

УДК 621.383

## Стенд для проведения термовакуумных испытаний крупноформатных фотоприемных устройств космического применения

Б.Н. Дразжников, Я.С. Бычковский, И.С. Кондюшин, К.В. Козлов

*Разработан стенд измерения теплофизических параметров и герметичности устройств, предназначенных для эксплуатации в составе оптико-электронной аппаратуры орбитального базирования. С его помощью можно получить информацию о тепловой нагрузке на систему охлаждения космического аппарата, времени выхода устройства на режим, а также исследовать динамику изменения температуры в зависимости от внешних теплопритоков.*

PACS: 85.60.-q

*Ключевые слова:* стенд, фотоприемное устройство, теплофизические параметры, космос, испытание.

### Введение

Выделение тепла является неотъемлемой частью работы электронной аппаратуры. В обычных условиях это не является проблемой и решается установкой пассивной или активной системы охлаждения. При низком давлении, в т.ч. в космосе, отсутствует основной «земной» способ теплообмена — конвективный, т.е. за счет переноса тепла движением молекул газа. Из-за этого значительно снижается эффективность систем охлаждения.

Для отведения избытка тепла от бортовой аппаратуры космического аппарата обычно используется радиационная система охлаждения. Пассивно излучая тепло в холодную область космоса, она не требует электроэнергии, обладает высокой холодопроизводительностью и надежностью, однако ее эффективность, в основном, зависит от площади поверхности. Минимизация массогабаритных размеров системы охлаждения приводит к ужесточению требований к тепловыделению и теплопроводности устройств, входящих в состав спутниковой аппаратуры. По этой причине исследования, направленные на экспериментальное определение теплофизических параметров оборудования, предназначенного для работы в космических условиях, являются чрезвычайно важными.

Целью данной работы являлась разработка стенда для измерения теплофизических

Дразжников Борис Николаевич, и.о. начальника НТЦ.  
 Бычковский Ярослав Сергеевич, ведущий инженер.  
 Кондюшин Илья Сергеевич, инженер.  
 Козлов Кирилл Васильевич, инженер.  
 ОАО «НПО «Орион».  
 Россия, 111123, Москва, шоссе Энтузиастов, 46/2.  
 E-mail: orion@orion-ir.ru

Статья поступила в редакцию 10 февраля 2013 г.

© Дразжников Б.Н., Бычковский Я.С., Кондюшин И.С., Козлов К.В. 2013

параметров и герметичности устройств, предназначенных для эксплуатации в составе оптико-электронной аппаратуры орбитального базирования.

### Описание объекта измерения

Примером объекта исследования, измерения и испытания является широкоформатное фотоприемное устройство (ФПУ), предназначенное для установки на спутниковую платформу. ФПУ входит в состав оптико-электронной аппаратуры, которая позволяет производить наблюдение за поверхностью Земли с целью получения данных о метеорологической обстановке, очагах возгораний, загрязнениях и других явлениях.

Фотоприемное устройство можно разделить на две части, различающиеся по температуре и назначению. «Холодная» зона содержит охлаждаемый до низкой температуры фотоприемник, в котором расположены многоэлементные фотоприемные модули, состоящие из фоточувствительной структуры и БИС считывания. Глубокое охлаждение ( $\sim -100^\circ\text{C}$ ) фоточувствительных элементов необходимо для достижения требуемых фотоэлектрических

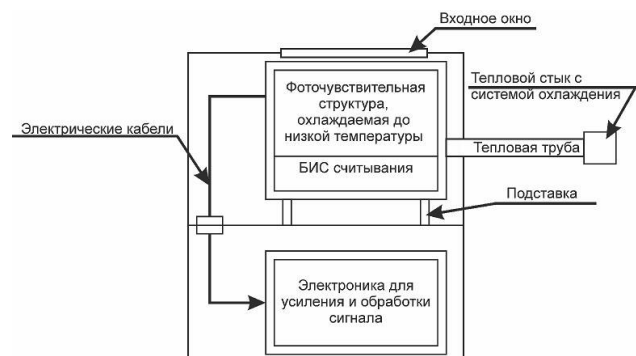


Рис. 1. Схема ФПУ

параметров. В «горячей» зоне расположена электроника, предназначенная для обработки сигналов, минимальная рабочая температура — 40 °С.

