

способа определения углового положения поверхности объектов. В процессе работы над конкретными реализациями, выяснилось, что ДФПП, реализующий представленный способ обладает таким недостатком, как узкий динамический диапазон измеряемых угловых положений контролируемой поверхности. Поэтому была поставлена и решена задача увеличения динамического диапазона измеряемых угловых положений контролируемых поверхностей. ДФПП с увеличенным динамическим диапазоном, реализующий предлагаемый способ определения угловых положений поверхности объекта рис.1а содержит светопроводящую систему 1 выполненную из двух световодов, одни из концов которых объединены в U-образную систему, а вторые образуют пространственно-цилиндрический приемно-передающий коллектор (рис. 1б), один из световодов U-образной системы подключен к источнику 2 излучения и служит для ввода излучения в светопроводящую систему 1, фотоприемник 3, вход которого соединен со вторым световодом U-образной системы, служащим для вывода информационного светового потока, оптическую насадку 4, световоды 5, 6 оптической насадки, установленные диаметрально и соосно в оптической насадке, электродвигатель 7, ось которого соединена с осью оптической насадки 4, опорные метки 8, 9, установленные диаметрально в корпусе оптической насадки 4, импульсный датчик опорного сигнала 10, компаратор 11, один из входов которого подключен к выходу

фотоприемника 3, а второй вход соединен с одним из выходов формирователя 12 уровней компарирования, компаратор 13, один из входов которого подключен к выходу импульсного датчика опорного сигнала 10, а второй вход соединен со вторым выходом формирователя 12 уровней компарирования, блоки 14, 15 выделения средин электрических импульсов, подключенных соответственно к выходам компараторов 11, 13, блок 16 регистрации временных интервалов, входы которого соединены соответственно с выходами блоков 14, 15 выделения средин электрических импульсов, выход блока 16 регистрации временных интервалов является выходом устройства.

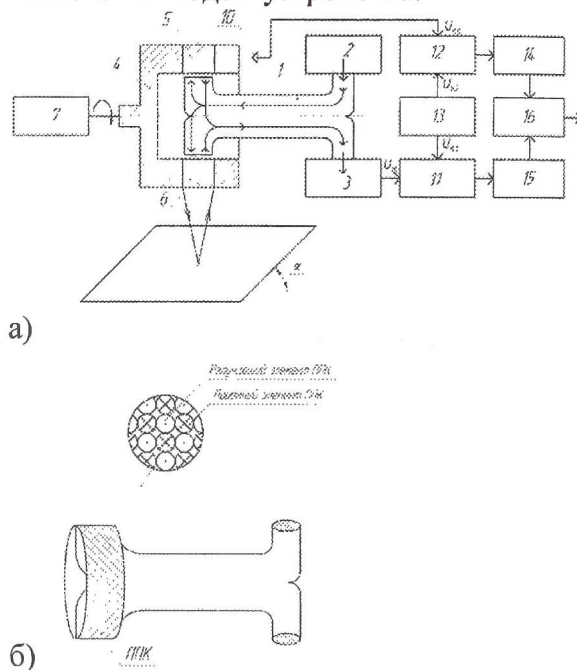


Рис. 1 – Структурная схема ДФПП с увеличенным динамическим диапазоном для бесконтактного определения профиля поверхностей изделий машиностроения

УДК 531.781.2(088.8)

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ КОЛЕБАНИЙ ЛОПАТОК ТУРБОАГРЕГАТОВ НА ОСНОВЕ НЕЛИНЕЙНОЙ АППРОКСИМАЦИИ СИГНАЛОВ ПЕРВИЧНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

© 2012 А.И.Данилин, А.Ж.Чернявский, С.А.Данилин

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева (национальный исследовательский университет), Самара

THE DEVICE FOR THE DETERMINATION OF BLADES OSCILLATION

PARAMETERS BASED ON NONLINEAR APPROXIMATION OF PRIMARY TRANSDUCERS SIGNALS

© 2012 A.I.Danilin, A.Zh.Chernyavskiy, S.A.Danilin

New method for the determination of blades oscillation parameters is proposed. The approach is based on the analysis of primary transducers signals distortions using nonlinear approximation techniques. The system for the determination of blades oscillation parameters with front-end processing module and succeeding processing on PC is described.

Обеспечение высокой надежности газотурбинных двигателей и паровых турбин, увеличение их эксплуатационного ресурса имеют приоритетное значение и обуславливают необходимость разработки и применения эффективных автоматизированных средств диагностики и контроля состояния турбоагрегатов.

Наиболее нагруженными деталями турбомашин являются лопатки, поэтому диагностика их состояния является актуальной задачей.

