

мологическую модель мира. Характерной особенностью являлось то, что нижняя зона в женских халатах наряду с верхней передней частью была наиболее декорированной. Объяснение подобному оформлению можно найти в тюркской традиции, по которой подол и полы одежды относятся к деталям костюма, образующим устойчивый семантический комплекс «производительного низа», воплощающего идю плодородия [10. С. 111–112].

Завершающим компонентом костюма можно считать обувь. Она тесно взаимодействовала с землей и составляла как бы нижний ярус единой структуры одежды. **Сарык** и **ката** — традиционная обувь, изготавливаемая самими башкирами. Названные виды обуви состояли из кожаного пиза и сукошного или войлочного голенища. Узор наносился на голенища и представлял собой сложные композиции из рогообразных мотивов, перемежавшихся с ромбами. Если придерживаться предположения, что мотив «рога барана» ассоциируется с ярусом земли, становится понятным такое широкое применение именно в оформлении обуви. В целом, костюм был связующим звеном между человеком и объектами среды его обитания. В одежде в первую очередь отразились представления об устройстве окружающего мира. Затем человек в костюме создавал бытовые предметы, обустривал архитектурное пространство, уже в них воплощая своё понимание мира.

Таким образом, при реконструкции семантики башкирского народного костюма обозначились основные части его структуры, описанные в фольклоре, участвовавшие в обрядах и выполнявшие оберегающую функцию. В костюме особо выделялись смысловые значения головного убора, нагрудников, верхней одежды и обуви. Именно эти элементы были наиболее декоративными и выполняли ведущую роль в композиционном построении, определяя в конечном итоге и художественное своеобразие башкирского народного костюма.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руденко, С. И. Башкиры: историко-этнографические очерки / С. И. Руденко. Л.—М.: Наука, 1955.
2. Башкирское народное творчество. Эпос. / Сост. М. М. Сагитов. Уфа: Башк. кн. изд-во, 1978. Т. 1.
3. Рыбаков, Б. А. Макрокосм в микрокосме народного искусства // Декоративное искусство СССР. 1975. № 1.
4. Шитова, С. Н. Башкирская народная одежда / С. Н. Шитова. Уфа: Китап, 1995.
5. Бикбулатов, Н. В. Семейный быт башкир XIX—XX вв. / Н. В. Бикбулатов, Ф. Ф. Фатыхова. М.: Наука, 1991.
6. Резван, Е. А. Этические представления и этикет в Коране / Е. А. Резван // Этикет у народов Передней Азии. М., 1988.
7. Научный отчет по разделу «Башкирское народное изобразительное искусство» за 1959, 1960 гг. Научный архив УНЦ РАН Ф. 3, Оп. 29, Ед. хр. 25.
8. Живописная Россия. Среднее Поволжье. Приуральский край. СПб, 1901. Т. 8, ч. 2.
9. Железнов, И. И. Башкирцы // Полн. собр. соч. СПб, 1910. Т. 1.
10. Львова, Э. Л. Традиционное мировоззрение тюрков Южной Сибири. Пространство и время. Вещный мир / Э. Л. Львова, И. В. Октябрьская, А. М. Сагалаев, М. С. Усманова. Новосибирск: Наука, 1989.

ОБ АВТОРЕ



Масленикова Татьяна Александровна, ст. науч. сотр. Ин-та истории языка и литературы УНЦ РАН. Дипл. учитель (Баш. гос. пед. ин-т, 1986). Канд. искусствовед. (Московск. пед. гос. ун-т, 1992). Иссл. в обл. башкирск. народн. искусства.

УДК 681.583.3:621.384.3

М. А. УРАКСЕЕВ, С. В. КАМАЛОВ

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ЛОПАТОК ТУРБИНЫ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Рассмотрены отечественные и зарубежные информационно-измерительные системы контроля температуры лопаток турбины газотурбинного двигателя (ГТД). Описаны их структуры и функциональные возможности. Приведены физические основы построения чувствительных элементов измерительных устройств систем температурного контроля лопаток турбины ГТД.

