

УДК 669:536.52:53.08:535.253.21

Т.П. Андреева, И.Т. Губайдуллин, А.Р. Гумеров

*Открытое акционерное общество Уфимское научно-производственное предприятие «Молния»,
Россия*

ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ПЛАМЕНИ В ОСНОВНОЙ КАМЕРЕ СГОРАНИЯ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Проведен аналитический обзор разработок и определены основные направления развития оптико-электронных систем контроля пламени в камерах сгорания газотурбинных двигателей по материалам публикаций в РФ и за рубежом. Представлены результаты научно-исследовательских работ по созданию оптико-электронной системы ОЭС-2011 контроля пламени в основной камере сгорания газотурбинного двигателя ПД-14. Разработано программное обеспечение, позволяющее получать в реальном масштабе времени информацию о параметрах излучения пламени в камере сгорания в различных диапазонах электромагнитного спектра (ультрафиолетовом, видимом и инфракрасном) и одновременно наблюдать спектр частот колебаний и вибрационного горения пламени. Полученная системой информация передается с частотой 100 Гц в систему мониторинга параметров двигателя более высокого уровня.

Ключевые слова: оптико-электронная система, камера сгорания, контроль пламени, газотурбинный двигатель.

Введение

Одной из наиболее актуальных и сложных задач в создании современного авиационного газотурбинного двигателя (ГТД) является разработка малоэмиссионной камеры сгорания (МКС) с низким уровнем эмиссии вредных веществ и высокой топливной эффективностью.

Созданием оптико-электронных средств для исследования и управления процессом горения в камерах сгорания (основной, форсажной) ГТД занимаются многие фирмы в странах с развитой промышленностью и наукой. Перечень фирм - производителей оптико-электронных средств (оптико-электронных датчиков, систем контроля пламени) содержит более 30 фирм.

Наибольшую активность на рынке разработчиков, производителей проявляют следующие фирмы: Rosemount Aerospace Inc., (в составе Goodrich Corp.); General Electric Company; Meggitt Avionics, Inc.; США; Auxitrol, Франция; Detector Electronics Corp., США; Detector Electronics Ltd, UK; Rotadata Ltd., UK; Armtex Industries Inc., UK; Babcock Hitachi KK, Япония.

В разработке современных, новейших оптико-электронных средств активно участвуют ведущие научно-исследовательские центры (NASA, DARPA, MTU), США Европы, Великобритании, Японии [1].

Совокупность проведенных и планируемых исследований, сведения по объемам финансирования позволяют сделать предположение, что цели

и задачи создания компактных, экологичных, экономичных, технологичных КС являются приоритетными и находят отражение в национальных и транснациональных целевых программах E³, ИРТЕТ, VAATE, ЕСО.

Аналогичные исследования, проводимые в РФ, Украине, имеют фрагментарный характер, объем финансирования за последние 15-20 лет ничтожно мал.

1. Основные направления исследований процессов горения в камерах сгорания

При обнаружении (регистрации) наличия (отсутствия) пламени используются методы спектральной селекции излучения по характеристикам распределения мощности излучения в электромагнитном спектре: ультрафиолетовом (УФ), видимом, инфракрасном (ИК), а также методы частотной селекции динамических (временных) характеристик излучения. При этом появляется возможность отделить излучение пламени от излучения поверхностей твердых тел (стенка КС, решетка соплового аппарата первой ступени ТВД), создающих фоновое излучение.

Проводятся исследования по определению температуры пламени методами спектральной пирометрии с использованием современных ПЗС-спектрометров с волоконно-оптическим входом типа (HR 2000+ Ocean Optics). Рассматривается возможность расчетно-эксперименталь-

ной оценки температуры пламени без использования дополнительных источников излучения и привлечения данных об излучательной способности [1, 2].

Примеры реализации физических устройств для контроля пламени по излучению представлены в различных приборах.

