

ВИРТУАЛЬНЫЙ ИМИТАТОР ДАТЧИКА ПОЛОЖЕНИЯ РОТОРА ДЛЯ ЗАПУСКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПИРОМЕТРОМ И ОРГАНИЗАЦИИ СИНХРОНИЗАЦИИ СИГНАЛОВ

Н.В. Алиходжина (ФГУП «ЦИАМ им. П. И. Баранова»)

В.С. Фланден (ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ»)

Для решения задач по оценке теплового состояния наиболее нагруженных деталей авиационных двигателей во время их доводки и эксплуатации используют оптические пирометры. Во время испытаний не всегда возможно внести изменения в конструкцию объекта, связанные с особенностью измерительных систем. Такие ситуации приводят к получению недостоверных данных. Для решения проблемы разработан виртуальный имитатор датчика положения ротора, взаимодействующий с многоканальным оптическим пирометром, измеряющим поверхностные температуры.

Ключевые слова: многоканальный пирометр, датчик положения ротора, измерительная система, имитатор.

Измерение полей температуры лопаток турбины при доводке и эксплуатации турбореактивного двигателя является актуальной задачей. Для этих целей используются различные пирометры. Наиболее подходящими являются сканирующие или многоканальные пирометры. В ЦИАМ разработана система многоканального пирометра, позволяющая измерять поля температуры без механических перемещений зонда пирометра [1].

Система пирометра состоит из следующих компонентов: оптического зонда со световодом в защитном чехле и блоком фотоэлектрического преобразователя, блока управления и питания, датчика положения ротора, блока сбора и обработки данных [1, 2].

Блок фотоэлектрического преобразователя предназначен для преобразования, воспринятого оптическим зондом, излучения в электрический сигнал и его усиления.

Блок управления и питания содержит источник питания усилителя датчика пирометра, плату управления устройства термостабирирования фотопреобразователя, а также плату усилителя-формирователя импульсов от датчика положения ротора.

Датчик положения ротора предназначен для запуска системы, синхронизации сигналов и идентификации лопаток согласно их расположению относительно контрольной точки.

Система сбора и обработки данных пирометра

Система сбора и обработки данных предназначена для преобразования усиленного аналогового сигнала от пирометра в цифровой и его обработки с помощью разработанного в ЦИАМ программного обеспечения (ПО).

ПО разрабатывалось на базе LABVIEW 8 и драйверов DAQ для АЦП NI PCI-6250 DAQ. ПО состоит из двух модулей: сбора данных и их обработки. Программа сбора данных осуществляет конфигурирование АЦП в соответствии с выбранными настройками, сбор и запись данных от пирометра. Процесс оцифровки запускается, когда приходит первый строб-импульс и останавливается, когда приходит следующий. Затем снова запускается и снова останавливается при поступлении следующего импульса. Это позволяет получить привязку оцифрованных данных

к положению ротора, то есть получить стробоскопическую картинку ровно за один оборот.

Для восьмиканального пирометра реализован алгоритм последовательного опроса каналов. Устройство АЦП оцифровывает один канал с указанной в настройках программы частотой. Для переключения между каналами многоканального пирометра используется встроенный мультиплексор.

Последовательность работы алгоритма (полный цикл измерений) (рис. 1):

