

УДК 536.3

С.В. Воробьев

¹ *Центральный институт авиационного моторостроения им. П.И. Баранова, Россия,
11116, Москва, Авиамоторная ул., 2, E-mail: vorobyev@rtc.ciam.ru*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТОПЛИВА В ПОТОКЕ С ПОМОЩЬЮ ТЕПЛОВИЗИОННОЙ ТЕХНИКИ ПО ПОГЛОЩЕНИЮ ИЗЛУЧЕНИЯ

АННОТАЦИЯ

Целью работы было исследование возможности и отработка методики диагностики работы топливной системы огневого стендового воздухоподогревателя с помощью тепловизионной системы. В данной работе показан метод диагностики работы и равномерности распыла топлива форсунками с помощью тепловизионной системы по поглощению излучения аэрозольным потоком от фонового источника излучения. Для регистрации излучения использовалась коротковолновая тепловизионная система АГА-782, работающая в диапазоне измерения длин волн $\Delta\lambda=2,0—5,6$ мкм. Выходной сигнал в виде термоизображения записывался и обрабатывался на компьютере. Метод основан на зависимости поглощения ИК-излучения от количества и распределения по размерам капель керосина. В зоне прямой видимости тепловизора это позволяет провести оценку работы топливной системы по величине отношения энергетической яркости излучения фонового излучения потока с подачей керосина и чистого потока.

ТЕПЛОВИЗОР, ПОГЛОЩЕНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ, ДВУХФАЗНЫЙ ПОТОК

ВВЕДЕНИЕ

Конструкция воздухоподогревателя аналогична камере сгорания прямоточного воздушно-реактивного двигателя. Камера сгорания состоит из стабилизаторов пламени, системы запуска, которая содержит испарительную трубку с форсункой, электрическую свечу зажигания, воспламеняющую топливо внутри испарительной трубки, а также распылителей, которые распределяют топливо в потоке воздуха перед стабилизаторами. Во время работы воздухоподогревателя, особенно на режимах неустойчивого горения, возможен срыв пламени. Попытка повторного запуска без диагностики состояния воздухоподогревателя может привести к аварийной ситуации, а остановка эксперимента для охлаждения системы и последующего осмотра - к увеличению времени на проведение испытаний. Коксование форсунок или прогар элементов камеры сгорания влияет на распределение топлива в потоке. Для диагностики аэрозольных потоков целесообразно применять бесконтактные оптические методы, которые имеют ряд преимуществ по сравнению с контактными методами, которые вносят дополнительные возмущения в поток и являются слишком инерционными, что не позволяет регистрировать изменения в быстропеременных процессах. Наиболее распространены оптические методы диагностики двухфазных течений с применением лазерной техники PIV (Particle Image Velocimetry), IPI (Interferometric Particle Imaging), PTV (Particle Tracking Velocimetry) и др. Эти методы эффективно используются для исследовательских и научных работ, позволяют определять

распределение по размерам, концентрацию, скорости частиц, но требуют достаточно дорогостоящего оборудования и высококвалифицированного обслуживания. Поэтому в данной работе предпринята попытка провести диагностику работы топливной системы с помощью тепловизионной системы, регистрирующей изменение поглощения излучения от горячих элементов камеры сгорания топливовоздушной аэрозолью. После запуска камеры сгорания возможен также контроль процесса горения [1].

МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЯ

Отработка методики проводилась на открытом стенде при атмосферных условиях. Поток чистого воздуха с заданным давлением подавался по трубопроводу 1 (рис. 1), на срезе которого устанавливался распылитель 2. Для имитации неравномерного излучения от элементов камеры сгорания применялся фоновый источник 3 в виде металлической пластины толщиной 3 мм, за которым располагался прожектор 4 с галогеновой лампой в виде цилиндра мощностью 1 кВт. В результате лист прогревался неравномерно с максимальной температурой в центральной части. Регистрация излучения осуществлялась тепловизионным сканером 5, который устанавливался параллельно плоскости распыла и теплового экрана. Выходной сигнал через блок управления тепловизионной системой 6 записывался с помощью платы АЦП на компьютере 7 в виде термоизображений с разрядностью 8 бит и обрабатывался после эксперимента.