В устройстве разработки фирмы General Electric Company монитор пламени «Flame monitor», патент Giersch GmbH (Hemer, DE) US 6,168,419, США, F23N 005. [3] контроль пламени осуществляется по излучению от УФ до ИК. Система выдает команды при отсутствии пламени, а также, когда спектр излучения смещается в сторону желтого цвета пламени.

В устройствах, реализующих патенты фирмы Meggitt Avionics, Inc. [4, 5], используется метод мониторинга пламени в ГТД по характеристикам спектра излучения в УФ, видимой и ИК части спектра.

В устройствах, запатентованных фирмой Babcock Hitachi KK, Япония [6, 7], описана система контроля и регулирования режима горения по параметрам спектра, контролируемым спектрофотометром. Диагностика горения проводится по результатам спектрального анализа.

Фирма American Air Liquide, Inc. разработала устройство и метод диагностики и контроля пламени с оптической транспортной системой и оптическим процессором для анализа спектра сигнала [8].

Для регистрации пламени с учетом его пространственного расположения (геометрическая форма и размеры ядра факела) фирмой General Electric Company разработана специализированная волоконно-оптическая система для контроля пламени в основной камере сгорания ГТД с

множеством датчиков [9] с применением сложных (адаптивных самонастраивающихся) алгоритмов оптимального приема сигналов на фоне помех и шумов.

Фирмы Detector Electronics Corporation (США), Detector Electronics Ltd (Великобритания), торговая марка "DETRONICS", традиционно специализируются на производстве приборной продукции, датчиков (детекторов, сенсоров). Основная поставляемая продукция - детекторы газа, газоанализаторы, оптические детекторы пламени, контроллеры, блоки согласования, аппаратура контроля и тестирования для решения задач контроля безопасности в нефтегазодобывающей промышленности.

Активными исследованиями процессов горения в камере сгорания продолжают заниматься фирмы Auxitrol, Франция, Goodrich, США.

В России исследованием процессов горения в камерах сгорания занимался ЦИАМ [10, 11, 12, 13, 14, 15].

Экспериментальные образцы систем обнаружения пламени для розжига топлива в форсажной камере ТРДДФ, для розжига основного топлива маршевого ПВРД разрабатывались в УАКБ «Молния» и серийно производятся в УАПО, г. Уфа.

2. Разработка оптико-электронной системы контроля пламени

Для контроля процессов горения кольцевой МКС газогенератора ГТД ПД-14 в ОАО УНПП «Молния» разработана оптико-электронная система ОЭС-2011. Схема установки экспериментального образца оптической пирометрической системы ОЭС-2011 представлена на рис. 1.

