



5. Осипов М.Н., Автоматизированный комплекс определения форм и частотных характеристик собственных колебаний. / М.Н. Осипов, Н.А. Шарафутдинов, Ю.Д. Щеглов, И.Н. Фалилеев, М.Е. Федина // Известия Самарского центра РАН. 2015. т.17, № 2(5). С. 1072-1075.

6. Шарафутдинов Н.А., Оценка помехозащищенности спеклинтерферометрии на основе анализа изменения интенсивности одиночного спекла. / Н.А. Шарафутдинов, М.Н. Осипов, Ю.Д. Щеглов, Н.С. Знаменьщикова, М.Д. Лимов // Труды III Международной конференции «Динамика и виброакустика машин», 2016. 29 июня - 01 июля 2016, Самара, Самарский Университет, С. 179-180.

С.П.Орлов, Е.А. Ахполова, О.Ю. Уютова

МЕТРОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ ИИС КОНРОЛЯ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

(АО «РКЦ «Прогресс», Самарский государственный технический университет)

Система дистанционного зондирования Земли с искусственных спутников содержит основной прибор – оптико-электронный преобразователь (ОЭП), характеристики которого в наибольшей степени влияют на точность и качество получаемого изображения. В свою очередь, главный элемент ОЭП – это фоточувствительная матрица на приборах с зарядовой связью (ФМПЗС). Исследование и контроль ФМПЗС при наземных испытаниях проводятся с помощью информационно-измерительной системы, структура и принципы функционирования изложены в работах [1,2,3]. Они основаны на получении с помощью тепловизора термограмм поверхности микросхемы и контроля значений двумерного распределения температур.

Для оценки достоверности измерения температурного поля в настоящем докладе представлена метрологическая модель измерительных каналов ИИС. Задача температурного контроля ФМПЗС состоит в том, чтобы сформировать цифровой массив температурных значений на поверхности ФМПЗС для дальнейшей обработки с целью выявления дефектов микросхемы. Подсистема измерения содержит два основных измерительных канала. Первый канал измеряет двумерную тепловую картину нагрева микросхемы под действием питающих напряжений и входных сигналов. Второй канал измеряет температуры окружающей среды ОЭП для определения температур перегрева поверхности микросхемы.

Для исследования и расчета погрешностей разработана метрологическая модель системы (рис. 1).

В метрологической модели используются следующие обозначения:

S_w – функция преобразования электрической мощности P , поступающей на входы ФМПЗС в двумерное температурное поле $\Theta(x,y)$ на поверхности микросхемы; δ_w – мультипликативная погрешность, вызванная изменением тепло-



физических параметров микросхемы; S_{MT} – чувствительность канала передачи температурного поля поверхности микросхемы на оптическую воспринимающую плоскость тепловизора; δ_{MT} – мультипликативная погрешность чувствительности канала; Δ_{CX} , Δ_{CY} – аддитивные погрешности установки тепловизора, которая определяется горизонтальными смещениями относительно центральной оптической оси микросхемы ФМПЗС; Δ_{OT} – аддитивная погрешность, вызванная отклонением оптической оси тепловизора от оси микросхемы при его установке в конструкцию ОЭП.

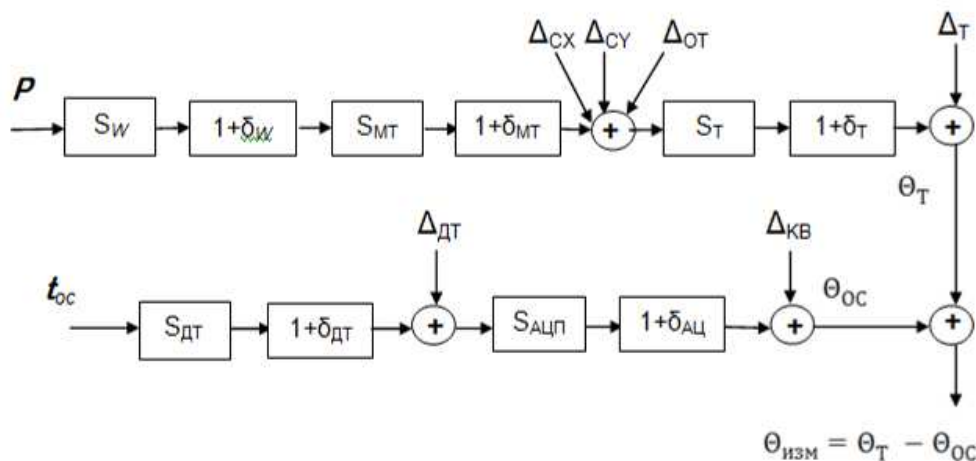


Рис. 1. Метрологическая модель системы температурного контроля поверхности микросхемы ФМПЗС