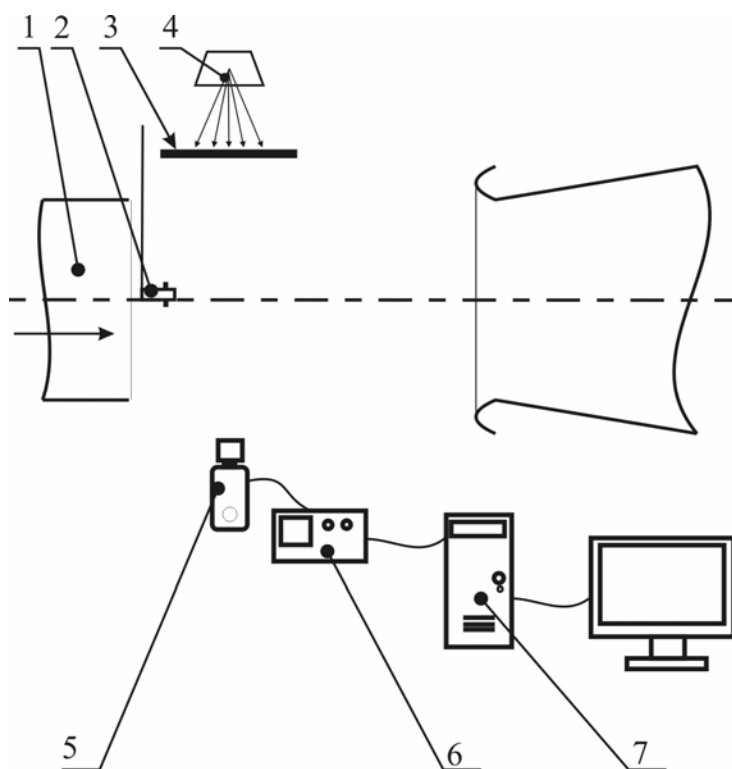


Рис. 1. Схема стенда для исследования поглощения излучения топливовоздушной аэрозолью с применением тепловизионной системы.

Топливный распылитель состоит из полого профиля с отверстиями различного диаметра. Топливо подается в торцевую часть с заданным давлением.

Во время экспериментов исследовалась также пульсационная составляющая давления топлива, имитирующая неисправную работу топливрегулирующей аппаратуры и насосов.

Обработка данных

Коэффициент поглощения ИК-излучения потоком имеет зависимость от количества и распределения по размерам капель керосина, что позволяет провести качественную оценку распределения топлива за распылителем по отношению энергетической яркости излучения от теплового экрана с подачей керосина и чистым потоком, откуда равномерность распределения топлива в пространстве определяется по формуле:

$$\tau = 1 - \frac{B_{\epsilon}}{B_0} \quad (1)$$

Как следует из формулы (1), применение безразмерной величины τ позволяет проводить расчеты без дополнительной калибровки тепловизионной системы и неравномерности излучения от фонового экрана, что важно при стендовых испытаниях, когда возможно выпадение сажи на защитные стекла. Результаты обработки показали, что для анализа и диагностики во время проведения эксперимента достаточно применять значения сигнала измеренного тепловизором, если сигнал имеет линейную зависимость от энергетической яркости излучения:

$$\tau = 1 - \frac{I_{\epsilon}}{I_0} \quad (2)$$

На рис. 2 представлены термоизображения до подачи керосина, во время подачи, а также результат обработки по формуле 1.