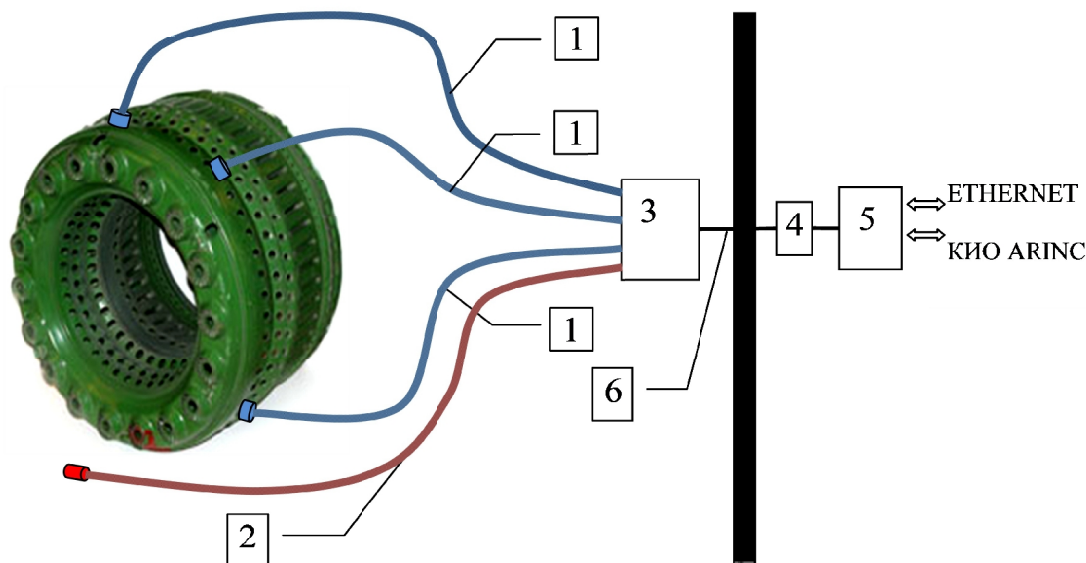


Рис. 1. Схема установки на полноразмерную камеру сгорания экспериментального образца ОЭС-2011
1. Оптические зонды, установленные на эндоскопические лучки камеры сгорания. 2. Трубопровод для подвода давления газового потока к датчику давления. 3. Оптико-электронный блок системы. 4. Электронный блок преобразования сигналов. 5. Компьютер. 6. Кабель для подключения оптико-электронной системы

Система ОЭС-2011 обеспечивает:

- бесконтактное преобразование электромагнитной энергии теплового излучения плазмы пламени на разных участках спектра (в том числе в УФ, видимом и ближнем ИК участках спектра) в аналоговый и цифровой электрические сигналы в реальном масштабе времени;
- обнаружение розжига пламени, выявление вибрационного горения;
- прием, обработку в реальном масштабе времени информации от первичных преобразователей, визуализацию во временной области (в форме непрерывной осциллограммы), в частотной области (в форме изменяющегося во времени спектра частот);
- передачу выходных цифровых электрических сигналов ОЭС-2011 в автоматизированные системы (АСУ) верхнего уровня типа «Парус-9М» через сетевой интерфейс по протоколу Ethernet и через OPC-сервер АСУ;
- запись (регистрацию и архивирование) принятых, обработанных сигналов на локальный накопитель цифровых данных.

В состав системы для комплексирования информации, расширения функциональных возможностей введен дополнительно канал приема информации – пневмоканал подвода давления от камеры сгорания газогенератора.

Встроенный в электронный блок преобразователя ОЭП-М3 быстродействующий датчик давления обеспечивает измерение пульсаций абсолютного давления в диапазоне давлений 0-40 бар с задержкой не более 1мс. Такое комплексирование позволит выявлять корреляционные взаимосвязи между различными физическими параметрами газодинамических и теплофизических процессов.

Специализированное программное обеспечение (СПО) обеспечивает удобный графический интерфейс пользователя. Основное окно СПО предназначено для управления обработкой и работой с файлами записей сигналов.

Изображение основного окна представлено в рис 2.

