

УДК 621.45.01

О.П. САВЕЛЬЕВ, О.Д. ДЕГТЯРЁВ, М.М. КУДИН

Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского "ХАИ", Украина

МИКРОПРОЦЕССОРНОЕ УСТРОЙСТВО С ОГРАНИЧЕННЫМ ИНФОРМАЦИОННЫМ ПОТОКОМ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ РАБОЧЕГО КОЛЕСА ТУРБОМАШИНЫ

Разработано микропроцессорное устройство диагностики лопаточных венцов рабочих колес турбомашин. Оно усредняет в реальном времени ансамбль реализаций сигнала неподвижных датчиков. Участвует в обработке не весь сигнал, а только наиболее информативная его часть. Это на порядок уменьшает информационный поток, упрощает обработку и интерпретацию сигнала.

газотурбинный двигатель, диагностическое устройство, интегральный датчик давления, СВЧ тахометр, микропроцессорное устройство, гистограмма

Введение

Измерительные системы, использующие малоинерционные неподвижные датчики для диагностики рабочих лопаток турбомашин имеют существенные преимущества. Такие системы способны следить за величиной радиального зазора над рабочими лопатками, абразивным износом пера лопатки, повреждениями посторонними предметами, технологическими отклонениями в геометрии лопаток. Известны системы, определяющие состояние проточной части по сигналам нестационарного давления на стенке статора, ее вибрации [1], исследованы возможности использования отраженного СВЧ излучения. Широкое применение этих средств диагностики в производстве и при эксплуатации турбомашин сдерживает сложность и дороговизна электронной системы сбора и обработки информации.

Формулирование проблемы

Принцип работы подобной системы заключается в том, что рабочая лопатка, перемещаясь относительно неподвижного датчика, генерирует сигнал, содержащий индивидуальные особенности лопатки (рис. 1). Информация, заключающая эти индивидуальные особенности, приходит с частотой следова-

ния рабочих лопаток. Но в сигнале есть и более высокочастотные составляющие. Обычно их тоже записывают. С другой стороны, различия, вносимые отдельными лопатками малы по сравнению со средней амплитудой пульсаций.

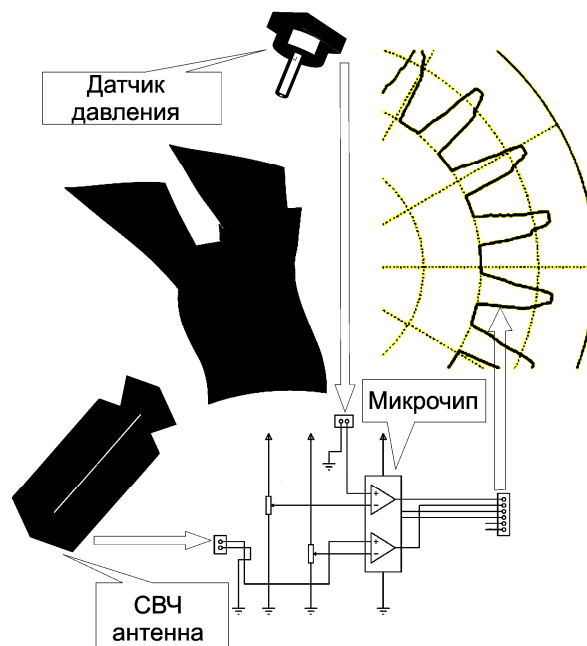


Рис. 1. Схема измерительной системы

Это вынуждает увеличивать частоту дискретизации сигнала и уменьшать шаг квантования. Информационный поток при этом растет, что усложняет аппаратные средства и обработку сигнала. Значительная часть этой информации является избыточ-

ной, так как датчики обладают инерцией и выдают сигнал с большой корреляцией соседних значений. Целью данной работы была разработка и испытание микропроцессорного измерительного устройства на основе способа [2], применение которого сокращает информационный поток и упрощает статистическую обработку полученной информации.

