

Измеритель температуры рабочих лопаток турбины

Трашин И.А., ГП НПКГ "Зоря" - "Машпроект", г. Николаев

Задача определения температуры вращающихся турбинных ступеней газотурбинных двигателей (ГТД) еще 20 лет назад была решена в университетских кругах с помощью оптических пирометров. Несмотря на это, серийно выпускаемые сегодня промышленные пирометры в большинстве случаев предназначены лишь для выполнения статических замеров, т.е. измерения температуры малоподвижных объектов, что характерно, в основном, для металлургии. Пирометры для ГТД (частота вращения ступени турбины до 15000 об/мин) до сих пор остаются уникальными произведениями "кустарей" и обеспечивают минимум информации. Такие пирометры (класса ПИРИТ-2), способные оценить средний уровень температуры ступени, создавались и в ГП НПКГ "Зоря" - "Машпроект".

Необходимость перехода от качественного определения уровня температуры всей турбинной ступени к количественному выделению температуры каждой лопатки привела к созданию нового, интеллектуального измерителя - ПИРИТ-6.

Измеритель нового поколения с датчиком типа П093 обеспечивает бесконтактное измерение температуры рабочих лопаток турбинных ступеней ГТД в условиях стендовых испытаний. По сути это пирометр частичного излучения, воспринимающий тепловое излучение рабочих лопаток ГТД в диапазоне длин волн 0,5 ... 1,1 мкм с эффективной длиной волны равной 0,95 мкм, и преобразующий тепловую энергию в электрический ток, максимальная величина которого соответствует максимальной температуре нагретого тела в поле обзора датчика.

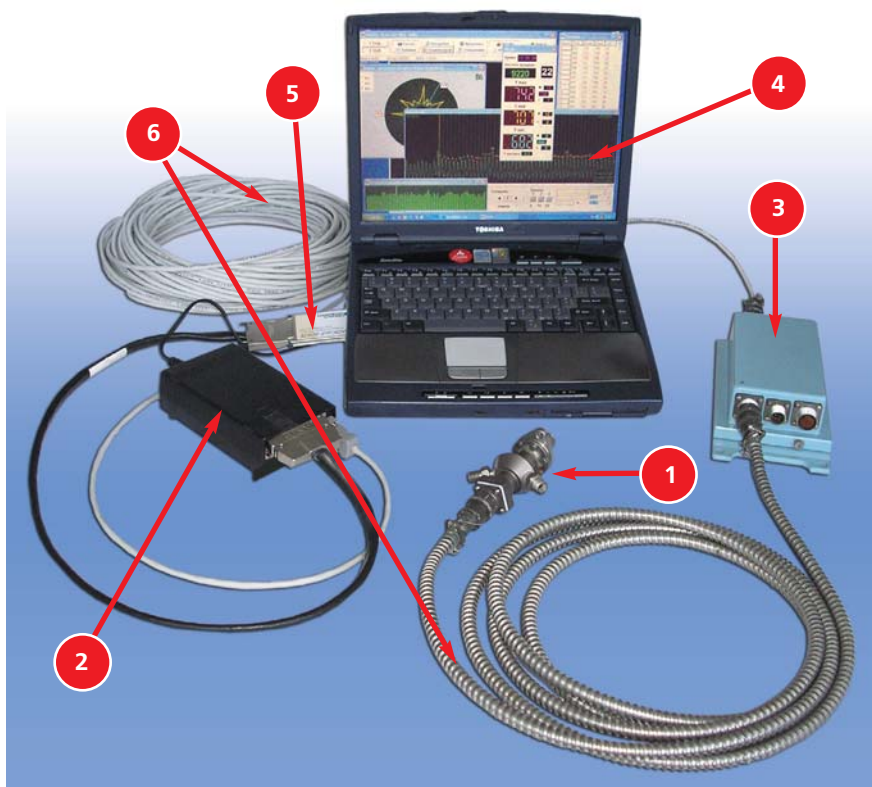
Измеритель ПИРИТ-6 позволяет определять характер распределения температуры на поверхности лопаток и выделять температуру максимально перегретой лопатки. Номер перегретой лопатки определяется при наличии на ГТД датчика-ответчика, формирующего импульс, который соответствует началу отсчета лопаток (расположению первой лопатки).

Диапазон измеряемых температур в ПИРИТ-6 составляет 570°C..1000°C, а предел допустимой инструментальной погрешности измерения - 5°C. Измеритель содержит два канала - для турбины высокого давления и турбины низкого давления.