Лопатка; турбина; двигатель; температура; пирометр; тепловизор; инфракрасный

Трудно найти в машиностроении деталь сложнее лопатки авиационной турбины. И форма ее, долженствующая придать нужные аэродинамические свойства, и внутренние каналы охлаждения,

и материал, из которого ее изготавливают, — все резко усложняет и удорожает эти важнейшие детали, от состояния каждой из которых зависят не

только полетные свойства лайнера, но и жизнь пассажиров и экипажа.

Работают лопатки в сложнейших условиях: температура набегающего на них газа составляет около 2000°C , давление — около 8 ат. Поэтому качество изготовления и состояние лопаток тщательно контролируют. В особенности чистота внутренних каналов охлаждения — никаких нагаров и пленок, сложная форма их должна быть строго выдержана. Ведь если охлаждение подведет, лопатки просто расплавятся, поскольку материал, из которого они изготовлены, выдерживает не более $(1200\text{--}1300)^{\circ}\text{C}$ [1, 2]. В связи с этим контроль состояния лопаток турбины необходимо осуществлять как в наземных условиях на заводах-изготовителях и аэропортах, так и на борту в процессе полета самолета.

С этой целью созданы различные информационно-измерительные системы (ИИС) контроля температуры лопаток турбины ГТД.

Чувствительные элементы измерительных устройств таких ИИС основаны на использовании теплового излучения тел.

1. Физические основы построения чувствительных элементов измерительных устройств ИИС. Все тела, обладающие температурой выше абсолютного нуля (-273°C), излучают электромагнитные волны за счет преобразования энергии хаотического, теплового движения частиц тела в энергию излучения. С ростом температуры увеличиваются амплитуда и частота колебаний молекул вещества тела. Например, сильно нагретые тела светятся, а при обычных температурах являются источниками только невидимого инфракрасного излучения.

Электромагнитное излучение, испускаемое веществом и возникающее за счет его внутренней энергии, называется тепловым, или температурным, излучением. Оно зависит только от температуры и оптических свойств излучающего тела.

Тепловое излучение имеет сплошной спектр, положение максимума которого зависит от температуры тела. С ее повышением возрастает общая энергия испускаемого теплового излучения, а максимум перемещается в область малых длин волн. Тепловое излучение испускает, например, поверхность нагретого металла, биологический организм, лопатка турбины ГТД и т. д.

Тепловое излучение подчиняется законам излучения Стефана-Больцмана, Кирхгофа и Планка [3–5].

В физике используется понятие «оптическое излучение», соответствующее электромагнитному излучению с длинами волн λ , расположенными в диапазоне $1\text{ нм} \dots 1\text{ мм}$. Этот диапазон делится на три части: инфракрасное (ИК) излучение, видимое (В) и ультрафиолетовое (УФ) излучения.

Принимая во внимание, что в различных литературных источниках [3, 6, 7] имеет место незначительное расхождение пределов ИК, В и УФ-излучений, авторы далее приводят энциклопедические сведения о них.

Диапазон длин волн λ ультрафиолетового излучения составляет $1,0\text{ нм} \dots 0,4\text{ мкм}$. Диапазон длин волн λ видимого излучения — $0,4 \dots 0,74\text{ мкм}$. Диапазон длин волн λ ИК-излучения — $0,74 \dots 10^3\text{ мкм}$ [3].

В ИИС контроля температуры лопаток турбины ГТД используются пирометрические и тепловизионные методы. В первом случае в качестве чувствительных элементов измерительных устройств используются оптические пирометрические преобразователи, позволяющие измерять температуру нагретых тел по интенсивности их теплового излучения в оптическом диапазоне спектра [8]. Пирометрические преобразователи для контроля температуры лопаток турбины ГТД, в основном, используют инфракрасный поддиапазон оптического излучения. С помощью пирометрических преобразователей измеряют температуру локального участка тела.

Во втором случае получают видимое изображение объекта на основании его собственного инфракрасного (теплового) излучения. Инфракрасные лучи невидимы для глаз человека. Для их изучения используют специальные приборы — тепловизоры (термографы), которые на основании теплового излучения отдельных участков объекта позволяют получить картинку его температурного поля и мгновенно измерить температуру десятков тысяч точек объекта. Тепловизоры являются измерительными приборами, поэтому их называют измерительными тепловизорами, инфракрасными камерами.