Решение проблемы

Диагностическое устройство. Для получения диагностического сигнала были использованы два источника сигнала – интегральный датчик давления МРХV5004G фирмы Motorola, установленный на стенке статора над рабочим колесом компрессорной ступени и СВЧ тахометр, антенна которого была направлена на рабочие лопадки (см. рис. 1). Для статистической обработки показаний датчиков было применено усреднение по ансамблю реализаций с фазовой синхронизацией.

Устройство фазовой синхронизации генерирует импульс один раз за оборот ротора и равномерно расставляет на периоде одного оборота 4096 измерительных точек (импульсов синхронизации). В соответствии со способом [2], для аналого-цифрового преобразования применены компараторы. Пара компараторов – стандартное периферийное устройство 8-ми битных микропроцессоров. В данной работе применен микропроцессор PIC16F628 фирмы Microchip.

Выходные сигналы компараторов (0 или 1) записываются по приходу каждого импульса синхронизации в отдельные ячейки буферной памяти. Одна измерительная точка занимает 1 байт буферной памяти. В ней накапливается информация о результатах сравнения измеряемого и эталонного уровня сигнала за 128 оборотов ротора. Эталонный уровень выбирается таким, чтобы в зону сравнения не попадали малоинформативные детали сигнала датчика (например, вызванные отражением звуковых или СВЧ волн от следующего за рабочим колесом направляющего аппарата). Фрагменты результатов обработки системой

тестовых прямоугольных импульсов и реального сигнала СВЧ показаны на рис. 2, 3.

Здесь и далее по оси ординат отложена сумма показаний компаратора в измерительной точке, а по оси абсцисс – ее номер.

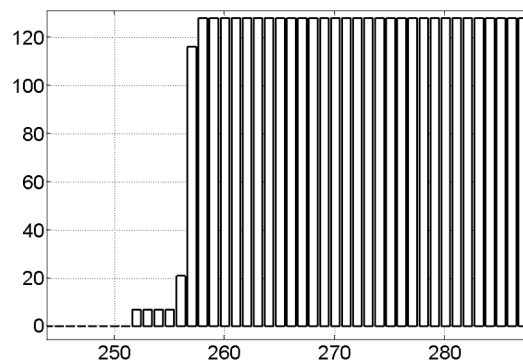


Рис. 2. Фрагмент результата обработки тестового сигнала (фронт прямоугольного импульса)

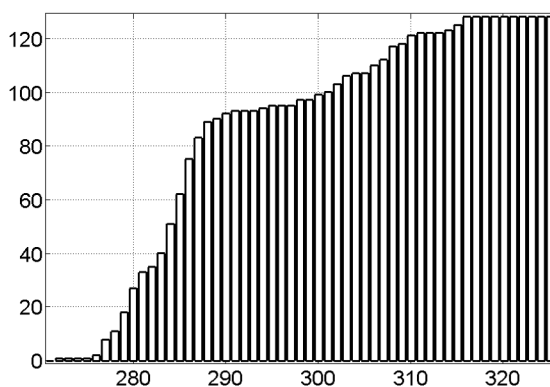


Рис. 3. Фрагмент результата обработки отраженного СВЧ сигнала

Результаты испытания. Микропроцессорное устройство было опробовано на стенде для испытания осевых компрессорных ступеней. Испытания произведены на двух режимах работы ступени С-12 – при максимальном расходе воздуха и вблизи границы устойчивой работы. По внешнему виду полученных распределений можно судить о наличии и условиях работы вращающихся лопаток. На рис. 4 представлен фрагмент трех распределений полученных из СВЧ сигнала на режиме максимального расхода воздуха через ступень компрессора. Как видно из рисунка каждая лопатка дает отличающуюся гистограмму, а разброс показаний при разных измере-

ниях невелик. Такие же фрагменты для распределенных давлений показаны на рис. 5.