Обе эти части заключены в герметичный корпус, экранирующий их от электромагнитных и радиационных воздействий. Для достижения требуемых рабочих температур каждой из зон необходимо максимально снизить теплоприток от «горячей» части устройства к «холодной». С этой целью проводится комплекс работ, включающих в себя выбор материалов с низкой теплопроводностью и тепловую развязку узлов.

Для оценки теплового потока к системе охлаждения ФПУ проводится теплофизический расчет, учитывающий тепловыделения компонентов устройства, теплопроводность конструкций и теплопритоки от внешних источников. Расчет выполняется с учетом передачи тепла излучением, конвекцией и непосредственной теплопередачей элементами конструкции с последующим суммированием всех составляющих с целью получения величины полного теплопритока к системе охлаждения.

Полный тепловой поток к конструкции ФПУ рассчитывается по формуле:

$$Q_{\Sigma} = Q_{\kappa} (\Delta T) + Q_{\text{ТВ}} + Q_{\text{изл}},$$

где  $Q_{\text{ТВ}}$  — тепловой поток за счет электрической мощности, выделяемой фотомодулями, состоящими из многоэлементных фоточувствительных структур и БИС-считывания;  $Q_{\text{изл}}$  — тепловой поток за счет фонового излучения, проникающего через входные окна;  $Q_{\kappa} (\Delta T)$  — процесс переноса внутренней энергии от более нагретых частей тела к менее нагретым частям, связанный с теплопроводностью элементов конструкции. Такой теплообмен мо-

жет происходить в любых телах с неоднородным распределением температур, но механизм переноса теплоты будет зависеть от агрегатного состояния вещества. Общий тепловой поток, в этом случае, будет равен сумме тепловых потоков, передаваемых по сильфону, подставкам, проводам и за счет теплопроводности газов, заполняющих объем, и зависеть от разности температур между корпусом фотоприемного устройства и охлаждаемым фотоприемником.

### Стенд для проведения термовакуумных испытаний

Для проведения наземных испытаний и исследований тепловых характеристик фотоприемного устройства космического применения разработан криовакуумный измерительный стенд, обеспечивающий имитацию нахождения устройства в составе аппаратуры космического базирования, позволяющий проводить измерения теплофизических параметров, таких как общая тепловая нагрузка на бортовую систему охлаждения, перепад температуры от узла стыка к фотоприемнику, зависимость тепловой нагрузки от температуры корпуса, время выхода ФПУ на рабочий режим и герметичность корпуса. Точный анализ этих параметров является чрезвычайно важным для оценки результатов разработки опытного образца, а также для расчета и оптимизации внешней системы охлаждения. Измерения проводятся в условиях разреженной атмосферы и низкой температуры.

Стенд измерения теплофизических параметров выполнен по модульному принципу и состоит из трех основных частей: вакуумной, охлаждающей и измерительной.

Измеряемое изделие размещается в крупногабаритной камере объемом 0,6 м<sup>3</sup>, оснащенной герморазъемами и гермоканалами для ввода-вывода электрических цепей и теплопроводов системы охлаждения теплового стыка фотоприемного устройства.

Откачка объема осуществляется высокопроизводительным вакуумным насосом типа Рутса, позволяющим достичь остаточного давления до  $2 \cdot 10^{-4}$  мм рт. ст, что позволяет в большей степени устранить конвективный теплообмен между стенками камеры и измеряемым устройством, которое дополнительно помещается в экрано-вакуумную изоляцию для минимизации влияния теплового излучения от стенок камеры.

Имитация фонового облучения поверхностью Земли, проникающего через входные окна устройства, обеспечивается медной пластиной соединенной с термоэлектрическим



Рис. 2. Блок-схема стенда

охладителем. Диапазон температур имитатора фона от  $-20$  до  $+50$  °С.

Охлаждение измеряемого устройства осуществляется с помощью двусоставной системы. В ее состав входит криорефрижератор на замкнутом цикле с гибким теплопроводом, стыкуемый с измеряемым устройством, имитирующий бортовую систему охлаждения. Использование замкнутой системы охлаждения обеспечивает автономность работы и не требует жидкого азота. Установка температуры осуществляется нагревателем, работающем в режиме ПИД-регулируемого. Дополнительная система отвечает за охлаждение корпуса устройства и необходима для измерения зависимости температуры устройства от температуры корпуса, а также позволяет имитировать температуру креплений спутникового аппарата.