К основным функциям рассматриваемого измерителя следует отнести:

- усиление, фильтрация и измерение параметров сигнала датчика оптического пирометра П093;
- контроль температуры внутри датчика П093;
- аналого-цифровое преобразование сигнала датчика П093;
- спектральный анализ сигнала датчика П093;
- синхронизация сигналов датчика пирометра П093 и датчика-ответчика;
- определение температуры каждой лопатки турбинной ступени;
- отбраковка и усреднение результатов измерений;
- представление результатов измерений в табличной форме, в виде диаграмм, в виде осциллограмм;
- ведение архива записей.

В состав комплекта измерителя входят датчик оптического пирометра П093 (1), блок согласующий БС (2), выносной блок БВ (3), переносной компьютер класса Notebook (4), модуль аналогового ввода в формате РСМСІА (5), и комплект соединительных кабелей (6). Датчик П093 выполнен в корпусе из нержавеющей стали и для контроля компенсации теплового воздействия объекта испытаний в него встроен преобразователь темпе-



ратуры. Оптика датчика защищена от внешних воздействий огнестойким кварцевым стеклом. На корпусе датчика предусмотрены отводы для подключения к магистрали с охлаждающей водой и для электрического подключения на торце размещен штепсельный разъем типа 2PM18БПН7Ш1В1. Соединение датчика с выносным блоком выполняется кабелем, защищенным от внешних воздействий бронерукавом. БВ, как и датчик, эксплуатируется в "жестких" условиях, а потому и выполнен в стальном герметичном корпусе (исполнение IP-66), в котором на амортизаторах закреплены две независимые печатные платы с электронными компонентами для каждого из измерительных каналов. Корпус БВ закрыт крышкой с резиновым уплотнителем. Блок согласующий БС выполнен в корпусе из ABS пластика черного цвета и содержит модуль питания +9В постоянного тока, преобразователи напряжений ±15В и буферный усилитель с функцией шумоподавления. Модуль АЦП устанавливается в гнездо PCMCIA компьютера. Вот и вся аппаратная часть измерителя ПИРИТ-6.

Принцип действия измерителя основан на зависимости яркости свечения рабочих лопаток турбинных ступеней ГТД от температуры их нагрева. Световое излучение поверхности каждой лопатки турбинной ступени воспринимается фотодиодом датчика оптического пирометра ПО93. Встроенный в датчик термоустойчивый усилитель усиливает и преобразует ток фотодиода в напряжение, которое в виде коротких импульсов от каждой лопатки, проходящей в поле обзора перед линзой датчика, поступает в выносной блок. В БВ осуществляется масштабирование и фильтрация сигнала датчика ПО93, усиление сигнала датчика-ответчика, усиление сигнала датчика температуры, контролирующего нагрев датчика ПО93, а также буферизация этих сигналов для передачи по "длинной линии" через измерительный кабель в БС.

Ввод сигналов в компьютер осуществляется с помощью multifunctionальной системы сбора данных DAQCard-6062E (National Instruments, США). Выбор именно этой модели не случаен. Для обеспечения названных характеристик измерителя аналогового датчиков должен иметь разрядность не менее 12 бит, обеспечивать частоту дискретизации порядка 500 кГц, полюсу пропускания - 1МГц и уровень

подавления синфазной помехи - 95дБ, а также диапазоны входных сигналов от ±50мВ до ±5В с возможностью программного переключения. А кроме этого, модуль АЦП должен быть компактным устройством, ведь измеритель ПИРИТ-6 - это мобильный комплекс. Таким высоким требо-



ваниям модуль DAQCard-6062E вполне удовлетворяет. Конечно, для решения задачи ввода аналоговых сигналов в компьютер класса Notebook можно было бы использовать и быст-

аналоговые входы	16SE/8DI
разрядность АЦП	12 бит
быстродействие АЦП	500 кГц
входной диапазон	±0.05, ... ±10 В, 0-0.1, ... 0-10 В
прог. коэф. усиления	+
аналоговые выходы	2
разрядность ЦАП	12 бит
выходной диапазон	±10В
частота вывода	850 кГц
дискретный В/В	8 ТТЛ
таймер-счетчик	2x24 бит, 20 МГц

родействующий АЦП с интерфейсом USB или FireWire, например E14-440 (L-Card, Россия), NI USB-9221, NI USB-9201 или DAQPad 6070E (National Instruments), но это был бы еще один внешний блок в измерителе ПИРИТ-6. АЦП в формате PCMCIA является идеальным решением для систем на основе Notebook, и достойной альтернативы модулю DAQCard-6062E действительно нет.

Далее о программном обеспечении, с помощью которого преобразователь сигналов описанное "железо" оживает: выполняется математическая

обработка числовых массивов данных от АЦП, определяется температура каждой турбинной лопатки ступени, на экране компьютера отображаются результаты в требуемой форме и т.п.