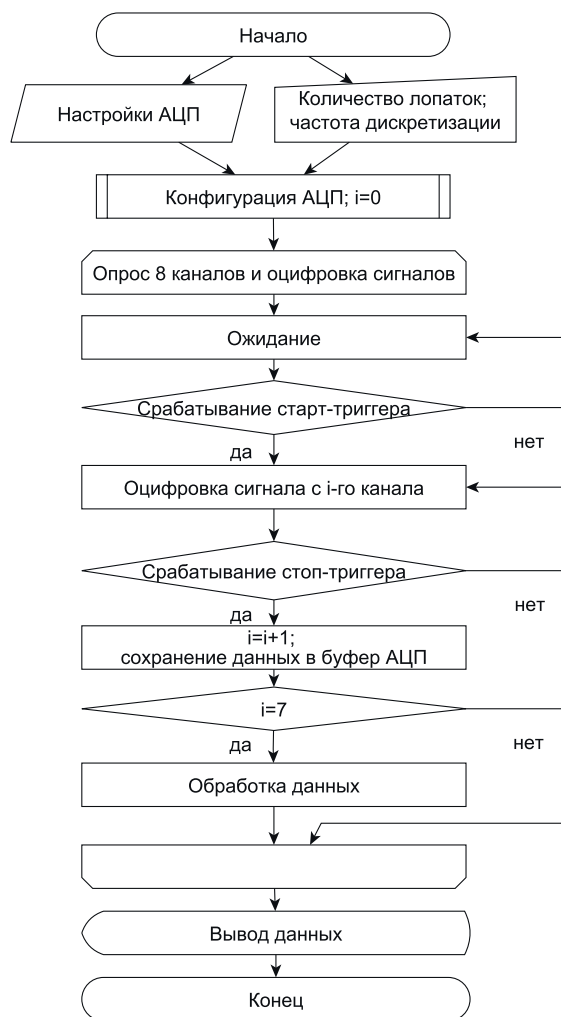


Рис. 1. Упрощенная блок-схема алгоритма одного полного цикла измерений

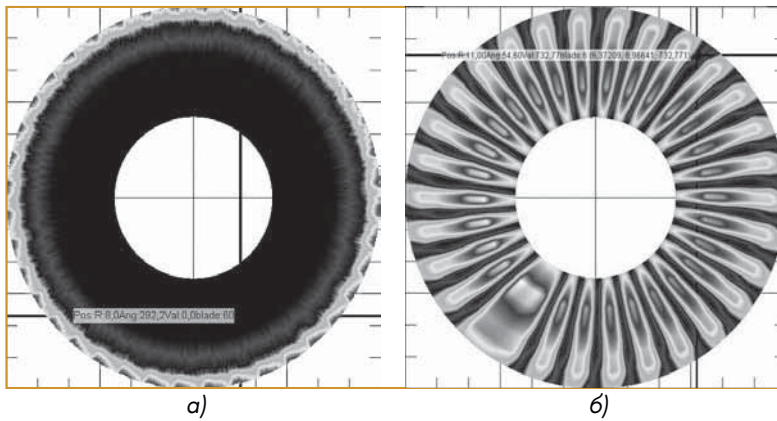


Рис. 2. Поля температурного распределения:
а) без датчика положения ротора; б) с датчиком положения ротора

- АЦП оцифровывает канал 0 от первого триггера до следующего. Передает данные из буфера в ЭВМ. Ждет следующих старт-стоп триггеров. Процедура повторяется указанное число раз (оборотов).
- АЦП переключается на канал 1, оцифровывает канал 1 от первого триггера до следующего. Процедура повторяется указанное число раз (оборотов).
- АЦП переключается на следующий канал и процедура повторяется.

После седьмого канала происходит обработка данных, полученных по каналам 0...7. Далее цикл возобновляется опять с канала 0.

В ходе эксплуатации системы, реализованной на базе рассмотренного алгоритма, выяснилось, что установка датчика положения ротора на исследуемый объект в силу определенных условий не всегда возможна. Это приводит к дополнительным трудностям:

- 1) требуется производить запуск измерительной системы от внешнего генератора;
- 2) усреднение сигналов и последующий расчет температуры производится неверно (рис. 2);
- 3) определение положения конкретной лопатки невозможно.

Для преодоления этих трудностей требуется создать виртуальный имитатор датчика положения ротора для запуска системы управления восьмиканальным пирометром и организации синхронизации измеренных сигналов. Выделить положение одной конкретной лопатки с привязкой к реальному объекту в данных условиях без датчика положения ротора невозможно. По-

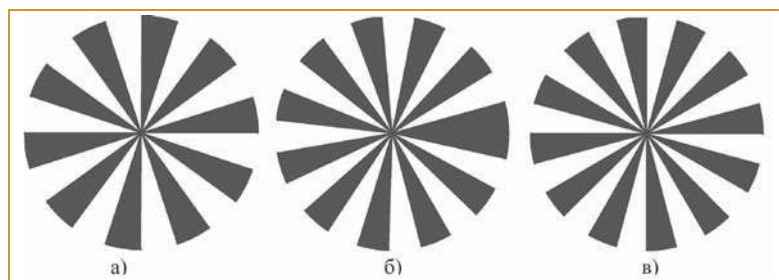


Рис. 3. Реакция модуля индикации на изменение числа лопаток с 10 на 12 ед.: а), в) – установившиеся режимы; б) – переходной режим

этому первоочередными задачами в данном направлении стали определение частоты вращения ротора и скважности сигналов в реальном времени, запуск системы измерений, отслеживание изменения частоты в ходе работы и синхронизация сигналов для последующего их усреднения и обработки.

