

Г. В. Двирный

## МЕТОДЫ ВЫСОКОТОЧНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ПРЕЦИЗИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ МОБИЛЬНЫХ АВТОМАТИЧЕСКИХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ В ТЕРМОВАКУУМНЫХ УСЛОВИЯХ

*Разработана методика высокоточных измерений прецизионных конструкций мобильных космических аппаратов. Дана оценка погрешности измерения деформаций.*

*Ключевые слова: мобильный автоматический космический аппарат; реперный знак; прецизионный (размеростабильный) рефлектор, термовакуумные условия, температурные деформации.*

Около 70 % всех российских автоматических космических аппаратов (КА) – спутников связи, навигации и геодезии, мобильных спутников с целевой задачей, эксплуатируемых на орбитах, разрабатываются, производятся и проходят испытания на механические, термовакуумные воздействия в ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева», г. Железногорск Красноярского края (далее – ОАО «ИСС»).

Для мобильных автоматических КА (МАКА) требуется надежное функционирование КА с длительным сроком активного существования (10–15 лет), которое во многом определяется непрерывной, безотказной работой систем, агрегатов, узлов и механизмов. Для достижения требуемого срока активного существования (САС) системы, агрегаты, узлы МАКА и сам аппарат в целом проходят длительный и сложный цикл изготовления и испытаний, начинающийся на заводе-изготовителе (ЗИ) и заканчивающийся подготовкой к запуску на космодроме. Все этапы наземной подготовки и технологии испытаний МАКА как на заводе-изготовителе, так и на космодроме являются важнейшими и во многом определяют надежную и безотказную работу по целевому назначению на орбите МАКА и его бортовых систем. Поэтому применение методов высокоточных измерений прецизионных конструкций в термовакуумных условиях при разработке и создании комплексной технологии квалификации, изготовления, подготовки МАКА к запуску на космодромах, обеспечивающей надежное и безотказное функционирование МАКА в течение 10 и более лет, на сегодня является актуальной задачей в космической отрасли.

Для выполнения целевой задачи МАКА должен обеспечивать:

- непрерывную круглосуточную работу бортового специального комплекса (БСК) по целевому назначению;
- ориентацию и удержание осей диаграмм направленности антенн относительно заданного направления с точностью, обеспечивающей решение целевой задачи;
- прием, дешифрирование и квитирование командно-программной информации.

Отрабочный комплект аппаратуры должен быть подвергнут предварительным и отрабочным испытаниям, в которые как минимум должны быть включены следующие испытания на внешние воздействия:

- испытания на механические воздействия (режимы в соответствии с требованиями ТЗ);
- температурные (термовакуумные антенны, антенные панели и их элементы от  $-120$  до  $+110$  °С) испытания [1].

На маневренных КА требуется применение прецизионных антенн Ка-диапазона и других конструкций, которые должны выдерживать дополнительные перегрузки в экстремальных орбитальных условиях, перепады температур и другие изменяющиеся факторы и при этом выполнять целевую задачу.

Для корректной работы в составе антенны на космическом аппарате рефлектор должен максимально сохранять свои геометрические параметры при воздействии критических температур и вакуума. На этапах разработки нового изделия и для контроля качества штатной продукции необходимо проведение испытаний по определению величины деформаций размеростабильных рефлекторов в условиях вакуума, при экстремальных температурах, с обеспечением погрешности геометрических измерений не более  $\pm 25$  мкм.

Влияние вакуума и широкий диапазон температур накладывают свои особенности при разработке методики проведения измерений и применения прецизионного измерительного оборудования.

ОАО «ИСС» совместно с НПП «Лазерные Системы», г. Санкт-Петербург, разработано и введено в эксплуатацию оборудование для высокоточного определения деформации отражающей поверхности рефлекторов в термовакуумных условиях (далее – КО).

КО предназначен для:

- высокоточных измерений геометрических параметров размеростабильных рефлекторов антенн диаметром до 2 м и аналогичных изделий при экстремальных температурах, в вакууме при нормальных условиях, а также при пониженной и повышенной влажности;
- квалификации на стойкость к внешним воздействиям (экстремальные температуры и вакуум) при наземной экспериментальной отработке и на этапе изготовления штатной продукции;
- разработки методик измерения и подтверждения заданных геометрических параметров высокоточных размеростабильных изделий.

Методика измерений величины деформаций размеростабильных рефлекторов в условиях вакуума

многопланова и состоит из нескольких этапов, одним из которых является определение погрешности КО.