Кроме того, учитываются: S_T – чувствительность тепловизора; δ_T – мультипликативная погрешность тепловизора; Δ_T – аддитивная погрешность тепловизора; S_{DT} – чувствительность первичного преобразователя датчика температуры окружающей среды в испытательной камере; δ_{DT} – мультипликативная погрешность первичного преобразователя датчика температуры; Δ_{DT} – аддитивная погрешность первичного преобразователя датчика температуры; $S_{ФЦП}$ – чувствительность аналого-цифрового преобразователя, встроенного в датчик температуры окружающей среды; $\delta_{АЦП}$ – мультипликативная погрешность преобразования в АЦП; Δ_{KB} – погрешность квантования, определяемая разрядностью АЦП.

Номинальная функция преобразования:

$$\Theta_{ИЗМ}^{НОМ}(x, y) = S_W S_{MT} S_T P + \delta_{DT} S_{АЦП} t_{OC}.$$

Реальная функция преобразования для модели на рис. 1 имеет вид:

$$\Theta_{ИЗМ}^P(x, y) = S_T (1 + \delta_T) (\Delta_{CX} + \Delta_{CY} + \Delta_{OT} + S_{MT} (1 + \delta_{MT}) S_W (1 + \delta_W) P) + \Delta_T + S_{АЦП} (1 + \delta_{АЦП}) (S_{DT} (1 + \delta_{DT}) t_{OC} + \Delta_{DT}) + \Delta_{KB}.$$

Таким образом, мультипликативная составляющая погрешности равна



$$\delta\Theta_{ИЗМ}^M = (\delta_W + \delta_{MT} + \delta_T)S_W S_{MT} S_T P + (\delta_{ДТ} + \delta_{АЦП})S_{ДТ} S_{АЦП} t_{OC}, \quad (1)$$

при этом аддитивная составляющая погрешности равна

$$\Delta\Theta_{ИЗМ}^A = S_T(\Delta_{CX} + \Delta_{CY} + \Delta_{OT}) + S_{АЦП}\Delta_{ДТ} + \Delta_T + \Delta_{KB} . \quad (2)$$

В исследуемом объекте для обработки двумерной информации наибольшее влияние на погрешности оказывают оптическая система, воспринимающая изображение объекта, преобразователи свет – сигнал, аналоговые цепи обработки сигнала, аналого-цифровое преобразование, точность позиционирования устройства с первичными измерительными датчиками.

При испытаниях ОЭП при вибрации и климатических воздействиях в камере тепловизор устанавливается на посадочные места, предназначенные для объектива оптической системы дистанционного зондирования. Установочная поверхность объектива изготовлена с высокими требованиями по шероховатости и по плоскостности относительно микросхемы ФМПЗС. Погрешность установки тепловизора относительно фокальной поверхности определяется горизонтальным смещением на установочной плоскости и углом α отклонения оптической оси тепловизора от оси микросхемы.

Следует учесть ряд динамических погрешностей в измерительном канале. Во-первых, при испытании ОЭП на вибропрочность возможно смещение оптической оси тепловизора относительно вертикальной оси ФМПЗС. Это происходит из-за наличия гибких механических элементов в конструкции. В результате появляется «смаз» тепловой картины, характеризующийся погрешностью Δ_{CB} . Таким образом, общая погрешность установки тепловизора в конструкцию ОЭП состоит из двух компонент: а) систематических погрешностей Δ_{CX}^c и Δ_{CY}^c горизонтального смещения и отклонения от оси Δ_{OT}^c при креплении, б) случайной динамической погрешности при вибрации конструкции.

В разрабатываемой ИИС используется тепловизор NEC R500. В нем предусмотрена функция удаления эффекта дрожания при съемке за счет использования внутренних алгоритмов обработки термоизображения. Для этого в тепловизоре используется оптический стабилизатор изображения, на основе миниатюрных гироскопических датчиков. Это позволяет свести влияние динамических погрешностей Δ_x^B, Δ_y^B практически к нулю.

Для расчета общей погрешности измерительной подсистемы используем данные из таблицы 1. Подставляем значения погрешностей в выражения (1) и (2) и получаем аддитивную погрешность $\Delta\Theta_{ИЗМ}^A = \pm 0,5^0 C$ и мультипликативную погрешность при мощности 0,15 Вт, равную $\delta\Theta_{ИЗМ} = \pm 0,033^0 C$.

Таким образом, общая погрешность измерения двумерного температурного поля перегрева поверхности микросхемы равна $\pm 0,53^0 C$. Относительная погрешность в рабочем диапазоне температур ($+ 20^0 C — +75^0 C$), равна 1,4%. Эти значения точности термограмм позволяют определить места перегрева или охлаждения локальных участков микросхемы ФМПЗС. На основе сравнения с



эталонными термограммами делаются выводы о работоспособности оптико-электронного преобразователя.