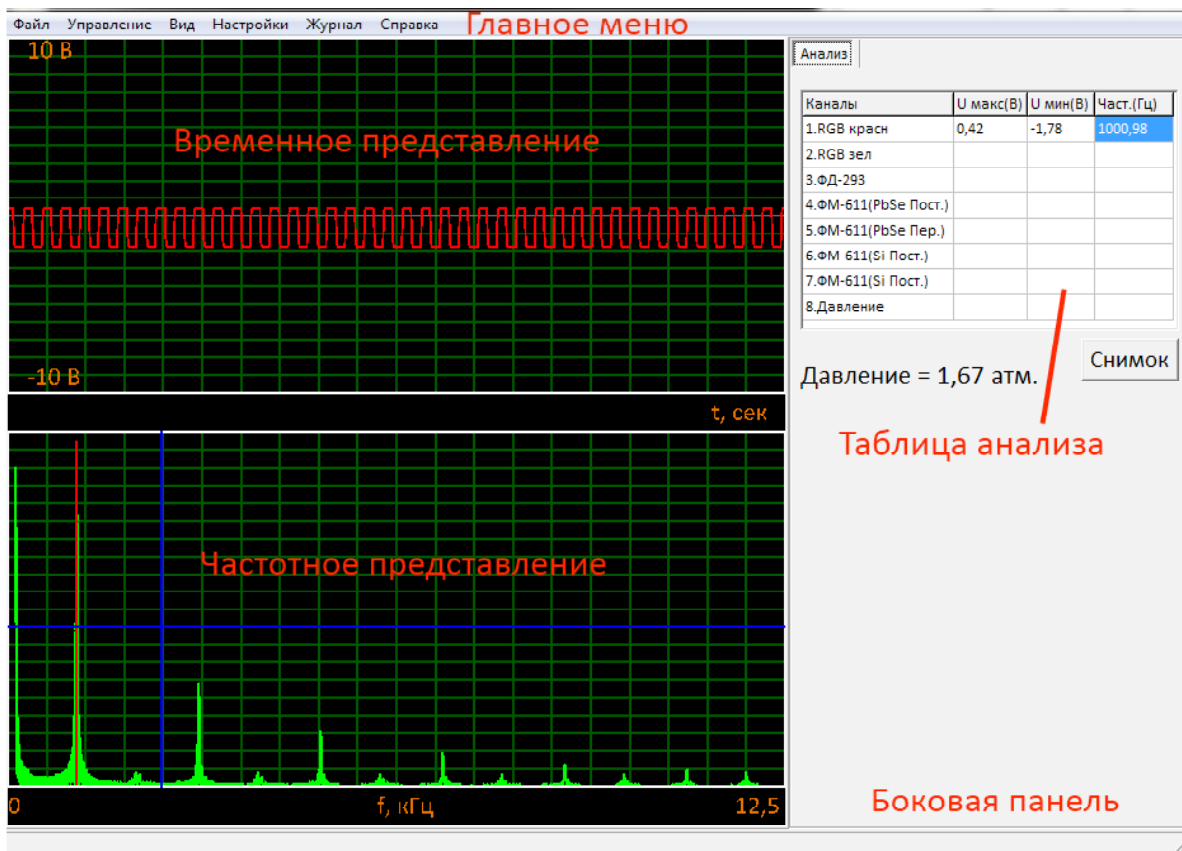


Рис. 2. Главное окно интерфейса пользователя, разработанного СПО для оптико-электронной системы ОЭС

В графиках и информационных панелях отображается обработанная информация о сигнале во временном и частотном представлении. При обработке сигналов используется алгоритм быстрого преобразования Фурье (БПФ).

Предварительная обработка сигналов, производится в электронном блоке. Дальнейшая обработка оцифрованной информации производится с использованием специализированного программного обеспечения в компьютере.

Для обеспечения возможности обработки зарегистрированной, архивированной информации в накопителе компьютера, работающем с операционной системой нереального времени, совместно с информацией, хранящейся в ПЗУ АСУ типа «Парус-9М», используется сетевой интерфейс через ОРС - сервер.

При такой организации обмена цифровой информацией обеспечивается жесткая однозначная привязка по временным меткам всей зарегистрированной информации и облегчается анализ данных.

Получаемая в ходе стендовых испытаний информация позволит проводить эффективную доводку кольцевой МКС и обеспечит эффективный контроль и выполнение норм ИКАО по эмиссии экологически вредных продуктов сгорания.

Заключение

1. Проведен аналитический обзор разработок и определены основные направления развития оптико-электронных систем за рубежом и в РФ.

2. Представлены результаты работ по созданию оптико-электронной системы ОЭС-2011 контроля пламени в основной камере сгорания газотурбинного двигателя ПД-14.

3. Разработано программное обеспечение, позволяющее получать в реальном масштабе времени информацию о параметрах излучения пламени в камере сгорания в различных диапазонах, спектр частот вибрационного горения и передавать в систему более высокого уровня для дальнейшей обработки и интерпретации.