Пирометрические преобразователи также широко используются в металлургии, энергетике, строительстве, жилищно-коммунальном хозяйстве, бытовой технике и других сферах, включая и медицину, для бесконтактного дистанционного измерения температуры. Этому способствовали успехи в области оптики, электроники, волоконной оптики, микроэлектроники и технологии, достигнутые в мире за последние 20 лет.

Тепловидение, на наш взгляд, имеет еще более широкое применение. Это, прежде всего, военная разведка и охрана объектов: охрана периметров, пограничное патрулирование, охрана правительственных зданий и сооружений, безопасность военных объектов, учебные полигоны, таможенный досмотр, наблюдение за движением судов.

Кроме того, тепловидение имеет обширное применение в целях диагностирования состояния оборудования в энергетике, нефтегазовом комплексе, энергоснабжении, металлургии, химической промышленности, машиностроении, микроэлектронике, автомобильной промышленности, строительстве дорог, судостроении, строительстве, пищевой промышленности, ветеринарии и медицине [9].

2. Тепловизионная диагностическая система контроля лопаток турбины ГТД. На рис. 1 представлена тепловизионная диагностическая система проверки качества лопаток [1], которая демонстрировалась на проходившей в Московском выставочном комплексе ЗАО «Экспоцентр» международной выставке «Высокие технологии XXI ве-

ка» и была разработана Государственным предприятием «ММП «Салют» [1].

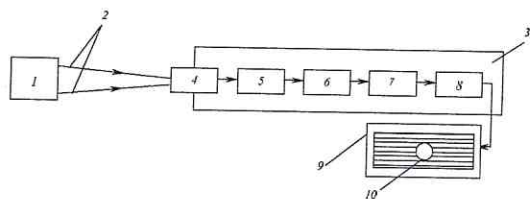


Рис. 1

Система состоит из контролируемого объекта 1 (в нашем случае это лопатка), тепловое излучение которого 2 поступает на инфракрасную камеру 3. Излучение объекта в ИК-камере последовательно проходит по цепочке: объектив 4, призмы 5 и 6 системы сканирования (развертки по горизонтали и вертикали, соответственно), коллиматор 7, приемник излучения с блоком обработки сигнала 8, персональный компьютер 9. На экране компьютера ясно виден дефект 10 лопаток.

Эта система разработана вместо ранее применявшейся диагностики лопаток просвечиванием рентгеновскими лучами, которая давала значительные погрешности при просмотре на экране, есть ли в каналах засоры, не искажена ли их форма. Но главный недостаток заключался в том, что рентген не мог показать, каково качество внутреннего охлаждения и каков коэффициент отдачи тепла. А он может снизиться не только в случае засорения канала, но даже при наличии тончайшей пленки нагара на стенках, которую никакой рентген не покажет.

3. ИИС температурной диагностики лопаток турбины ГТД На рис. 2, а показана ИИС температурной диагностики лопаток турбины ГТД, разработанная при участии специалистов Уфимского НПП «Молния». На рис. 2, б приведен оптический пирометрический преобразователь.

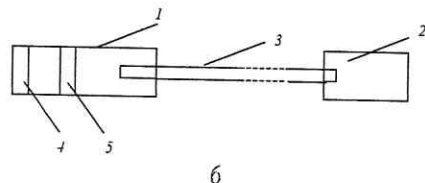
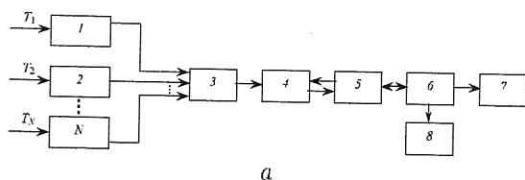


Рис. 2

ИИС включает в себя оптические пирометрические преобразователи 1, 2, ..., N, измеряющие температуру лопаток по N каналам. Сигнал с выхода пирометрических преобразователей поступает на мультиплексор 3, а далее — на аналого-цифровой преобразователь 4. Последний связан через интерфейс 5 с микропроцессором 6. Информация

с последнего подается на дисплей или жидкокристаллический индикатор 7 и на принтер 8.