Для определения погрешности относительных измерений КО был произведен ряд экспериментов в термобарокамере.

Внешний вид лазерного измерительного средства в термогермоконтейнере (ТГК) приведен на рис. 1.

Общий вид испытательной установки и схема размещения оборудования в вакуумной камере представлены на рис. 2.

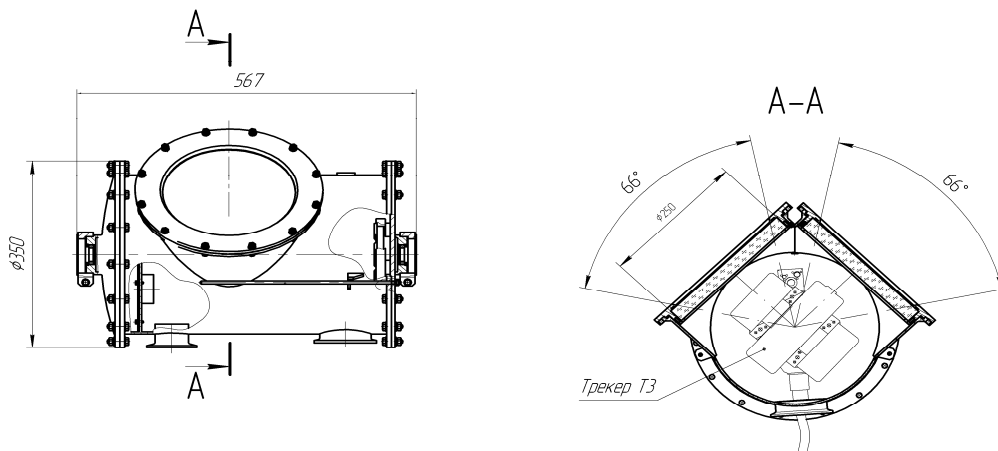


Рис. 1. Внешний вид и устройство термогермоконтейнера

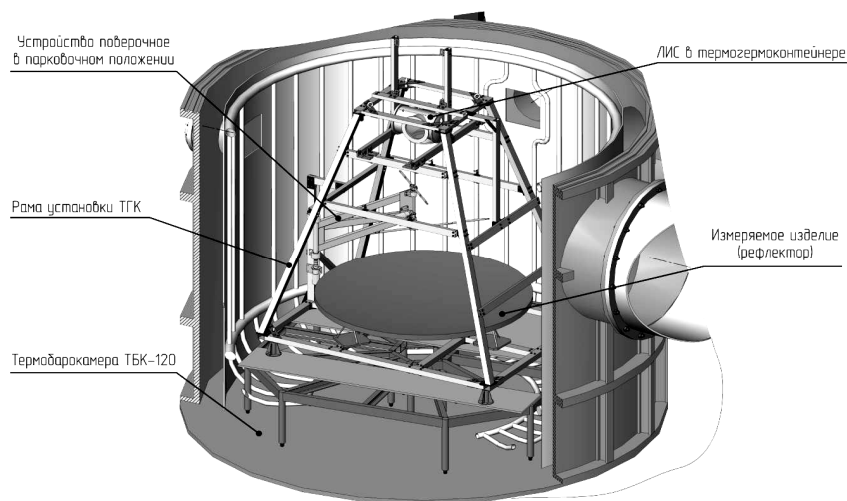


Рис. 2. Внешний вид термобарокамеры и испытательного стенда

Содержание эксперимента заключается в измерении тест-объекта в различных условиях:

- в нормальных условиях;
- в условиях вакуума при температуре +20 °С;
- в условиях вакуума при температуре –100 °С;
- в нормальных условиях.

Тест-объект представляет собой поворотное устройство с закрепленными на нем двумя инваровыми стержнями, каждый из которых находится на разных уровнях относительно их оси вращения. На нижнем стержне закреплены два реперных знака, имитирующие деформацию (рис. 3).

Реперные знаки были установлены на расстоянии 12 мм друг от друга.

В ходе эксперимента инваровый жезл тест-объекта поворачивался 32 раза на 22,5° (2 полных оборота) и в каждом положении производился обмер коор-

динат реперных знаков: сначала первого реперного знака, затем второго, и в такой последовательности 16 раз.