Таблица 1

Погрешности измерительных каналов

№№ пп	Погрешность	Характер погрешности	Примечание
1	$\Delta_T = \pm 0,35^0 C$	аддитивная	По паспорту тепловизора
2	$\Delta_{KB} = \pm 0,01^0 C$	аддитивная	Определяется по характеристикам термодатчика
3	$\Delta_{DT} = \pm 0,05^0 C$	аддитивная	Определяется по характеристикам термодатчика
4	$\Delta_{CX} = \pm 0,03^0 C$	аддитивная систематическая	Определяется конструкцией блока ОЭП и равна $0,01 \times 10^{-3}$ м
5	$\Delta_{CY} = \pm 0,03^0 C$	аддитивная систематическая	Определяется конструкцией блока ОЭП и равна $0,01 \times 10^{-3}$ м
6	$\Delta_x^B = 0,0001$ $\Delta_y^B = 0,0001$	случайная динамическая	Определяется конструкцией блока ОЭП и режимами испытаний на вибропрочность
7	$\Delta_{OT} = \pm 0,03^0 C$	аддитивная случайная	Определяется конструкцией блока ОЭП
8	$\delta_{АЦП} = \pm 0,0001$	мультипликативная	Определяется по характеристикам термодатчика
9	$\delta_{DT} = \pm 0,001$	мультипликативная	Определяется по характеристикам термодатчика
10	$\delta_T = \pm 0,002$	мультипликативная	По паспорту тепловизора
11	$\delta_{MT} = \pm 0,003$	мультипликативная	Определяется конструкцией блока ОЭП
12	$\delta_w = 0,001$ $\delta_w = \pm 0,0668$	мультипликативная	Определяется допусками на теплофизические и геометрические параметры микросхемы, P=0,15 Вт
13	$\Delta \Theta_{изм}^A = \pm 0,5^0 C$	аддитивная	Общая погрешность измерения
14	$\delta_{изм} = \pm 0,033^0 C$	мультипликативная	Общая погрешность измерения
15	$\Delta \Theta_t = \pm 0,533^0 C$		Общая погрешность измерения



Литература

1. Орлов С.П. Техническая диагностика электронных блоков по тепловым полям элементов/С.П.Орлов, Е.А.Ахполова// Перспективные информационные технологии (ПИТ 2016): труды Международной научно-технической конференции/под ред.С.А.Прохорова - Самара: Изд. Самарского научного центра РАН, 2015. - С.139-142.

2. Orlov S.P. Intelligent measuring system for testing and failure analysis of electronic devices/S.P. Orlov, A.N. Vasilchenko//2016 XIX IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM), IEEE Conference Publications. V.1. P.401-403. Publisher: IEEE Xplore, 2016.

3. Орлов С.П. Метод термографии при контроле электронной аппаратуры авиационной техники/С.П.Орлов, О.Ю. Уютова// Наука и образование транспорту: труды IX Международной научно-практической конференции. Том 2. – Самара: СамГУПС, 2016. - С. 70-71.

М.Н. Осипов¹, Р.Н. Сергеев²

«СЭНДВИЧ» СПЕКЛ-ИНТЕРФЕРОМЕТРИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛЕЙ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ

(Самарский национальный исследовательский университет им. С.П. Королёва¹)
(АО «РКЦ «ПРОГРЕСС»²)

При решении различных задач механики основным критерием истинности существующих математических моделей остаются экспериментальные методы. При этом высокий потенциал современных численных методов анализа напряженно-деформированного состояния позволил вывести эксперимент на новый качественный уровень. Например, так, стало возможным ставить более корректно задачу экспериментального исследования, а также интерпретировать его результаты [1].

Одним из широко используемых методов когерентной оптики для определения полей перемещений при деформировании элементов конструкций является метод спекл-интерферометрии, поскольку он менее зависим от нестабильности оптической системы по сравнению с голографической интерферометрией. Нестабильность оптической системы приводит к потере информации.

Чувствительность спекл-интерферометрии к определению величины перемещения зависит от размеров спекл-структуры, которая определяется параметрами используемой оптической системы при записи субъективной спекл-структуры, т.е. числовой апертурой оптической системы. Увеличение числовой апертуры оптической системы приводит к уменьшению размеров регистрируемой спекл-структуры и, следовательно, к увеличению чувствительности спекл-интерферометрии. Однако, с другой стороны, увеличение числовой апертуры оптической системы приводит к требованию использования высококачественной оптики, так как при таких параметрах начинают существенным образом