Оптический пирометрический преобразователь (рис. 2, б) состоит из оптической головки 1 и электронного блока обработки 2, связанных между собой волоконно-оптическим кабелем 3. Это позволяет вынести из зоны высокой температуры блок 2. Оптическая головка состоит из ИК-прозрачного стекла 4 и объектива 5 с регулируемым фокусным расстоянием, позволяющим регулировать величину диаметра пятна визирования.

Достоинствами данной ИИС являются расширенные функциональные возможности по получению достоверной информации о температуре лопаток и высокая точность вследствие обеспечения возможности регулирования величины диаметра пятна визирования объектива.

4. Автоматизированная система для измерения температуры поверхности рабочих лопаток турбины ГТД. Структурная схема системы [10] приведена на рис. 3 [10]. Она включает оптический пирометрический преобразователь температуры с электронным блоком обработки сигнала 1, аналого-цифровой преобразователь 2, тактовый генератор 3, блок питания 4, параллельный программируемый адаптер 5, формирователь шины данных 6, дешифратор адреса 7, персональную ЭВМ 8. В состав схемы входят следующие шины: 9 — внешняя (интерфейсная) шина данных, 10 — внутренняя шина адреса, 11 — системная шина данных, 12 — шина управления. Через 13 обозначен сигнал выбора устройства, 14 — шина адреса, 15 — системная шина адреса, 16 — системная шина управления, 17 — системная магистраль вычислителя.

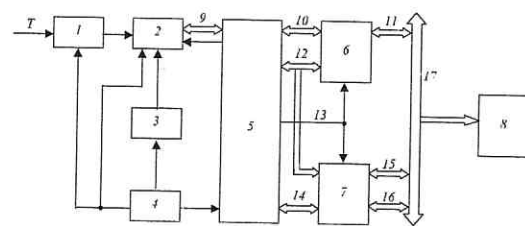


Рис. 3

Система обладает следующими основными техническими характеристиками: диапазон измеряемых температур 973 ... 1473K (700–1200 °C); диапазон воспринимаемого оптического спектра 0,4 ... 1,1 мкм; частотный диапазон 0 ... 100 кГц; временное разрешение < 1,0 мкс; характеристики визирования: расстояние до цели (объекта) 100 ... 120 мм, диаметр цели (объекта) 3,0 ... 8,0 мм; промышленная сеть: $U = 220$ В; $f = 40$ Гц; потребляемая мощность < 300 Вт.

5. Инфракрасная бесконтактная система для измерения температуры IRCON MODLINE 3. Структурная схема системы IRCON MODLINE 3 приведена на рис. 4. Она разработана фирмой IRCON [11].

В состав комплекта системы входит целая гамма инфракрасных бесконтактных преобразовате-

лей температуры 1, каждый из которых оптимизирован для конкретных условий применения. Эти преобразователи содержат объективы с изменяемым фокусным расстоянием (аналогичные по принципу действия популярным фотоаппаратам с зеркальной оптикой — SLR), позволяющие добиться пятна диаметром 0,3 мм.

Фирма предлагает также двухцветные (двухлучевые) преобразователи для работы в условиях перепада интенсивности излучения до 95% или волоконно-оптические устройства для измерений в труднодоступных местах.

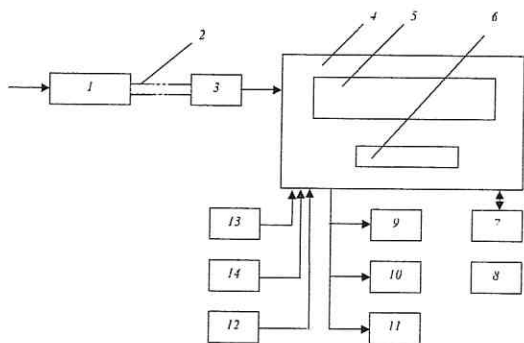


Рис. 4

С помощью волоконно-оптического кабеля 2 оптическое излучение поступает на фотоприемное устройство 3, где преобразуется в электрический сигнал.