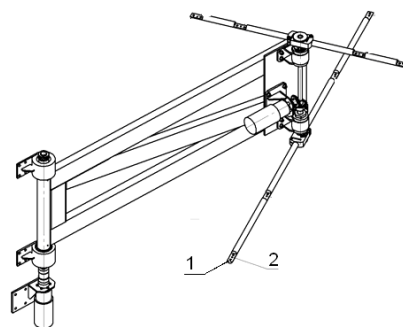


Рис. 3. Общий вид тест-объекта

Таким образом, в каждом положении жезла были получены 16 расстояний, имитирующих деформации между реперами рассчитанных по формуле

$$L_{nm} = \sqrt{(x_n - x_m)^2 + (y_n - y_m)^2 + (z_n - z_m)^2}, \quad (1)$$

где  $x, y, z$  – координаты меток.

Далее для каждого ряда из 16 расстояний было рассчитано СКО по формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N (R_j - \bar{R})^2}{N-1}}. \quad (2)$$

Затем были найдены средние значения среднеквадратичного отклонения (СКО) для каждого положения жезла во всех четырех этапах эксперимента (различных условиях). И найдено максимальное значение СКО из всех средних, максимальное среднее  $\sigma = 0,009$  мм.

Погрешность определить по формуле, исходя из того, что доверительная вероятность ( $P = 0,95$ ):

$$\Delta_{\text{деф}} = 2 \times \sigma = 2 \times 0,009 = 0,018. \quad (3)$$

Таким образом, введено в эксплуатацию измерительное средство, работоспособное непосредственно в термовакуумной среде, обеспечивающее определение изменений формы отражающей поверхности рефлекторов (деформации) под воздействием экстремальных температур и вакуума для выполнения всех технических требований при разработке, НЭО и изготовлении летной продукции с погрешностью  $\pm 9$  мкм, в данных условиях эксперимента [2].

Следующий этап проведения измерений с использованием КО совместно с лазерным радаром MV-260 (одной из возможностей которого является сканирование поверхности измеряемого изделия с малым шагом – порядка нескольких десятков мкм), разработанная на совмещении результатов представленной исследуемой поверхности в нормальных условиях, с деформациями, определенными в отдельных точках этой поверхности, при термовакуумных условиях с использованием КО [3].

Процесс измерения включает в себя следующие шаги:

- измерение координат референсных реперных знаков;
  - измерение координат точек на отражающей поверхности рефлектора;
  - построение по измеренным точкам на поверхности рефлектора-парабооида;
  - определение для построенного парабооида фокусного расстояния, координат вершины и фокуса.
- На время проведения испытаний внешние воздействия (вибрация, работа системы вентиляции и т. д.) должны быть максимально исключены. Схема проведения измерений показана на рис. 4.

Результаты измерений содержат геометрические параметры парабооида измеряемых рефлекторов до и после испытаний: фокусное расстояние парабооида, векторные диаграммы отклонений измеренных точек от парабооида, отклонения референсных точек.

Заключительный этап – проведение геометрических параметров рабочей поверхности рефлектора КО в термовакуумных условиях.

Процесс измерения включает в себя следующие шаги:

- измерение координат референсных реперных знаков (рис. 4);
- измерение координат контролируемых меток, расположенных на отражающей поверхности рефлектора (контрольные метки устанавливаются в заданные точки рефлектора согласно расчетным схемам). Измерения проходят при следующих режимах:
  - в нормальных условиях (НУ);
  - при воздействии вакуума  $5 \cdot 10^{-5}$  мм рт. ст.;
  - создание на поверхности измеряемого объекта температуры  $+110$  °С;
  - создание на поверхности измеряемого объекта температуры  $-110$  °С;
  - в нормальных условиях, после всех воздействий.

Результаты измерений содержат величины отклонений контролируемых меток (НУ – нагретое состояние, НУ – холодное состояние, НУ – НУ после испытаний), совмещенных предварительно по референсным меткам.

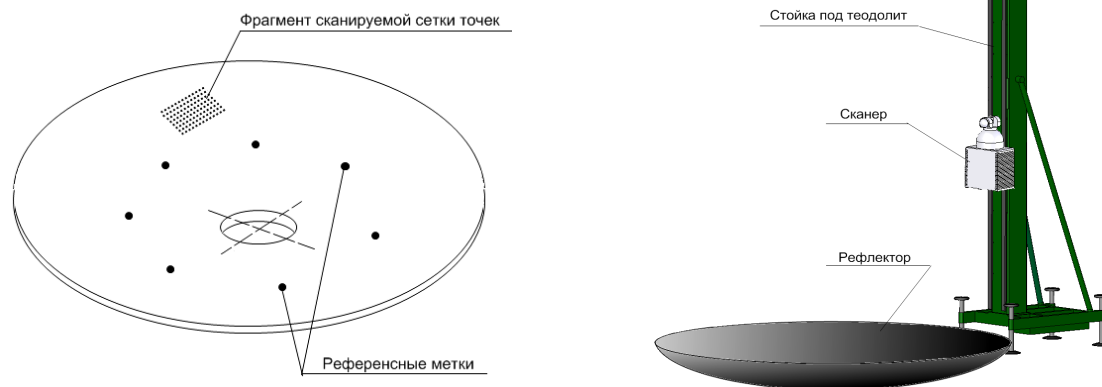


Рис. 4. Схема проведения измерений

Обработку результатов измерений условно можно поделить на два этапа:

