

УДК 531.781.2(088.8)

**СТРУКТУРНАЯ СХЕМА УСТРОЙСТВА ДЛЯ  
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ПРОВЕРКИ АЛГОРИТМА  
НЕЛИНЕЙНОЙ АППРОКСИМАЦИИ СИГНАЛОВ ПЕРВИЧНЫХ  
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ**

А.Ж. Чернявский, С.А. Данилин

г. Самара, «Самарский национальный исследовательский университет  
имени академика С.П. Королёва»

Обеспечение высокой эксплуатационной надежности энергоагрегатов, в частности газотурбинных двигателей (ГТД), является важной проблемой современного машиностроения. Наиболее ответственными деталями ГТД являются лопатки компрессора и турбины, работающие в сложных эксплуатационных условиях больших знакопеременных нагрузок, высоких температур, эрозионных и коррозионных воздействий.

В настоящее время контроль технического состояния лопаток производится в основном эндоскопическими методами на остановленной турбомашине, что требует высокой квалификации персонала и является трудоемкой и дорогой технологической операцией.

Тем не менее, несмотря на принимаемые меры, в эксплуатации возникают аварийные ситуации, связанные с поломкой лопаток. По различным данным, от 42 до 65 процентов аварийных ситуаций на эксплуатируемых турбомашин связаны с неисправностями лопаток.

Существуют различные методы и средства диагностики и контроля деформационного состояния лопаток [1] для эксплуатируемых турбомашин. Среди этих методов выделяется дискретно-фазовый метод (ДФМ), позволяющий определять индивидуальное деформационное состояние каждой лопатки в лопаточном колесе.

Авторами предложена новая реализация ДФМ [2], при которой техническое состояние контролируемой лопатки оценивается по степени различия формы импульсов первичного преобразователя (ПП), формируемых динамически нагруженной (колеблющейся) и ненагруженной лопатками. Колебания лопаток, как собственные, так и вынужденные, приводят к неравномерности скорости прохождения лопаток около датчика, что приводит к искажению формы информационного сигнала.

Пусть, например, импульсный ПП генерирует импульс колоколообразной формы при прохождении ненагруженной лопатки в зоне его видимости, который может быть описан выражением для гауссова импульса [2]:

$$s_g(t)^* = A_g \exp\left(-\frac{1}{2a_t^2} \cdot t^2\right), \text{ где } A_g - \text{нормированное значение}$$

амплитуды гауссова сигнала;  $a_t = \frac{a_y}{R\omega_\kappa}$  – параметр гауссова импульса, имеющий размерность времени;  $a_y$  – параметр гауссова импульса;  $R$  – радиус лопаточного колеса;  $\omega_\kappa$  – угловая частота вращения лопаточного колеса.

Если лопатка колеблется по синусоидальному закону, то гауссовый выходной сигнал СВЧ или вихретокового ПП при наличии колебаний согласно [2] может быть записан в виде:

$$s_g(t) = A_g \exp\left(-\frac{1}{2a_t^2} \cdot \left(t + \frac{A}{R\omega_\kappa} \sin(\omega_\lambda t + \varphi)\right)^2\right), \text{ где } a_t -$$

параметр гауссова импульса, имеющий размерность времени;  $A$ ,  $\omega_\lambda$  и  $\varphi$  – амплитуда, угловая частота и начальная фаза колебаний лопатки. Временные диаграммы информационных сигналов ПП, вызванных неподвижной и колеблющейся лопатками, приведены в [2, 3].

В соответствии с предложенным способом, определение параметров колебаний лопатки производится с помощью методов нелинейной аппроксимации, позволяющих путем обработки отсчетов искаженного информационного сигнала ПП определить параметры  $A$ ,  $\omega_\lambda$  и  $\varphi$  аппроксимирующей функции, описывающей колебательное движение лопатки.

Алгоритм определения параметров динамических перемещений лопаток на основе нелинейной аппроксимации сигналов первичных преобразователей подробно изложен в [3].

Для экспериментальной проверки алгоритма нелинейной аппроксимации сигналов первичных преобразователей авторами предложена структурная схема (рис.1). Экспериментальное устройство состоит из блока предварительной обработки сигналов и подключенного к нему персонального компьютера (ПК) с программой обработки. Блок предварительной обработки сигналов выполнен на основе микроконтроллера C8051F060 фирмы Silicon Laboratories и выполняет функции обработки сигналов ПП – усиление, низкочастотную фильтрацию, аналого-цифровое преобразование, первичную цифровую обработку. Микроконтроллер C8051F060 представляет собой интегрированную однокристалльную систему сбора данных с высокоскоростным ядром (25

MIPS). Отличительной особенностью указанного микроконтроллера является наличие двух встроенных 16-ти битных АЦП высокого быстродействия (частота преобразования 1 МГц).

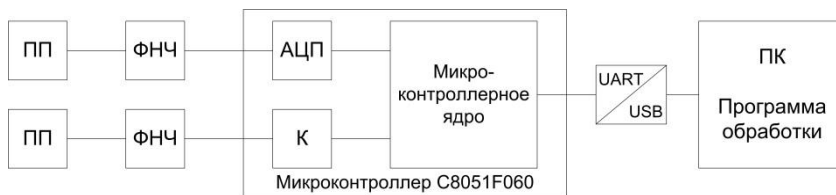


Рисунок 1 - Структурная схема устройства

Цифровые данные, полученные путем А/Ц преобразования сигналов ПП, после предварительной обработки поступают по интерфейсу USB на ПК для дальнейшей обработки. На ПК специально разработанная в MATLAB программа принимает полученные данные и, используя методы нелинейной аппроксимации, выполняет требуемые расчеты и определяет параметры колебаний лопатки.

#### 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 использованных источников

1. Данилин А.И. Бесконтактные измерения деформационных параметров лопаток в системах контроля и управления турбоагрегатами. Самара: Изд-во Самарского научного центра РАН. 2008. 218 с.

2. Домрачев В.Г., Гречишников В.М., Чернявский А.Ж., Данилин А.И. Определение параметров колебаний лопаток турбоагрегатов на основе нелинейной аппроксимации сигналов первичных преобразователей // Измерительная техника. 2013. № 11. С. 29-32.

3. Чернявский А.Ж., Данилин С.А. Алгоритм определения параметров колебаний лопаток турбоагрегатов на основе нелинейной аппроксимации сигналов первичных преобразователей // Актуальные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций. Материалы Всероссийской научно-технической конференции. Самара: СГАУ. Под. ред. А.И. Данилина. 2015. С. 45-47.