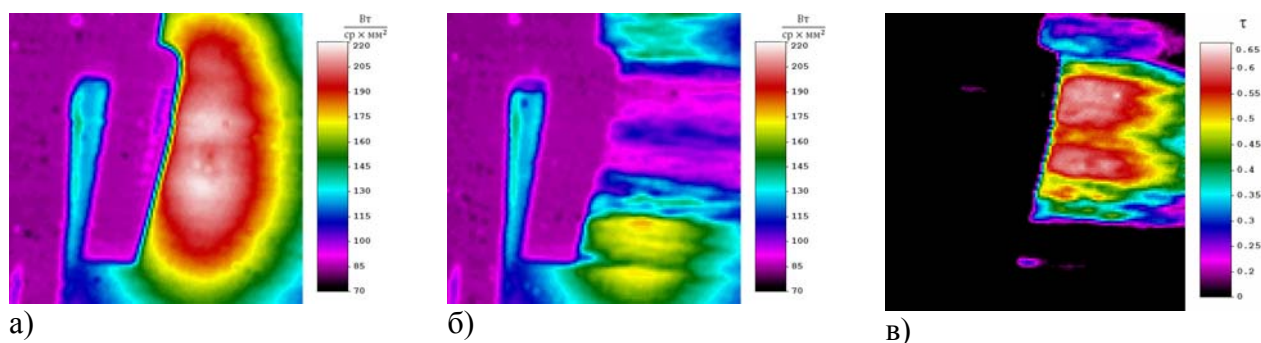


Рис. 2. Термоизображение топливораспыливающего пилона на фоне экрана до подачи керосина а), во время подачи б) и результат обработки термоизображений в)

При обработке следует учитывать, что из-за особенности конструкции камеры, возможно неравномерное по времени охлаждение потоком стенки камеры сгорания, которая является фоновым экраном. В таких случаях эффективно применять методы обработки, применяемые в неразрушающем тепловом контроле с учетом охлаждения. Также следует учитывать, что при низком уровне излучения от фонового экрана и высокой концентрации топлива в потоке возможно полное поглощение излучения, что не позволит определить распределение аэрозоля, и диагностировать работу топливной системы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение бесконтактных оптических методов позволяет в большинстве случаев эффективно проводить диагностику, контроль и исследовательские работы без воздействия на объекты. В данной работе представлен метод контроля топливной системы с применением тепловизионной техники, которая позволяет оценивать по поглощению излучения от стенок камеры сгорания или других нагретых тел распределение

топливовоздушной смеси. Контроль проводится обработкой термоизображений до подачи топлива и во время подачи с возможностью последующего сравнения результатов с эталонными данными работоспособной камеры сгорания на соответствующих режимах. Кроме того, при обработке серии термоизображений полученных с определенной частотой, возможно оценивать работу топливорегулирующей аппаратуры, критерием оценки которой являются пульсации распределения топлива вследствие наличия воздуха в топливных магистралях, неправильной работы клапанов или топливных насосов. Данный метод позволяет проводить контроль состояния камеры сгорания между повторными запусками, проводить диагностику образования прогаров, нарастания кокса или засора топливных форсунок. В перспективе предстоит уточнение методики по данным измерения скорости, размеров и распределения топлива в потоке, полученных с помощью методов PIV и LDA.

СПИСОК ОБОЗНАЧЕНИЙ

τ – величина, характеризующая распределения топлива в потоке;

I – сигнал, пропорциональный энергетической яркости излучения, измеренный тепловизором, мВ, бит;

B – энергетическая яркость излучения, Вт/(см²·ср)

Индексы:

к – с подачей керосина;

0 – без подачи керосина, чистый поток.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Воробьев С.В.** Применение тепловизора при испытании огневого воздухоподогревателя // Оптические методы исследования потоков: Тез.докл. 9-й Межд. конф. М.: МЭИ, 2009. С. 350.
2. **Нестерук Д.А., Вавилов В.П.** Тепловой контроль и диагностика: Учебное пособие / Томск.: Издательство ТПУ, 2007

S.V. Vorobyev

¹ Centre Institute of Aviation Motors (CIAM), Russia,
111250, Moscow, Aviamotornaya st., 2, E-mail: vorobyev@rtc.ciam.ru

DETERMINATION OF THE DISTRIBUTION OF FUEL IN A WITH A THERMOVISION SYSTEM ON THE ABSORPTION OF RADIATION

The objective was to study the possibility and development of methods of diagnosis of the fuel system of the bench firing air heater with a thermal imaging system. This paper shows a method of diagnosing and uniformity of the fuel spray nozzles via the absorption of thermal radiation from the background flow of aerosol source. To register shortwave radiation used thermal imaging system AGA-782, operating in the range of measurement wavelength $\Delta\lambda = 2,0-5,6 \mu\text{m}$. The output signal in the form thermoizoboazheniya recorded and processed by a computer. The method is based on the dependence of the absorption of infrared radiation on the number and size distribution of the drops of kerosene, which allows an assessment of the fuel system in line of sight with respect thermal background radiation with supply of kerosene and clean thread.

THERMOVISION, ABSORPTION OF RADIATION, TWO-PHASE FLOW