Главный экран ПО предоставляет пользователю возможность выбора одного из режимов работы: "измерение", "калибровка" и "просмотр архивов".

При проведении измерений на главном экране контролируется распределение температур на круговой диаграмме и таблице температур.

В меню "Настройка" можно выбрать язык интерфейса программы: "Русский", "English" и даже "Chinese".

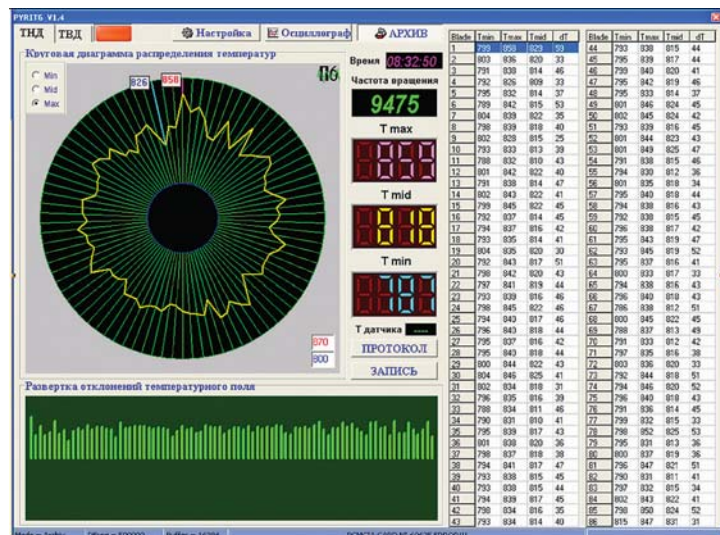
Настройки независимы для каналов турбины высокого давления и низкого давления. Настраиваемые параметры:

- количество лопаток ступени;
- номер "первой" лопатки;
- количество циклов усреднения;
- коэффициент усиления канала;
- смещение характеристики;
- коэффициент усиления датчика.

Настройки коэффициентов, хранящиеся в ОЗУ прибора, позволили избежать в схемном решении дополнительных шунтов, поставляемых индивидуально с каждым оптическим датчиком.

В измерителе ПИРИТ-6 реализованы два типа синхронизации сигналов от датчика ПО93:

- установка флага "Синхронизация по датчику-отметчику" обеспечивает основной режим измерения, при котором возможно точное сопоставление номера лопатки и ее измеренной температуры;
- установка флага "Синхронизация по горячей лопатке" обеспечивает стабильность индикации температу-



МАШИНОСТРОЕНИЕ

лопаток при отсутствии датчика-ответчика (рекомендуется на начальных этапах измерений).

Для просмотра сигналов, поступающих от датчика П093, используется виртуальный осциллограф. С его помощью также можно наблюдать сигналы встроенных термопреобразователей и датчика-ответчика в реальном времени, устанавливать режим "стоп-кадр", изменять развертки сигналов по времени и амплитуде и даже анализировать спектр сигналов.

Программное обеспечение измерителя позволяет просматривать записанные (архивные) файлы с различными структурами размещения данных. Все типы файлов имеют текстовый формат, все данные - floating point.