Блок управления и питания, расположенный в измерительной части стенда, позволяет производить запуск фотоприемного устройства в рабочий режим, а также считывать и обрабатывать сигналы с фоточувствительных модулей. Измерения проводятся с учетом нагрева электроники прибора, проверяется его работа в условиях, максимально приближенных к эксплуатационным.

Для проведения испытаний фотоприемного устройства на герметичность используется масс-спектрометр, подключенный к вакуумной камере. Масс-спектрометр обеспечивает обнаружение следов молекул газов, заполняющих герметичный объем корпуса ФПУ, по их спектральному излучению.

Измерение величины теплового потока происходит с помощью датчика теплового потока, закрепленного на тепловом стыке фотоприемного устройства и системы охлаждения. Датчик теплового потока состоит из нескольких температурных датчиков, замеряющих изменение температуры на входе и выхода, и выдает

напряжение пропорциональное тепловому потоку. Платиновые термодатчики определяют температуру корпуса устройства в 30 точках, фотоприемника в двух крайних точках и теплопровода системы охлаждения. Время выхода на режим измеряется с момента начала охлаждения фотоприемного устройства до достижения теплового баланса, когда температура во всех точках ФПУ остается неизменной.

Полученные результаты измерений поступают в систему сбора данных на основе платы АЦП, установленной в промышленный компьютер. Измеренные и оцифрованные данные, пройдя математическую обработку, выводятся на экран как в виде графиков, так и в виде 3D-модели.

### Заключение

Стенд измерения теплофизических параметров позволяет проверить соответствие результатов теоретического расчета реальным величинам, полученным практическим путем, провести экспериментальные исследования и контроль качества продукции в условиях разрядки и температуры, имитирующих работу в космическом пространстве в масштабах лаборатории или научного центра, и является необходимым для разработки устройств, к которым предъявляются особые требования надежности и безотказности.

### Литература

1. *Формозов Б.Н.* Аэрокосмические фотоприемные устройства в видимом и инфракрасном диапазонах. — С.: СПбГУАП, 2002 г.
2. *Karam R.D.* Satellite Thermal Control for Systems Engineers. — Reston.: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1998
3. *Малков М.П.* Физико-технические основы глубокого охлаждения. — М. — Л.: Госэнергоиздат, 1963.
4. *Ортенберг Ф.С.* Методы инфракрасного зондирования Земли из космоса. — М.: Знание. 1987 г.

#### Характеристики разработанного стенда

	Значение	Погрешность измерения	Единицы измерения
Объем вакуумной камеры	0,6		м <sup>3</sup>
Остаточное давление после откачки	До $2 \cdot 10^{-4}$		мм рт. ст.
Температура основного охлаждения	От $-170$ до $-60$	$\pm 5$	°С
Температура дополнительного охлаждения	От $-60$ до $+40$	$\pm 1$	°С
Температура источника фонового излучения	От $-20$ до $+50$ °С	$\pm 1$	°С
Диапазон измерения теплопритока	3–20 Вт	$\pm 0.05$	Вт
Минимальная определяемая масс-спектрометром концентрация частиц	5	при $1 \times 10^{-3}$ Торр ( $1,3 \times 10^{-3}$ мбар)	ppm

**Stand for thermal vacuum testing  
of large-format photo detector for space application**

*B.N. Drazhnikov, Y.S. Bychkovski, I.S. Kondyushin, and K.V. Kozlov*

Orion R&P Association  
46/2 Enthusiasts highway, Moscow, 111123, Russia  
E-mail: orion@orion-ir.ru

***Developed is the stand for measuring of thermophysical parameters of devices intended for use in the optical-electronics-based orbital. With it you can get information about the heat load on the cooling system of the spacecraft, time-to device for treatment and explore dynamics of change in temperature as a function of external heat gains.***

PACS: 85.60.-q

*Keywords:* stand, photodetector, thermalphysic parameters, space, test.

Bibliography – 5 references

*Received February 10, 2013*