Кроме того, существует потребность оцифровывать каждый канал несколько раз. Она вызвана тем, что в полезном сигнале излучения от лопатки могут присутствовать специфические помехи — положительные выбросы из-за частиц сажи в газовом потоке. Имея реализации за несколько оборотов можно применить процедуру минимизации этих помех.

Модернизированная система сбора данных пирометра

В связи с недостатками существующей системы сбора и обработки данных было принято решение разработать новое ПО для системы многоканального пирометра. В результате удалось устранить первые два основных недостатка, но сложностью применения новых алгоритмов стала необходимость указания точного времени проведения измерений, которое заранее неизвестно. Время должно выбираться в зависимости от частоты обороты вала и быть не меньше, чем период оборота вала, умноженный на число оборотов. Необходимо учитывать то, что вал может разгоняться или тормозиться, вследствие чего период может изменяться с течением времени. В связи с этим фактом необходимо записывать данные с допуском по времени измерения так, чтобы запись производилась заведомо дольше, чем период оборота вала, умноженный на число оборотов. Для этого предлагалось ввести коэффициент допуска, входящий как множитель во время измерения сигнала.

Для определения частоты вращения вала был реализован следующий метод. Считывание данных канала триггера выполняется непрерывно до тех пор, пока не будет зарегистрировано число оборотов, которое задается для определения частоты вращения вала. После накопления требуемого объема информации данные анализируются, определяется средняя частота вращения вала. Далее, при конфигурировании задания для АЦП для сбора данных о температуре в качестве числа точек, необходимых для считывания, используется величина, равная произведению численных значений частоты работы АЦП, числа оборотов вала, полученной осредненной текущей частоты вращения вала, допуска времени измерения.

Виртуальный имитатор датчика положения ротора

Система сбора и обработки данных была дополнена разработанными и про-

граммно реализованными виртуальными имитатором датчика положения ротора и генератором сигналов для генерации эталонных данных.

В состав имитатора входят:

- интерфейс пользователя для управления конфигурацией АЦП и задания иных входных параметров;
- общий интерфейс для управления взаимодействием между модулями и интерфейсом пользователя и защиты от введения неверных входных параметров;
- модуль ограничения, выполняющий функцию отбора каналов по условию соответствия таблице градуировочных данных;
- модуль формирования координатной сетки — разбивает плоскость координат в зависимости от параметров тестового сигнала;
- модули генерации тестового сигнала и сигнала запуска;
- модули индикации, которые требуются для визуального отслеживания правильности работы имитатора (рис. 3);
- модуль разделения выполняет функцию распределения сигналов каналов в соответствии с их возможным расположением на лопатке;
- модуль измерения частоты и скважности;
- модуль усреднения результатов измерения частоты и скважности по заданным выборкам.

В состав виртуального генератора входят модули: формирования сигналов с каналов и случайного отклонения параметров сигналов; изменения входного параметра по определенному закону; индикации входных параметров.

Упрощенный вид блок-схемы алгоритма работы имитатора представлен на рис. 4. В основу работы имитатора положен алгоритм пересчета частоты дискретизации АЦП при фиксированной длине выборки по измерению параметров сигналов с разрешенных каналов и в дальнейшем генерации тестового сигнала и сигнала запуска.

Сигнал запуска требуется для запуска процессов отображения, обработки и хранения данных. Сигнал имеет частоту, равную частоте вращения ротора. Тестовый сигнал выполняет нормирующую функцию для последующего верного усреднения сигналов и их параметров при обработке экспериментальных данных. Сигнал имеет частоту в n раз большую, чем частота сигнала запуска, где n — число исследуемых лопаток. При помощи него происходит прореживание массивов, что позволяет увеличить быстродействие.