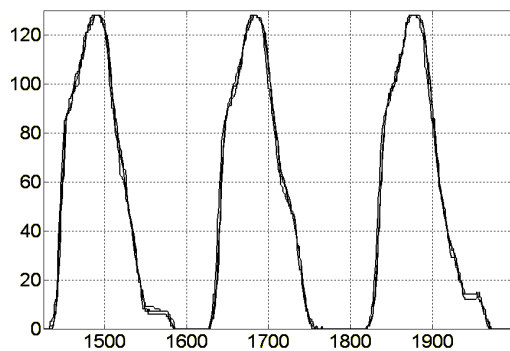


Рис. 4. Фрагменты результатов обработки отраженного СВЧ сигнала

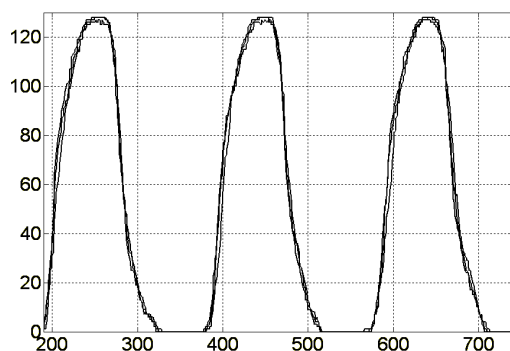


Рис. 5. Фрагменты результатов обработки сигнала давления

При приближении к границе устойчивых режимов аэродинамическая нагрузка рабочих лопаток увеличивается, что приводит к увеличению различий гистограмм отдельных лопаток.

С другой стороны, здесь развиваются нестационарные явления в обтекании лопаток, что приводит к «размыванию» гистограмм (рис. 6).

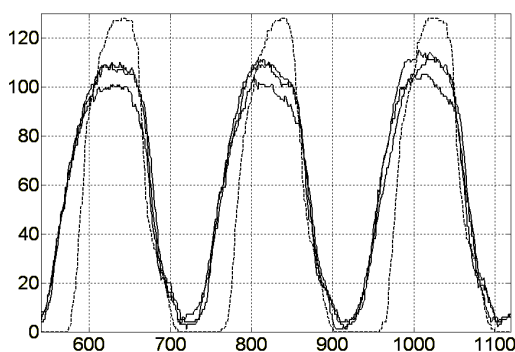


Рис. 6. Фрагменты результатов обработки сигнала давления при приближении к границе устойчивых режимов работы

В отличие от сигнала давления отраженный от лопаток СВЧ сигнал несет информацию только о перемещении лопаток. Однако и здесь заметны характерные различия для разных режимов работы (рис. 7).

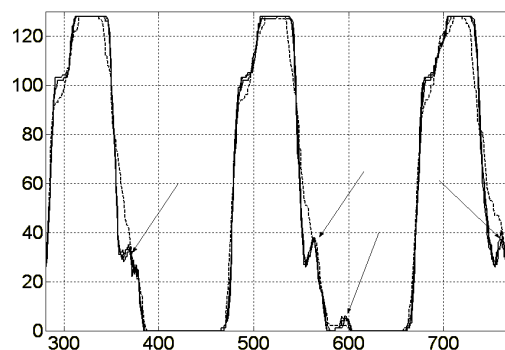


Рис. 7. Фрагменты результатов обработки отраженного СВЧ сигнала при приближении к границе устойчивых режимов работы

Заключение

Разработанное микропроцессорное устройство позволяет в реальном времени (цикл анализа длится 128 оборотов ротора) контролировать состояние и режим работы вращающихся лопаток турбомшины. Малый информационный поток в нем допускает применение недорогих и удобных в использовании 8-ми битных микропроцессоров.

Литература

1. Мафиудакис, Лукис, Папаиллиу. Вибрации корпуса и условия работы газовых турбин // Современное машиностроение. Сер.А. Энергетические машины и установки. – 1991. – № 3. – С. 67 – 74.
2. А.С. 1528039 СССР, МКИ F 04 D 27/2. Способ измерения периодических неравномерностей давления в межлопаточных каналах турбомашин / М.М. Кудин, А.С. Хоменко (СССР). – № 4318361.25-06; Заявлено 20.10.87; Опубл. 8.08.1989. – 6 с.

Поступила в редакцию 25.05.2005

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.П. Герасименко, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского "ХАИ", Харьков.