В состав системы MODLINE 3 входит цифровой индикатор контроллер 4 с микропроцессорным управлением с обширным набором стандартных функциональных возможностей. Для обработки результатов измерений система MODLINE 3 снабжена специальным микропроцессорным блоком. Полученные данные выводятся на крупный светодиодный цифровой дисплей 5 с хорошим обзором. Запрограммированные характеристики и управляющие функции отображаются на вакуумном флуоресцентном цифробуквенном дисплее 6. В состав системы входят цифровой коммуникационный интерфейс 7 связи RS-485 и персональный компьютер 8. Предусмотрен съем выходного сигнала 4... 20 мА; 0... 20 мА для дополнительной оснастки (ставится потребителем): аналоговый амперметр 9, цифровой индикатор 10, ленточный самописец 11. В состав системы входят блоки: 12 — связи с сетью электропитания, 13 — выключателя детектора пиков и функции слежения/запоминания, 14 — дополнительный токовый вход 4... 20 мА.

Достоинством системы является высокая точность и воспроизводимость: погрешность $\pm 0,6\%$ показания + 1 последнего разряда или $\pm 0,6\%$ полной шкалы ± 1 последнего разряда (в зависимости от модели).

Помимо рассмотренных систем измерения температуры лопаток турбины ГТД имеются разработки и других зарубежных фирм, аналогичные отечественным и зарубежным, приведенным выше. С ними можно ознакомиться в Internet [12, 13].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сердюков, О. Тепло положили на лопатки / О. Сердюков // Изобретатель и рационализатор. 2004. № 12. С. 10–11.
2. Исаков, К. М. Воздушно-жидкостное охлаждение лопаток газовых турбин / К. М. Исаков, Ю. С. Шаталов // Вестник УГАТУ. Уфа, 2002. Т. 3, № 1. С. 91–97.
3. Физический энциклопедический словарь / Под ред. А. М. Прохорова. М.: Советская энциклопедия, 1984. 944 с.
4. Яворский, Б. М. Физика: для школьников старших классов и поступающих в вузы: учеб. пособие / Б. М. Яворский, А. А. Детлаф. М.: Дрофа, 2003. 800 с.
5. Яворский, Б. М. Физика: справочное руководство для поступающих в вузы / Б. М. Яворский, Ю. А. Селезнев. М.: Физматлит, 2004. 592 с.
6. Панфилов, В. А. Электрические измерения: учебник / В. А. Панфилов. М.: Академия, 2004. 288 с.
7. Госсорг, Ж. Инфракрасная термография. Основы, техника, применение / М.: Мир, 1988. 416 с.
8. Андреева, Т. П. Создание авиационного промышленного оптического пирометрического преобразователя: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Уфа: УГАТУ, 2002. 16 с.
9. Гусев, В. Г. Получение информации о параметрах и характеристиках организма и физические методы воздействия на него: учебное пособие / В. Г. Гусев. М.: Машиностроение, 2004. 597 с.
10. Андреева, Т. П. Локальная автоматизированная система для измерения температуры поверхности рабочих лопаток турбины газотурбинных двигателей / Т. П. Андреева, И. Т. Губайдуллин // Двигатели XXI века: междунар. науч. конф. М.: ЦИАМ, 2000.
11. Инфракрасная бесконтактная система для измерения температуры IRCON MODLINE 3 // <http://www.wftest.ru>.
12. <http://www.landinstruments.net/comb/index.html>.
13. <http://www.landinst.com/combustion/downloads/pdf/turbine-temperature-analysis.pdf>

ОБ АВТОРАХ



Ураксеев Марат Абдулович, проф. каф. информ.-измерит. техники. Дипл. инж.-электро-механик (Ташкентск. политехн. ин-т, 1963). Д-р техн. наук по элементам и устр-вам выч. техники и систем упр-ния (защ. в МИЭТ, 1982). Иссл. средств и методов измерения физических величин.



Камалов Сергей Вячеславович, аспирант каф. МАБН УГИС. Дипл. инж. (УГИС, 2002). Готовит дис. по информ.-измерит. системам контроля температуры лопаток ГТД.