Методика испытаний системы сбора и обработки данных пирометра

Была разработана программа и методика испытаний, согласно которой для испытаний используется эталонное (аттестованное) ПО. В отсутствие эталонного ПО сравнительные испытания проводят с использованием моделей исходных данных или с применением генерации эталонных данных.

Для проведения испытаний требуется генератор импульсов точной амплитуды Г5-75 или его аналог.

Программа испытаний составлялась на основании документов:

— ГОСТ Р 8.883-2015 ГСИ. Программное обеспечение средств измерений. Алгоритмы обработки, хранения,

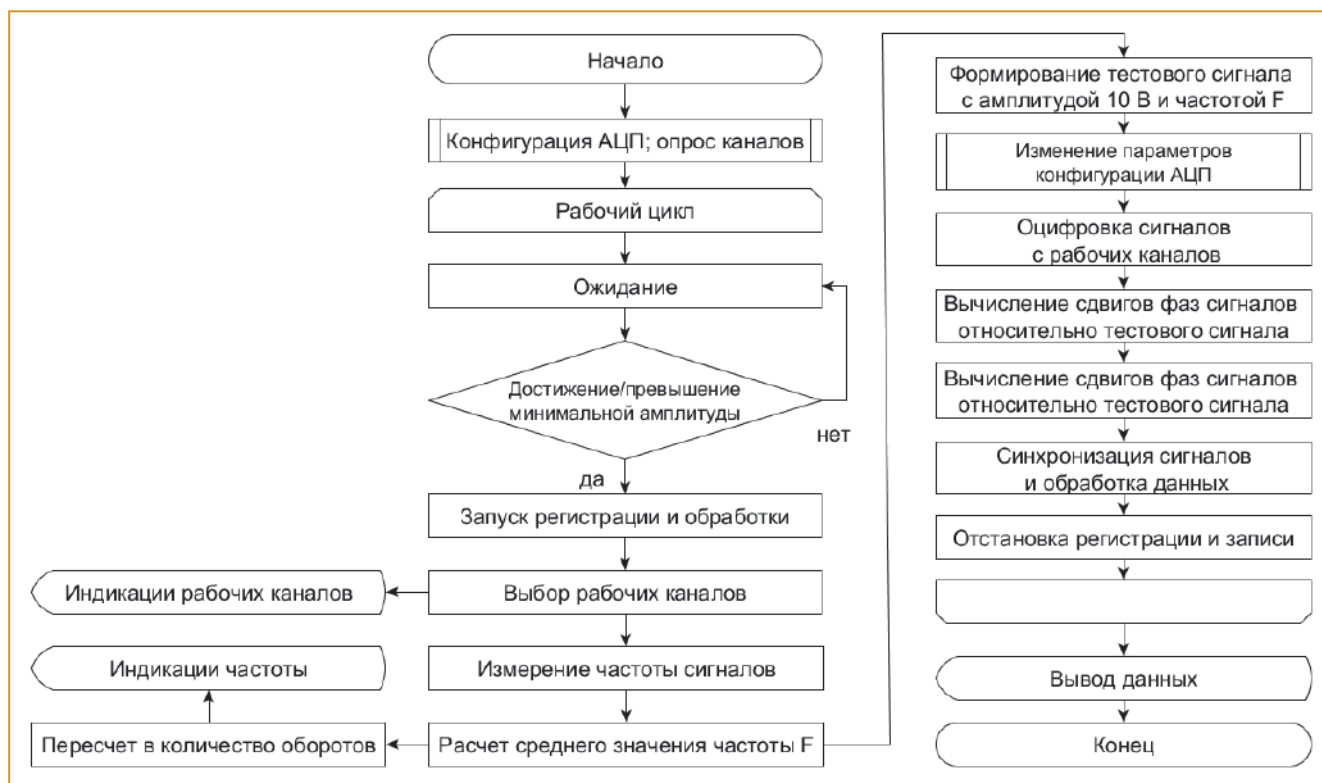


Рис. 4. Упрощенная блок-схема имитатора

защиты и передачи измерительной информации. Методы испытаний;

— МИ 2955-2010 ГСИ. Типовая методика аттестации программного обеспечения средств измерений и порядок ее проведения;

— МИ 2891-2004 ГСИ. Общие требования к программному обеспечению средств измерений;

— Техническое описание и руководство по эксплуатации. Восьмиканальный оптический пирометр для измерения температуры лопаток турбины высокого давления на газогенераторе С4 и С5. 2009 г.;

— Инструкция по эксплуатации. Программное обеспечение восьмиканального пирометра частичного излучения для измерения значений температуры лопаток турбины высокого давления.