4. Разработан графический интерфейс пользователя, позволяющий оперативно отслеживать сигналы в различных участках спектра во временной области и одновременно наблюдать частотный спектр сигналов.

Литература

1. А.Н. Магунов. Выбор спектрального индекса, в котором нагретый непрозрачный объект

излучает как серое тело. // Приборы и техника эксперимента. - 2010. - №6, - С. 148-152.

2. А.Н. Магунов. Спектральная пирометрия. / Приборы и техника эксперимента. - 2009. - №4. - С. 5-28.

3. Патент. US 6,168,419, США, Flame monitor, Giersch GmbH (Hemer, DE), January 2, 2001.

4. Патент. US 6,071,114, США, Meggitt Avionics, Inc. (Manchester, NH), Method and apparatus for characterizing a combustion flame. June 6, 2000.

5. Патент. US 6,135,760, США, Meggitt Avionics, Inc. (Manchester, NH), Method and apparatus for characterizing a combustion flame. October 24, 2000.

6. Патент. JP179843A2, Japan. Apparatus For Diagnosing Combustion Of Burner. Babcock Hitachi KK, June 27, 2000. Dec. 10, 1998.

7. Патент. JP205562A2, Japan, Burner Combustion Diagnostic Unit. Babcock Hitachi KK, July 25, 2000. Jan. 13, 1999.

8. Патент. US5829962, США, Method and apparatus for optical flame control of combustion burners L'Air Liquide, Societe Anonyme Pour L'Etude Et, L'Exploitation. Des (Paris, FR); American Air Liquide, Inc. (Walnut Creek, CA), November 3, 1998.

9. Патент. US 5,978,525, США, Fiber optic sensors for gas turbine control, General Electric Company (Schenectady, NY), November 2, 1999.

10. Интернет ресурс - <http://www.sonbi.ru/tsiam/research/UZLY/combustors/COMB.htm>

11. Технический отчет № 3031. Исследование временных, пространственных и спектральных характеристик излучения продуктов сгорания, стенок форсажной камеры реактивного сопла ТРДФ для разработки оптического сигнализатора горения в форсажной камере. ЦИАМ, Москва, 1971.

12. Асланян Э.В., Вязовский В.Е., Тюренникова И.Н. Технический отчет № 9440. Исследование и разработка оптического сигнализатора горения в камере сгорания ВРД. ЦИАМ, Москва, 1979.

13. Техническая справка № 9020. Разработка фотоэлектрического сигнализатора пламени в форсажной камере ГТД. ЦИАМ, Москва, 1979.

14. Техническая справка № 8298. Исследование характеристик фотоэлектрического сигнализатора форсажа. ЦИАМ, Москва, 1978.

15. Основные результаты научно-технической деятельности ЦИАМ (2009-2010гг.)/Под общ. ред. В.А. Скибина, В.И. Солониной, О.С. Гуревича.-М., ЦИАМ, 2010. - С. 830.

Поступила в редакцию 30.06.2012

T.P. Andreeva, Y.T. Gubaidullin, A.R. Gumerov. Optical - electronic monitoring system of the flame in the main combustion chamber of gas turbine engine

Conducted analytical review of developments and the main directions of development of optical-electronic systems control the flame in the combustion chambers of gas turbine engines based on publications in Russia and abroad. The results of the creation of optical-electronic system of ECO-2011 control of the flame in the main combustion chamber of a gas turbine engine PD-14. The software allowing to get real-time information on the signals of the flame in the combustion chamber in different ranges of the electromagnetic spectrum (ultraviolet, visible and infrared) and simultaneously observe the range of vibration frequencies and vibration combustion flame. The resulting system information is transmitted with a frequency of 100 Hz in the system for monitoring parameters of the engine at higher levels.

Keywords: *optical-electronic system, the combustion chamber, flame control, gas turbine engine.*