

УДК 620.178.154.56

## Измерение прецизионных конструкций КА в термовакуумных условиях

**В.В. Ананьев** *asokolov\_kometa@nxt.ru*

*ООО НПП «Медгаз»*

**Н.А. Тестоедов, Г.В. Двирный, В.В. Двирный**

*ОАО «Информационные спутниковые системы» им. Академика М.Ф. Решетнева*

*При проектировании прецизионных, размеростабильных конструкций для систем спутниковой связи обязательным требованием является проведение испытаний по определению величины температурной деформации, которые должны проводиться в термовакуумных условиях.*

*В статье предложена система измерений геометрических характеристик прецизионных конструкций КА в термовакуумных условиях. Рассмотрен способ адаптации измерительного оборудования к термовакуумным условиям.*

**Ключевые слова:** термобаракамера, прецизионные конструкции, термогермоконтейнер, глубокий вакуум, гермобокс, высокоточные измерения.

---

## Measurement precision structures KA in the thermal vacuum conditions

**Ananay V.V.**

*RPE «Medgaz»*

**N.A. Testoedov, G.B. Dvirny, V.V. Dvirny**

*JSC «Information satellite systems» them. Academician M.F. Reshetnev*

*In the article, a system of measurement of geometrical characteristics of precision structures of a SPACECRAFT in the thermal vacuum conditions. RAS by the way of adaptation of measuring equipment to thermo-vacuum conditions.*

**Keywords:** termobarakamer, precision design, termogermokonteyner, deep vacuum germoboks, high-precision measurements.

---

В современных условиях разработка прецизионных, размеростабильных конструкций представляется одной из важных задач при создании систем спутниковой связи. К таким конструкциям предъявляются высокие требования точности и стабильности геометрических характеристик (размеров, формы поверхности). Поскольку конструкции эксплуатируются в условиях глубокого вакуума и знакопеременных тепловых нагрузок, то при их проектировании обязательным требованием является проведение испытаний по определению величины температурной деформации, которые должны проводиться в термова-

куумных условиях.

Одним из предложенных способов таких испытаний является тот, при котором объект испытаний находится в термовакуумной камере, а измерительное средство снаружи, измеряя объект испытания через иллюминатор. Такие испытания были проведены на образце сотопанели размером (178×50×8) мм. По результатам испытаний выявлены деформации формы сотовых образцов, в том числе изгиб до 0,8 мм. Полученные данные не позволяют количественно определить изменение линейных размеров образца и дают возможность лишь качественно описать геометрическое поведение деформации, поэтому не могут быть использованы для точного расчета величин при анализе деформаций.

Погрешности измерений деформации (до 0,663 мм), полученные в ходе проведения испытаний, обусловлены применением неспециализированного оборудования, не предназначенного для проведения подобных работ, и несоответствием условий проведения измерений на участках установки вспомогательного оборудования. Климатическая, криогенная и вакуумная камеры находились под воздействием промышленных вибраций от работающих станков и механизмов, вентиляции в здании и проезжающего транспорта.

Для проведения подобных испытаний было разработано лазерное измерительное средство на основе трекера API Tracker T3. Трекер помещен в защитный гермобокс с иллюминаторами (термогермоконтейнер), через который постоянно прокачивается осушенный заборный воздух. Температура воздуха обеспечивает нормальные условия внутри гермобокса. Конструкция гермобокса приведена на рис. 1.