При тестировании к разработанному ПО, имитирующему работу датчика, предъявлялись требования низкой жесткости и среднего уровня защиты. Среди проведенных испытаний имитатора успешно выполнены проверки:

- запуска системы;
- структуры имитатора для определения возможности разработки эталонного ПО;
- структуры имитатора для оценки подверженности недопустимому влиянию со стороны стороннего ПО;
- работы индикации каналов и синхронизации;
- выбора рабочего канала по уровню сигнала;
- защиты от сбоев и изменений;
- модуля формирования координатной сетки.

В результате испытаний методом генерации были проведены 100...500 измерений по выбранным параметрам и областям. Основными параметрами измерений являлись частота следования импульсов и скважность сигналов. Была выявлена некорректность работы при аварийном режиме, в частности, при выходе из строя нескольких лопаток в различных областях. Основной вклад в погрешность измерения скважности (в%) при штатном режиме работы вносит погрешность округления на промежуточных этапах вычислений и составляет 0,5%. Результатом проверки влияния случайной составляющей на работу системы показал, что во всех случаях при различной величине самой составляющей (1...20%) изменение выходного отклика меньше в 5 раз (по СКО).

Заключение

Для запуска системы управления восьмиканальным пирометром и организации синхронизации измеренных сигналов разработаны имитатор датчика положения ротора, а также программа и методика его

испытаний. Проведены испытания имитатора. По их итогам выяснилось следующее.

1) В штатных режимах имитатор работает исправно и позволяет:

- запускать систему в автоматическом режиме без использования датчика положения работы при выходе на установившийся режим;
- синхронизировать измеренные сигналы, что позволяет правильно усреднять сигналы с каналов пирометра;
- автоматизировано измерять частоту вращения ротора в диапазоне (500...30000) об/мин с относительной погрешностью 0,5%;
- отслеживание изменения частоты вращения ротора и адаптировать работу измерительной системы в зависимости от частоты вращения ротора.

2) Для аварийных ситуаций имитатор не во всех случаях поддерживает корректную работу системы многоканального пирометра.

В дальнейшем планируется отладить имитатор для основных аварийных режимов работы, увеличить точность измерения частоты вращения ротора и модернизировать программное обеспечение многоканального пирометра как под аппаратуру, находящейся в эксплуатации, так и под новые аппаратные возможности.

Требования к генератору

Период повторения (T), мкс	10...10 ⁴
Погрешность установки периода повторений	±10 ² T;
Длительность основных импульсов t, мкс	0,01...50
Погрешность установки длительности импульсов	±10-2T
Амплитуда основных импульсов (U), В	1...9
Погрешность установки амплитуды при скважности 2	±0,02U

Список литературы

1. Бородако В.В., Сахаров В.Б. и др. Многоканальный оптический пирометр и его экспериментальная отработка при стендовых испытаниях газогенераторов // Развитие средств и методов испытаний авиационных двигателей. М.: ЦИАМ, 2010. С.168-172.
2. Сахаров В.Б., Фланден В.С. и др. Применение многоканального оптического пирометра для измерения поверхностных температур // Автоматизация в промышленности. 2016. №4. С.30-32.

Алиходжина Надежда Васильевна — инженер ФГУП «ЦИАМ им. П. И. Баранова»,
Фланден Вячеслав Сергеевич — младший научный сотрудник ФГУП «ЦИАМ им. П. И. Баранова»,
 ассистент кафедры основ радиотехники ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ».
 Контактный телефон (917) 547-98-01.
 E-mail: bossbosskama3@mail.ru, resckator@mail.ru