

позволяет проанализировать процессы, протекающие при высокоскоростном ударе микрометеоритов и космического мусора по мишени, представляющей собой МДМ-

структуру, вывести зависимости изменения напряжения на обкладках конденсатора в зависимости от параметров частиц.

УДК 536.52

РЕГИСТРАЦИЯ БЫСТРОМЕНЯЮЩИХСЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ В ДВИГАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ

Гришанов В. Н., Ойнонен А. А.

Самарский государственный аэрокосмический университет

REGISTRATION OF QUICK CHANGE TEMPERATURE FIELDS IN POWER PLANTS

Grishanov V.N., Oynonen A.A. In this paper the method of high-speed video color camera for measuring rapidly changing temperature fields. An experiment to assess the rate of heating of the filament with high-speed video camera "Videosprint". Shows the procedure of image processing, which can reduce the error of temperature measurement pyrometer spectral ratio when used in its wide-band photodetectors.

Авиационное двигателестроение является наиболее передовой и технологичной отраслью промышленности. Требования к снижению веса в совокупности с большой тягой приводят к тому, что практически все узлы и агрегаты установки работают на предельных режимах.

Одним из наиболее важных факторов, определяющих конструкцию двигательной установки, является температурный режим "горячих" её элементов, как то: сопло, лопатки турбины, корпус камеры сгорания и т. д. Высокая температура, снижающая свойства конструкционных материалов и механические нагрузки в первую очередь ограничивают предельные возможности современного авиационного двигателя.

Современное компьютерное моделирование позволяет оценить действующие температуры, однако расчётные оценки в конечном итоге нуждаются в экспериментальном подтверждении. Применение контактных датчиков требует учёта влияния его теплофизических свойств на измеренное значение температуры, а изучение полей сопровождается установкой большого количества датчиков. Проблема измерений многократно усложняется, если объект подвижен.

Большой интерес представляют задачи термо- и газоанализа струи нагретых газов двигателя по излучению, зарегистрирован-

ному в различных спектральных диапазонах с целью определения состояния его функционирования. Излучательные характеристики выхлопных газов специфичны для различных пространственных распределений температуры и парциальных давлений газовых компонентов. Температурный диапазон простирается от 300 до 2500 К. При высоких температурах (> 1000 К) газовый объём обладает существенным собственным излучением, превышающим фоновое атмосферное. Динамика температурных и концентрационных полей имеет характерные постоянные времени $\geq 10^{-3}$ с [1].

Для получения информации о температурных полях применяются тепловизоры. Они обладают рядом преимуществ по сравнению с контактными датчиками: бесконтактностью и простотой измерений, широким диапазоном регистрируемых температур. Однако современные тепловизоры не обладают высоким быстродействием. Генерируемые ими скорости потока информации редко превышают 25 кадров в секунду, т.е. их постоянные времени имеют порядок $10^{-1} - 10^{-2}$ с.

В данной работе предлагается использовать высокоскоростную цветную камеру «Видеоспринт» с максимальной кадровой частотой 250 кГц для регистрации и измерения быстроизменяющихся полей температур

в области ≥ 1000 К. Наличие в фоточувствительной матрице цветной камеры фотоприёмников нескольких типов позволяют реализовать на её базе панорамный пирометр спектрального отношения. Кроме того, камера позволяет совмещать контроль температурных полей с наблюдением за объектом. Однако вследствие широких и в значительной мере перекрывающихся областей спектральной чувствительности цветовых каналов фоточувствительной матрицы, а также неодинаковой чувствительности этих каналов, точность измерений температуры цветной камерой заметно ниже штатных пирометров отношения.

Способ компенсации погрешностей, основан на введении поправочного коэффициента [2]. Он представляет собой отношение интегралов квантовой эффективности сенсоров, используемых при измерениях, во всём диапазоне их чувствительности. Этот поправочный коэффициент должен нивелировать неточность при измерении температуры пирометром отношения, построенном на базе любых фоторегистрирующих элементов с широким диапазоном спектральной чувствительности. Данный подход был апробирован на скоростной камере "Видеоспринт".

В качестве объекта для данного эксперимента была выбрана спираль лампы накаливания. Видеоролик процесса разгорания (выхода на стационарный режим) лампы записывался с кадровой частотой 2 кГц. Видеоролик был разбит на кадры и проанализирован. Процесс разгорания лампы длится 90 кадров. При кадровом периоде 500 мкс, соответствующем кадровой частоте 2 кГц, время разгорания составило 45 мс. Отмеченные пульсации потока излучения лампы имели период 10 мс, то есть частоту 100 Гц, что указывает на проявление пульсаций напряжения сети переменного тока.

Фотоприёмники синего цвета фотоприёмной матрицы наименее чувствительны, поэтому для реализации пирометра спектрального отношения использовались зелёные и красные элементы матрицы. Их максимальная квантовая эффективность практически одинакова, и достигается на длинах волн 540 и 610 нм соответственно. Стоит отметить, что в камере для улучшения цветопередачи установлен фильтр, отре-

зающий инфракрасное излучение, начиная с 750 нм.

В соответствие с рекомендациями [2] значение поправочного коэффициента получено путем интегрирования квантовой эффективности зелёного и красного сенсоров во всём диапазоне их спектральной чувствительности вплоть до 750 нм. Отношение данных интегралов для зелёного и красного сенсоров составило 0,598, т. е. сигнал красного сенсора получается значительно повышенным в силу большой протяжённости диапазона его спектральной чувствительности. Зелёные элементы фоточувствительной матрицы являются спектрально более узкополосными. Обработка изображений состояла в домножении оцифрованных сигналов красных элементов на 0,598 с последующим расчётом отношений сигналов, полученных с красных и зелёных элементов фоточувствительной матрицы.

С учетом рассчитанного значения поправочного коэффициента в стационарном режиме температура вольфрамовой нити лампы накаливания экспериментально оценивается 3000 °К, что хорошо коррелирует с литературными данными [3]. Таким образом, можно сделать вывод о том, что пирометр спектрального отношения, способный регистрировать быстроизменяющиеся поля температур одновременно с наблюдением за объектом, может быть реализован на базе цветного высокоскоростного CMOS-сенсора.

Библиографический список

1. Войцеховский, А.В. Моделирование распределения термодинамических параметров высокотемпературного газового объёма пассивным дистанционным методом / А.В. Войцеховский, О.К. Войцеховская, Д.Е. Каширский [и др.] // Оптический журнал. - 2010. - № 9. - С. 37 - 44.
2. Фрунзе, А.В. Расчётный метод определения температуры спектрального отношения / А.В. Фрунзе // Измерительная техника. - 2010. - № 6. - С. 39 - 41.
3. Ишанин, Г.Г. Источники и приемники излучения / Г.Г. Ишанин, Э.Д. Панков, А.Л. Андреев [и др.]. - СПб.: Политехника, 1991. - 240 с.