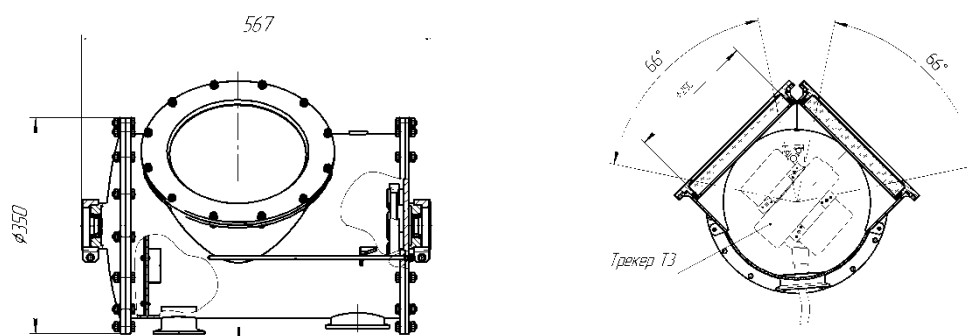


Рис. 1. – Конструкция гермобокса с лазерным трекером

Лазерный трекер, как прибор, использующий лазерный дальномер, измеряет длину оптического хода лазерного луча до отражателя  $L_{opt}$ , альфизность доотражателя  $R$ , как результат измерения, определялся соотношением:

$$R = \frac{L_{opt}}{n}, \quad (1)$$

где  $n$  – групповой показатель преломления среды.

В нормальных условиях эксплуатации среда распространения лазерного луча – воздух. Давление, температура и влажность определяются при помощи встроенной в трекер метеостанции. Показатель преломления воздуха среды, изменяющий ход лазерного луча, а определяется по показаниям метеостанции.

Измерение деформаций антенны или аналогичного изделия осуществлялось с помощью высокоточного лазерного координатно-измерительного прибора API Tracker 3.

Принцип измерения основан на слежении с помощью лазерного луча за специальными уголковыми отражателями (реперными знаками), установленными на поверхность измеряемого изделия в отдельных точках.

На измеряемое изделие прикрепляется необходимое количество реперных знаков (тип 1, 2, 3), рис. 2.



Рис. 2. Общий вид реперных знаков, использующихся при измерениях

Дана оценка погрешности относительных измерений комплекта оборудования. Был произведён ряд экспериментов в термобарокамере, по результатам которых введено в эксплуатацию измерительное средство, работоспособное непосредственно в термовакуумной среде, обеспечивающее определение изменений формы отражающей поверхности рефлекторов (деформации) под воздействием экстремальных температур и вакуума с погрешностью  $\pm(20-30)$  мкм. Внешний вид комплекта оборудования при измерении прецизионных конструкций показан на рис. 4.

Для верификации конечноэлементных моделей одного поля деформаций перемещение измеряемой поверхности не достаточно. Необходим постоянный контроль температурного поля по всей поверхности измеряемого объекта. В схемах с рефлекторами и антенной панелью для получения информации о распределении температур использовались датчики температуры. В дальнейшем предложено применять изготовленную для этих задач в НПП «Лазерные Системы» регистрирующую аппаратуру температурных полей системы измерения температурной деформации (РАТП).

Регистрация распределения температурных полей по поверхности исследуемого изделия осуществляется с помощью высокоточной тепловизионной камеры.

Изображение, получаемое с помощью тепловизора, формируется за счет теплового излучения, идущего от исследуемого объекта в ИК диапазоне 6–20 мкм. Излучение, попадающее в объектив тепловизора, складывается из 2 составляющих:

собственно излучение исследуемого объекта, которое позволяет оценить его температуру;

фоновое излучение ИК диапазона, присутствующее в вакуумной камере и отражаемое от исследуемого объекта.

Источником фонового излучения являются все предметы, нагретые выше температуры криоэкранов, в том числе лампы, нагреватели и корпус тепловизора.

Управление тепловизором осуществляется с ПК (ноутбука) с установленным и настроенным программным обеспечением. Контроль температуры и давления окружающей среды производится с помощью датчиков, установленных внутри гермоконтейнера.

Для проведения измерений в условиях вакуума, экстремального перепада температур и давления тепловизор размещается в термогермоконтейнере. Термогермоконтейнер состоит из герметичного бокса с системой автоматизированного поддержания параметров внутренней среды и комплекта средств установки гермобокса в термобарокамерах. Внешний вид гермобокса приведен на рис. 3.