Как свидетельствует статистика, несмотря на принимаемые меры, имеют место аварийные ситуации, связанные с поломкой лопаток. Так, по данным Самарского конструкторского бюро машиностроения за период эксплуатации в 1995-2000 годах двигателей НК-12СТ по причине разрушения лопаток 1-ой ступени компрессора досрочно сняты с эксплуатации на ГКС 25 двигателей. Недоработка ресурса за 5 лет составила 870766 часов (средняя недоработка ресурса за 1 год - 174153 часа). По данным технической службы российской грузовой авиакомпании «ВОЛГА-ДНЕПР» за период эксплуатации в 1991 – 2006 г.г. девяти серийных машин Ан-124 с двигателями Д-18Т зафиксировано 43 случая разрушения двигателей, причем 23 случая - по причине повреждения или разрушения лопаток, т.е. 53% от всех причин выхода из строя двигателей связано

с надежностью лопаточного аппарата.

Известны различные способы диагностики состояния лопаток, например описанные в [1]. В последние годы предложены и другие системы для диагностики состояния лопаток [2]. Эти способы диагностики лопаток опираются на использование дискретно-фазового

метода (ДФМ), при использовании которого параметры колебаний лопаток определяются на основе анализа временных интервалов прохождения лопаток около одного или нескольких первичных преобразователей. Изменение параметров колебаний лопатки является диагностическим признаком.

Для целей диагностики и определения параметров колебаний лопаток могут применяться различные виды первичных преобразователей – индукционные, вихрековые, емкостные, опто-электронные, СВЧ и другие. Прохождение лопатки около первичного преобразователя вызывает генерацию соответствующего сигнала на выходе.

Традиционные реализации ДФМ опираются на анализ временных интервалов между импульсами, соответствующими прохождению лопаток. С другой стороны, колебательный характер движения лопатки и неравномерность мгновенной скорости лопатки приводят к искажению формы генерируемого импульса. По степени искажений генерируемого импульса возможно определить параметры колебаний лопатки.

Пусть, например, первичный преобразователь при прохождении лопатки генерирует импульс колоколообразной формы, который может быть описан выражением для гауссова импульса:

$$s(y) = \exp\left(-\frac{y^2}{2a_y^2}\right)$$

(1), где y – перемещение лопатки, a_y – параметр гауссова импульса.

Предположим, что лопатка колеблется по синусоидальному закону. Тогда перемещение лопатки будет иметь

две составляющие – вращательную и колебательную и определится как $y(t) = R\omega_c t + A\sin(\omega_n t + \varphi)$

(2), где R - радиус колеса, ω_c - угловая частота вращения колеса, ω_n и φ - угловые частота и начальная фаза колебаний лопатки. В этом случае выходной сигнал определится как:

$$s(t) = \exp\left(-\frac{1}{2a_t^2} \cdot \left(t + \frac{A}{R\omega_c} \sin(\omega_n t + \varphi)\right)^2\right)$$

(3).

Для нахождения параметров колебаний лопатки – A , ω_n , φ – необходимо решить систему не менее 3-х уравнений. Попытки решить систему уравнений аналитически успехом не увенчались, численное решение средствами MATLAB также не удалось найти, поэтому для нахождения параметров колебаний лопатки авторами предложено использовались методы нелинейной аппроксимации.

Нелинейные аппроксимации для нахождения параметров целевой функции (3) выполнялись в MATLAB методом доверительных областей, который позволяет задать ограничения на значения параметров модели. Применение методов нелинейной аппроксимации позволило правильно найти параметры движения лопатки при различных комбинациях амплитуд, частот и начальных фаз.

Авторами предложено устройство определения параметров колебаний лопаток турбоагрегатов на основе анализа искажений сигнала первичного преобразователя.

Устройство состоит из блока предварительной обработки сигналов и подключенного к нему персонального компьютера (ПК) с соответствующей программой обработки.

Блок предварительной обработки сигналов выполнен на основе микроконвертера ADUC841 фирмы AnalogDevices и выполняет функции обработки сигнала первичных преобразователей – усиление, низкочастотную фильтрацию,

аналого-цифровое преобразование, определение частоты вращения лопаточного колеса.

Микроконвертер ADUC841 представляет собой полностью интегрированную однокристалльную систему сбора данных с высокоскоростным ядром, имеющую встроенные 12-ти разрядные АЦП и ЦАП высокого быстродействия и возможность адресации памяти размером до 16 МБ.

Данные после предварительной обработки поступают по интерфейсу RS-485 на ПК для обработки. На ПК специально разработанная в MATLAB программа принимает полученные данные, и используя методы нелинейной аппроксимации, выполняет анализ сигнала и определение параметров колебаний.

Выводы:

1. Применение методов нелинейной аппроксимации для анализа изменений формы сигнала первичного преобразователя позволяет непосредственно определить параметры колебаний лопатки - амплитуду, частоту и начальную фазу.

2. Предложенное авторами устройство позволяет произвести предварительную обработку сигналов первичных преобразователей, передать данные на ПК, определить на ПК параметры колебаний лопатки методами нелинейной аппроксимации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Заблоцкий И.Е., Коростелев Ю.А., Шипов Р.А. Бесконтактные измерения колебаний лопаток турбомашин. - М.: Машиностроение, 1977.- 160 с.

Данилин А. И., Адамов С. И., Чернявский А. Ж. Диагностика и контроль рабочего состояния лопаток паровых турбин, Электрические станции, 2007 г., №7, с.19-25.