РАЗДЕЛ XII. КОСМОС И АВИАЦИЯ

Гулин А.И., Амиров А.Р.

Обзор современных методов измерения температуры газов в камере сгорания газотурбинного двигателя

*Уфимский государственный нефтяной технический университет
(Россия, Уфа)*

doi: 10.18411/lj-12-2020-114

idsp: ljjournal-12-2020-114

Аннотация

В статье рассмотрены современные методы измерения температуры газов в камере сгорания газотурбинных двигателей с использованием струйно- акустических датчиков и метода пирометрии, основанном на относительных измерениях интенсивности в широком спектре светящегося объекта. Приведены сравнительные характеристики, а также перспективы применения в промышленности каждого из методов.

Ключевые слова: температура, газотурбинный двигатель, камера сгорания, струйно-акустический датчик, акустический мультивибратор, спектральный пирометр.

Abstract

The article discusses modern methods for measuring the temperature of gases in the combustion chamber of gas turbine engines using jet acoustic sensors and the pyrometry method based on relative measurements of the intensity in a wide range of a luminous object. Comparative characteristics are given, as well as the prospects for the application in industry of each of the methods.

Keywords: temperature, gas turbine engine, combustion chamber, jet acoustic sensor, acoustic multivibrator, spectral pyrometer.

Современные газотурбинные двигатели (ГТД) состоят из множества узлов. Наиболее ответственным является камера сгорания (КС), в которой предельная температура газов достигает 1800 °С. В настоящее время для измерения температуры газового потока применяют термопары различных модификаций, однако их время запаздывания составляет 10-12 секунд. Важным фактором, влияющим на работоспособность ГТД, является то, что повышение температуры лопаток ГТД на 5 °К приводит к перерасходу топлива на 7% и снижению его ресурса на 10%.

Для измерения величины температуры в КС ГТД существуют как прямые, так и косвенные методы. Вторые называют методом синтеза температуры, который заключается в измерении различных параметров ГТД, например, частоты вращения ротора n и ее производной dn/dt , и в определении на основе этих данных температуры газа с помощью вычислительных устройств. Для этих методов характерны статические погрешности при разработке модели ГТД по температуре газа. Прямые методы, в свою очередь, делятся на контактные и бесконтактные. Контактные методы предполагают наличие надежного контакта с предметом, у которого снимается температура. Вторые же, в свою очередь, не предусматривают тесный контакт [1] с предметом, у которого необходимо снять показания температуры.

При измерении температуры до 1800 °С датчиком температуры является термопара, основной недостаток которой – низкое быстродействие.

В [2] предложена быстродействующая схема измерения температуры газового потока на основе струйно-акустического датчика. Датчик представляет собой замкнутую [3] автоколебательную нелинейную систему – акустический

мультивибратор (АМВ), выходная частота f прямоугольных импульсов которого отображает измеряемую абсолютную температуру T

$$f = b \cdot \sqrt{T}, \quad (1)$$

где b – коэффициент, зависящий от конструктивных параметров датчика.

На рисунке 1 (а) представлен струйный датчик температуры в разрезе, а на рисунке 1 (б) его внешний вид.

Рисунок 1 – Струйный датчик температуры

Выходной сигнал изменяется в больших пределах, например, в струйных датчиках температуры САДО-1 при изменениях абсолютной температуры $T = 293 \div 1650 \text{ K}$, частота f изменяется от 8200 до 30000 Гц. Датчик снабжен входным устройством 1 (Рис.1, а), акустическим мультивибратором 2, который общается со звукопроводом 3 и с пьезоэлектрическим преобразователем 4. Газ, протекая через датчик, сбрасывается через выхлопной жиклер 5 и канал 6, соединенный со штуцером 7 в область пониженного давления.

Разработанная на основе струйного датчика функциональная схема одноканального измерителя температуры с адаптивным селектором представлена на рисунке 2.

Рисунок 2 – Функциональная схема одноканального измерителя температуры

Принцип работы схемы: преобразователь температуры в акустические колебания (ПТАК) преобразовывает температуру газового потока в колебания с в

прямоугольные импульсы частотой nf_A , которые с помощью преобразователя акустических колебаний в частоту (ПАКЧ) преобразуются в электрические колебания, согласно ряду Фурье, с частотой nf . Далее измеренное значение этой частоты преобразуется в код с использованием электронно-управляемого функциональным генератором развертки (ФГР) фазовращателя (ЭУФ), соединенного с первым входом индикатора равенства фаз (ИРФ), на второй вход которого поступает преобразуемая частота напрямую. Чтобы расширить диапазон измерений, ЭУФ, соединенный с первым входом ИРФ, осуществляет перестройку частоты квазирезонанса ЭУФ до равенства фаз с частотой, поступающей непосредственно на второй вход компаратора, под управляющим воздействием ФГР, запускаемого одновибратором (ОВ). ИРФ при равенстве фаз через ключ фиксирует напряжение развертки ФГР, которое с помощью аналого-цифрового преобразователя (АЦП) [4] преобразуется в код, соответствующий значению измеренной температуры.

На рисунке 3 представлена динамическая характеристика измерителя при скачке температуры на 300 °С, на которой видны выбросы температуры, связанные с турбулентностью подаваемого горячего воздуха в тепловую камеру.

Рисунок 3 – Динамическая характеристика при скачке температуры на 300 оС

Выбросы температуры в основном составляют ± 10 градусов, а некоторые достигают 40 градусов – связаны с турбулентностью подаваемого воздуха.