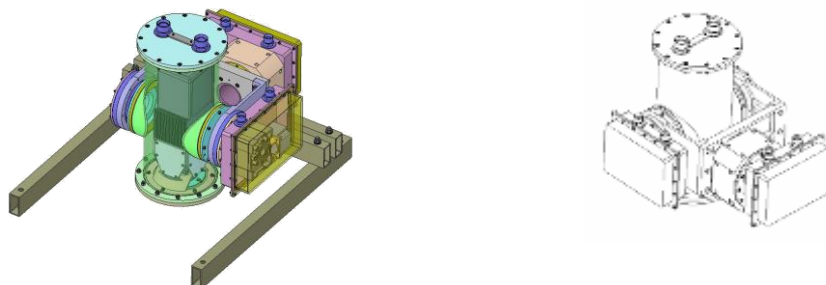


Рис. 3. Внешний вид гермобокса

Гермобокс имеет выходное окно (иллюминатор) через которое обеспечивается работа тепловизора. Через два гибких коллектора, соединенных с магистралью, из гермобокса выводятся соединительные кабели и кабель заземления, и так же через коллекторы поддерживаются необходимые для работы тепловизора климатические условия.

Гермобокс с тепловизором крепится к раме (комплекту средств установки) для размещения в термобарокамере.

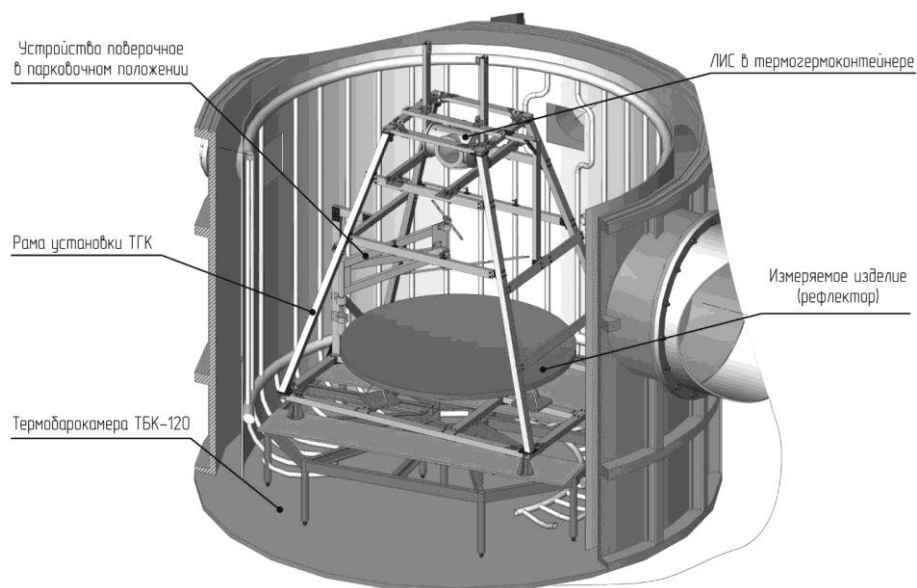


Рис. 4. Комплект оборудования для высокоточных измерений отражающей поверхности рефлекторов в термовакuumных условиях.

Данный комплект оборудования адаптирована для термовакuumной установки ГВУ-600 ОАО«ИСС», объем термобаракамеры 600 м<sup>3</sup>, рис. 5.