- определение остаточных деформаций рефлектора;
- определение деформаций рефлектора во время воздействия температуры и вакуума.

При принятой схеме расстановки (рис. 2) оборудования (объект измерений и сканер), расстояния до измеряемых точек составят от одного до трех метров. Следовательно, погрешность измерения координат реперных точек может достигать  $\pm 30$  мкм.

Экспериментально полученные температурные деформации являются исходными данными для верификации расчетных моделей рефлекторов. Данные испытания прецизионных рефлекторов позволят контролировать качество изготавливаемых размеростабильных рефлекторов на соответствие требованиям КД.

G. V. Dvirniy

#### METHODS FOR HIGH-ACCURACY MEASUREMENTS OF PRECISION STRUCTURES FOR MOBILE AUTOMATIC SPACECRAFT IN THERMAL VACUUM CONDITIONS

*The technique of for high-accuracy measurements of precision structures for mobile spacecraft is developed. The evaluation of deformation measurement error is made.*

*Keywords: mobile automatic spacecraft, target mark, precision (dimension and stable) reflector, thermal vacuum conditions, temperature deformation.*

© Двирный Г. В., 2012

УДК 658.512.22

В. С. Ереско, С. П. Ереско, А. Н. Антамошкин, Т. Т. Ереско

#### АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА ПРЕСС-ФОРМ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МАНЖЕТНЫХ УПЛОТНЕНИЙ

*Приведена методика автоматизации технологического процесса производства пресс-форм для изготовления манжетных уплотнителей за счет построения параметрических моделей контактных уплотнений манжетного типа, включающих оптимизацию их проектных параметров и формы в зависимости от конкретных заданных условий последующей эксплуатации для обеспечения заданного гарантированного ресурса работоспособности.*

*Ключевые слова: уплотнитель, угол раскрытия манжеты, параметрическая модель уплотнителя, параметрическая модель пресс-формы.*

Процессы автоматизации проектирования неразрывно связаны с математическим моделированием объекта проектирования. Уплотнители применяются в гидропневмовакуумных системах для герметизации соединений, и моделирование рабочего процесса и оптимизация конструктивных параметров выполняется с учетом всех условий эксплуатации соединения и вида материала, из которого изготовлен уплотнитель.

Герметизирующие устройства контактного типа неподвижных сопрягаемых поверхностей гидроагрегатов работают по принципу прокладок. В этом случае для герметизации соединения достаточно такой величины контактных напряжений, которая способна

#### Библиографические ссылки

1. Вышванюк В. И. Тепловое расширение конструктивных волокнистых композитов // ГОНТИ. 1987. № 1.
2. Михалкин В. М., Двирный Г. В., Чураков Д. В. Определение погрешности при высокоточных измерениях прецизионных углепластиковых конструкций космических аппаратов в термовакуумных условиях // Решетневские чтения : материалы XV Междунар. науч. конф. (10–12 нояб. 2001, г. Красноярск) : в 2 ч. ; СибГАУ. Красноярск, 2001. Ч. 2. С. 78.
3. Высокоточные измерения геометрических параметров размеростабильных конструкций в термовакуумных условиях / Д. Н. Васильев, С. Л. Дружинин, И. М. Евдокимов и др. // Решетневские чтения : материалы XIII Междунар. науч. конф. (10–12 нояб. 2010, г. Красноярск) : в 2 ч. ; СибГАУ. Красноярск, 2010. Ч. 1.

деформировать материал прокладки до полного исчезновения зазоров.

При относительном перемещении сопрягаемых поверхностей требуются дополнительные контактные напряжения, так как в пленке рабочей жидкости, затягиваемой в уплотняемый зазор, возникает гидродинамическое давление, компенсирующее некоторую часть контактных напряжений.

В данном случае для повышения герметичности важна форма эпюры распределения контактных напряжений, исключая или снижающая вероятность возникновения гидродинамического давления, а также обеспечивающая возврат утечки рабочей