К преимуществам струйно-акустических датчиков перед другими типами преобразователей следует отнести:

- измерение мгновенных значений температур;
- высокую чувствительность при $T = 293\text{ К}$ и $f = 5\text{ кГц}$ - $df/dT = 8.5\text{ ГГц/град}$;
- малую инерционность, так как каналы имеют интенсивный проток газа;
- меньшую вероятность засорения (нет длинных и узких каналов);
- высокую надежность.

В настоящее время ведутся работы по использованию бесконтактных спектральных методов, одной из разновидностей которых является метод пирометрии [5], основанный на относительных измерениях интенсивности в широком спектре светящегося объекта, который в данном случае является сажей. Уравнение измерения температуры в камере сгорания записывается по формуле 2:

$$\ln(\lambda^5 \cdot I) - \ln(\varepsilon \cdot C_1) = -\frac{C_2}{\lambda \cdot T}, \quad (2)$$

где I – спектральное излучение газового потока, Вт·м⁻²·нм⁻¹;

λ – длина волны излучения, нм;

T – температура газового потока, К;

w – весовой коэффициент линейной регрессии;

C_1, C_2 – первая и вторая константа излучения.

Многоспектральный датчик состоит из сапфировой трубки, металлического блока, пучка оптических волокон. Металлический блок используется для фиксации сапфирового стержня в стенке КС. Датчик также включает в себя восемь кремниевых фотоприемников и позволяет обнаруживать шесть каналов в видимой области с центральными длинами волн: 426; 458; 514; 558; 609; 658 нм. Канал 850 нм используется в качестве индикатора влияния ИК-излучения на мультиспектральный сенсор. Конструкция датчика продемонстрирована на рисунке 4.

Рисунок 4 – Принципиальная схема многоспектрального датчика

Спектр излучения измерен датчиком и показан на рисунке 4.

Рисунок 5 – Спектр излучения, соответствующий шести режимам работы ГТД

Полученная температура демонстрирует ступенчатый прогон. Эта форма соответствует зависимости подачи топлива от времени. Несмотря на ряд достоинств, оптические методы имеют недостатки: закопчение, использование нейронных сетей и т. д., не позволяющие их длительное применение на борту.

На основании проведенного анализа существующих методов измерения температуры газов в КС ГТД можно сделать вывод, что прямые бесконтактные методы имеют хорошие перспективы в освоении проблемы повышения точности измерения. В особенности можно отметить актуальность проведения исследований, направленных на совершенствование струйной системы измерения температуры с использованием

цифровой обработки данных [6], а также на создание новых или модернизацию существующих быстродействующих и надёжных измерителей температуры, основанных на спектральных методах, для работы в условиях электромагнитных и радиационных полей.

1. Бабаев М. А. Приборостроение: конспект лекций. – М.: Эксмо, 2007 – 160 с.
2. Бабкин В.И., Гулин А.И., Смагин А.Е., Галиев А.Л., Сухинец Ж.А. «Самонастраивающийся измеритель температуры газа ГТД на струйно-акустических датчиках» Авиакосмическое приборостроение, № 1, с. 3-13 (2020).
3. Залманзон Л.А. Теория элементов пневмоники. М.: Наука, 1969. – 508 с.
4. Sukhinets Zh.A., Sukhinets A.V., Functional conversion frequency-code for frequency sensors // Data electrical and data processing facilities. – USUES, Ufa, 2014. –b. 10. № 4. - P. - 88-93.
5. Sukhinets Zh.A., Sukhinets A.V., Gulin A.I. Features of the Use of Jet-Acoustic Sensors for Dynamic Measurements of Gas Temperature in Gas Turbine Engines // 2017 IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS), Novi Sad, Serbia, 2017, P. 1-4. DOI: 10.1109 / EWDTS.2017.8110088
6. Чаплыгин Э.И., Дьячков Е.А., Горюнов В.А., Корзин В.В. Повышение стабильности работы струйных термопреобразователей // Датчики и системы \ Sensors & Systems. – 2003. – № 10. – С. 31-33.

Орлова Л.В., Галигузова А.А., Смирнова А.Д.
Современные решения в кабине экипажа воздушного судна

*ФГБОУ ВО «Ульяновский институт гражданской авиации имени Главного
маршала авиации Б.П. Бугаева»
(Россия, Ульяновск)*

doi: 10.18411/lj-12-2020-115

idsp: ljjournal-12-2020-115

Аннотация

Повышение количества, длительности и сложности полетов по всему миру вызвало некоторые трудности как для пилотов/летчиков воздушных судов, так и для диспетчеров управления воздушным движением. Эти сложности требуют современных и своевременных решений с применением новых компьютерных систем и технологий. Исследование представляет собой изучение теоретических данных о современных системах и технологиях на основе передового мирового опыта и анализ актуальности применения данных технологий в авиации.

Ключевые слова: искусственный интеллект, компьютерная система, алгоритм, адаптация, система управления полетом.

Abstract

The increase in the number, duration and complexity of flights around the world has caused some difficulties for both pilots / aviators of the aircraft and air traffic controllers. These complexities require modern and timely solutions using new computer systems and technologies. The study is a learning of theoretical data on modern systems and technologies based on world best practices and an analysis of the relevance of the application of these technologies in aviation.

Keywords: artificial intelligence, computer system, algorithm, adaptation, flight control system.

Многие из нас слышали об искусственном интеллекте, но мало кто понимает, на что он способен. Ниже будут рассмотрены определение и возможности искусственного интеллекта, а также его применение в авиации.

Искусственный интеллект – это «умные» системы, способные выполнять эвристические функции (которые изначально являлись преимущественным правом