

К. И. КАПИТАНИК

РАДИАЦИОННЫЙ ПИРОМЕТР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ
ТЕМПЕРАТУРЫ ГАЗА ПЕРЕД ТУРБИНОЙ

В статье рассматривается проблемный вопрос измерения температуры газа перед турбиной и создания безинерционного датчика T_g^* для различных систем автоматического управления.

В последнее время в отечественных и зарубежных исследованиях уделяется большое внимание разработке методов и созданию приборов бесконтактного термометрирования рабочих лопаток турбин ГТД.

В существующих авиационных двигателях температура лопаток турбин контролируется по температуре газа за турбиной, которая замеряется термопарами (обычно хромель-алюмелевыми). Однако ошибка измерения температуры лопаток достигает 35°C . Из них $5-10^{\circ}\text{C}$ приходится на погрешность термопары, около 30°C - ошибка, вызванная изменением к. п. д. турбины в процессе эксплуатации. При охлаждении лопаток их температура зависит не только от температуры газа и охлаждающего воздуха, но и от коэффициента теплоотдачи. При этом погрешность может быть очень большой.

При термометрировании турбин ГТД большие перспективы имеет радиационный пирометр. С помощью такого пирометра температура поверхности определяется по энергии, излучаемой визируемой поверхностью (целью) в узком спектральном диапазоне длин волн, чаще всего в инфракрасном. При этом соотношение между воспринимаемой приемником (пирометром) лучистой энергией и температурой поверхности определяется по закону Вина [1]:

$$E(\lambda, T) = \epsilon_{\lambda} \frac{C_1}{\lambda^5} e^{-\frac{C_2}{\lambda T}}$$

или приближенно

$$E = \kappa T^n$$

где

ϵ_{λ} - степень черноты излучаемой поверхности;
 C_1, C_2, κ - постоянные;

λ - длина волны приемника;

$n = \frac{c}{\lambda T} = 10 \div 20$ - показатель степени.

При этом точность измерения лучистого потока в 10-20 раз менее жесткая, чем точность измерения температуры поверхности. Это свойство определяет перспективность фотоэлектрического пирометра. При этом необходимо учесть следующие обстоятельства:

- 1) для достаточной величины выходного сигнала надо производить измерение в достаточно широкой полосе длин волн и в полосе максимальной интенсивности излучения;
- 2) для измерения необходимо использовать диапазон длин волн, в котором степень черноты излучателя достаточно велика и стабильна;
- 3) линия связи между излучателем и приемником должна вносить минимум помех из-за излучения посторонних частиц или из-за поглощения промежуточной средой;
- 4) для снижения погрешности из-за вариации степени черноты излучателя целесообразно использовать диапазон коротких волн.

В качестве приемника выбирают кремниевый фотоэлемент с полосой пропускания 0,4 - 1,15 мкм и максимумом чувствительности около 0,9 мкм. Он обеспечивает точное измерение температуры от 600 до 1500°C. Кремниевый фотоэлемент достаточно прочен и термостоек: не разрушается при общих ускорениях до 6g, вибрациях до 10g и температурах до 300°C, обладает малой инерционностью.

Так как полезный сигнал радиационного термометра при $t < 500^\circ\text{C}$ становится весьма малыми и забивается помехами, то для контроля температуры на режимах запуска двигателя необходимо предусмотреть установку термопар. Такая смешанная система более простая и надежная, чем "всерезимная" система.

Сейчас решены вопросы уплотнения оптики и очистки ее от загрязнения, а также ее надежность и ресурс в условиях двигателя. Так на установленном на американском двигателе "Олимп - 593" радиационном пирометре после 150-часовых испытаний никаких загрязнений не было замечено при применении продувки датчика чистым сжатым воздухом [2].

Так как и э.д.с. фотоэлемента и его проводимость сильно меняется при изменении температуры фотоэлемента, то разрабатывается преобразователь-усилительный блок, который корректирует нелинейность фотодатчика.

Погрешность показаний может вызываться рядом причин, из которых главными являются отличия излучения лопаток от излучения абсолютно черного тела и колебания температуры фотоэлемента. На основании опытов полагают, что степень черноты рабочих лопаток турбины составляет около 0,8, а коэффициент отражения - 0,2. В целом коэффициент эффективной степени черноты мишени составляет 0,92. При этом остаточная погрешность составляет 3°C на каждые 1000°C при колебаниях фотодатчика в пределах от 0 до 130°C.

Выходные сигналы пирометра можно использовать для индикации температуры T_r^* , в качестве сигнала $T_{r\text{заб}}$ для работы систем автоматического управления работой силовой установки и в качестве параметра, по которому срабатывает система защиты.

Ожидаемые от внедрения радиационных пирометров преимущества настолько значительны, что работа по реализации проекта радиационного пирометра на серийных самолетах интенсивно продолжается.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л.З. Криксунов. Справочник по основам инфракрасной техники. "Советское радио", Москва, 1978.
2. Л.З. Криксунов, И.Ф. Усольцев. Инфракрасные устройства самонаведения управляемых снарядов. "Советское радио", Москва, 1963.