый этап. Его математическую основу составляет программа

проектирования СВЧ систем ФЕКО. Здесь существенны тип и форма виброперемещения.

Два остальных этапа имеют аналоги в ближней радиолокации, допускают строгий математический анализ и, в частности, найдены в работах коллег [2,3].

$$\frac{d\eta}{db_A} = \frac{1}{1+\Phi^2} \frac{d\Phi}{db_A},$$
$$\frac{d\omega}{d\eta} = -\Pi \cos \eta_0 d\eta,$$

где $\Phi = 2g_A b_A (g^2 - b_A^2)^{-1}$, g – проводимость отрезка коаксиала, связывающая антенну с генератором, Π – полоса автодинного отклика, η_0 – фаза отражения в рабочей точке, $\eta \sim (18^\circ \dots 20^\circ)$.

При упомянутом расположении датчика на стенке авиационного двигателя в плоскости одного из дисков компрессора или турбины спектр измерительного сигнала содержит два регулярных компонента: частоту вращения вала F_B и кратную ей $F_B = m_L F_B$, где m_L – число лопаток. Вибрация лопатки(ок) обогащает спектр. Сам факт не позволяет установить конкретную причину и конкретную «виновницу» – лопатку, но служит предупреждением экипажу воздушного судна и поводом для стендовой проверки по окончании полета.

Список использованных источников

1. Сафонова Е.В. Теплостойкие СВЧ датчики систем контроля режимов горения: Дис. канд. техн. наук.: 05.11.13. – Казань, 2003. – 183 с.
2. Станченков М.А. СВЧ датчик плотности теплового потока: Дис. канд. техн. наук.: 05.11.13. – Казань, 2012. – 175 с.
3. Болознев В.В., Сафонова Е.В., Султанов Ф.И., Станченков М.А., Мирсаитов Ф.Н., Сулейманов С.С. Способ контроля режима ТЭУ и датчик для его осуществления // Патент России № 2374559. 2009. БИ №33.

УДК 620.179.18

ОБЗОР МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МИКРОНЕРОВНОСТЕЙ ПОВЕРХНОСТИ

Р.Ю. Лефаров, С.А. Данилин
Самарский университет, г. Самара.

В настоящее время существует необходимость разработки высокотехнологичных изделий для ведущих отраслей промышленности,