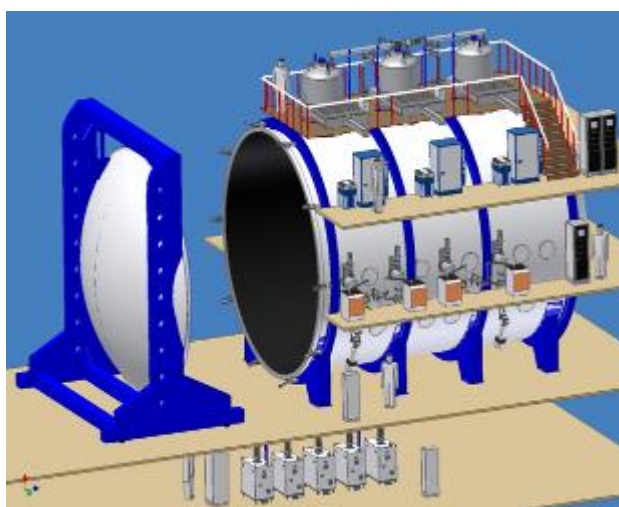


Рис. 5. Горизонтальная термовакuumная установка ГВУ-600

В представленной камере обрабатываются перспективные конструкции КА, одними из которых являются рефлектора антенн, работающих на высоких частотах, с целью определения величин термодформаций.

После проведения всего цикла измерений комплектом оборудования, в результате получаем термдеформированное состояние рефлектора, пример визуализации полученной информации показан на рис. 6.

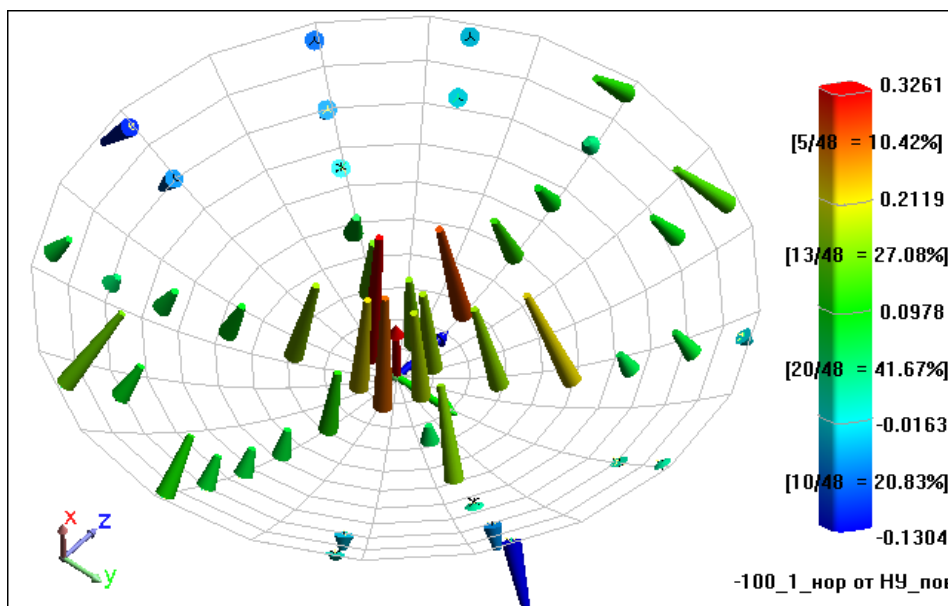


Рис. 6 Действительные вектора отклонений нормальных условий от режима Вакуум: температура на лицевой стороне рефлектора  $-100 \pm 5^\circ\text{C}$

Таким образом применяя предложенную методику измерения, с использованием комплекта оборудования расположенного непосредственно в термобаракаме, на порядок повышена точность измерения прецизионных конструкций КА. Получены результаты измерения термдеформаций отражающей поверхности рефлекторов в широком диапазоне температур, близком к эксплуатационным, при глубоком вакууме.

### Список литературы

1. Сильченко П.Н., Кудрявцев И.В., Тестоедов Н.А., Халиманович В.И., Михнев М.М. Особенности расчета на прочность паяных конструкций волноводно-распределительных систем космических аппаратов связи // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2008. № 2. С. 53-57.
2. Евдокимов А.С., Пономарев Д.Ю., Тестоедов Н.А., Усманов Д.Б. Сопряженное механическое и электродинамическое моделирование трансформируемых космических рефлекторов // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнева. 2008. № 1. С. 105-109