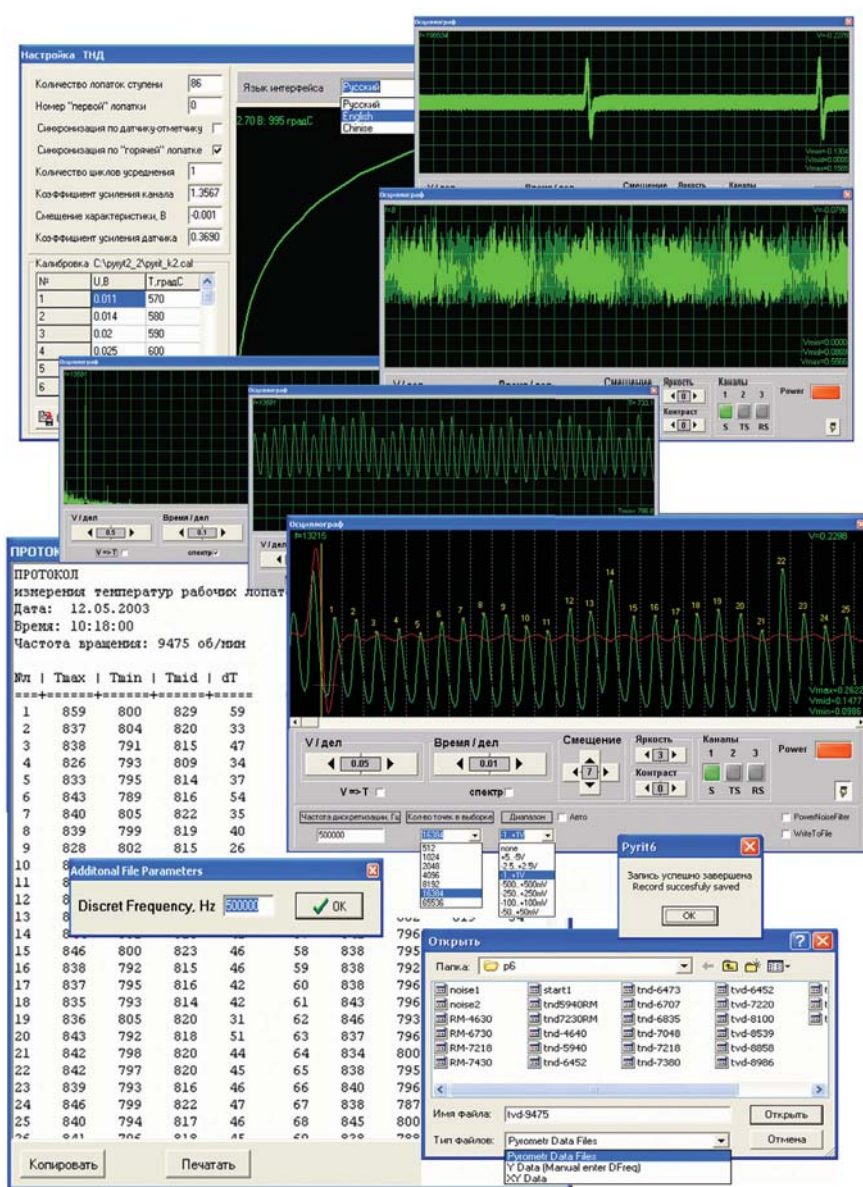
- Pyrometr Data Files: первая запись - используемая частота дискретизации, остальные записи - последовательная выборка напряжений сигнала с указанной частотой дискретизации. Записи разделены между собой символом перевода строки;

- Y Data (Manual enter Freq): последовательная выборка напряжений сигнала. Частота выборки запрашивается у пользователя в диалоговом окне;

- XY Data: поток данных в виде последовательности строк формата "Время_i Напряжение_i".

ПО измерителя предусматривает и формирование протокола измерений по команде оператора, с возможностью экспорта данных в другие приложения и многие другие "удобства-сервисы". И тем не менее, какое бы не было совершенное ПО, проведение стендовых испытаний, а точнее подготовка к ним и завершение, процесс достаточно трудоемкий, требующий выполнения ручных операций в строго регламентированной последовательности. Такой уж специфический объект испытаний.

После монтажа газотурбинного двигателя на стенд, его отладки, проверки защит и устранения выявленных дефектов датчик оптического пирометра П093 устанавливается в соответствующее резьбовое отверстие на силовом корпусе турбины через охлаждающий переходник. К штуцерам датчика подключаются трубопроводы подвода и отвода охлаждающей воды, при этом система охлаждения датчиков должна иметь фильтр и обеспечивать соответствующее давление. Блок БВ устанавливается на раме ГТД вблизи датчика через резиновые амортизационные прокладки, а корпус блока заземляется на опорную



раму стенда. Далее к БВ подсоединяется кабель, который следует закрепить к неподвижным конструкциям, а также предусмотреть наружное охлаждение кабельного разъема на корпусе датчика сжатым воздухом. А после выполнения измерений нужно выполнить все то же самое, но в обратной последовательности. После такого "жесткого" обращения с аппаратурой следует выполнить внешний осмотр датчика, кабелей и блоков измерителя, выполнить профилактические работы и при необходимости произвести проверку чувствительности датчика П093. Эта процедура тоже непростая. Ее рекомендуется выполнять с использованием специальной печи путем сравнения показаний датчика П093 с величиной температуры модели абсолютно черного тела, измеренной образцовой термопарой. В случае изменения характеристики

датчика более чем на 6°C необходимо учитывать это при оценке результатов измерений.

И тем не менее, измеритель ПИРИТ-6 является более совершенным устройством, чем его предшественники ПИРИТ-2, ПИРИТ-5. Выпущена также версия прибора со встроенным процессорным ядром и жидкокристаллическим дисплеем, позволяющая выполнять измерения без использования персонального компьютера, и разрабатывается версия измерителя с погружаемым поворотным зондом, позволяющая оценивать температуры по всему профилю лопатки.

КОНТАКТЫ:

т. (0512)49-78-27, 22-68-68
e-mail: stealth@mskat.net