

УДК 629.78

**ПРИМЕНЕНИЕ ВЫСОКОТОЧНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ
В УСЛОВИЯХ ПОНИЖЕННОГО ДАВЛЕНИЯ**

© 2019 О.С. Ефремкин, С.Н. Шапошников

АО «Ракетно – космический центр «Прогресс», г. Самара

Статья поступила в редакцию 10.10.2019

Рассмотрен процесс подготовки к проведению высокоточных измерений РКТ в условиях пониженного давления. Определена измерительная система и необходимые средства технологического оснащения. Получены и проанализированы средовые параметры условий работы высокоточной измерительной системы.

Ключевые слова: космический аппарат, фотограмметрическая система, облако точек, контроль геометрии, эталонный жезл, трехмерная модель.

В современных условиях разработка прецизионных, размеростабильных конструкций представляется одной из важных задач при создании космических аппаратов дистанционного зондирования Земли. 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 термовакуумных условиях [1].

Одним из известных способов испытаний выбран тот, при котором объект и измерительная система находятся в термовакуумной камере. При этом средство измерения помещено в гермоконтейнер с иллюминатором.

Целью работы является адаптация высокоточной измерительной системы к измерениям в условиях пониженного давления.

Задачами работы является:

- выбор средства измерений;
- разработка алгоритма проведения измерений;
- экспериментальная проверка метода измерений;
- обработка результатов измерений.

Для проведения таких испытаний выбрано средство измерения на базе высокоточной фотограмметрической системы V-Stars.

Фундаментальным принципом, который используется в фотограмметрии, является три-

ангуляция. С помощью фотографий, сделанных как минимум из двух различных позиций, можно получить так называемую «линию визирования», идущую от каждой камеры до точки, расположенной на объекте. Эти линии визирования (иногда называемые лучами в силу их оптического характера) математически пересекаются для создания трехмерных координат фокальных точек. Принцип триангуляции также используется в теодолитах для измерения координат. Если вы знакомы с этими инструментами, вы найдете много схожего (а также и некоторые различия) между фотограмметрией и теодолитами. Если говорить еще проще, триангуляция является способом, который используется нашими глазами для определения расстояния (так называемое пространственное зрение). Принцип построения трехмерного изображения показан на рисунке 1.

Точность данной системы при определении положения каждой измеряемой точки в нормальных условиях ограничивается:

$$A = 5 \text{ мкм} + L_{\text{макс}} \times 5 \text{ мкм},$$

где $L_{\text{макс}}$ – максимальная длина диагонали минимального куба, охватывающего все измеряемые точки.

Комплект фотограмметрического оборудования включает в себя (рисунок 2):

1. Фотограмметрическое устройство Inca3a.
2. Станция для обработки данных.
3. Комплект эталонных жезлов из инвара.
4. Система координат AutoBar.
5. Используемые светоотражающие цели.

Средства технологического оснащения включают в себя гермоконтейнер, кронштейн для его установки в термовакуумной камере, и систему подачи воздуха.

Перечень технологического оборудования (рисунок 3):

Ефремкин Олег Сергеевич, начальник группы.

E-mail: olegef1@rambler.ru

Шапошников Сергей Николаевич, ведущий инженер-конструктор. E-mail: serg9ff@mail.ru

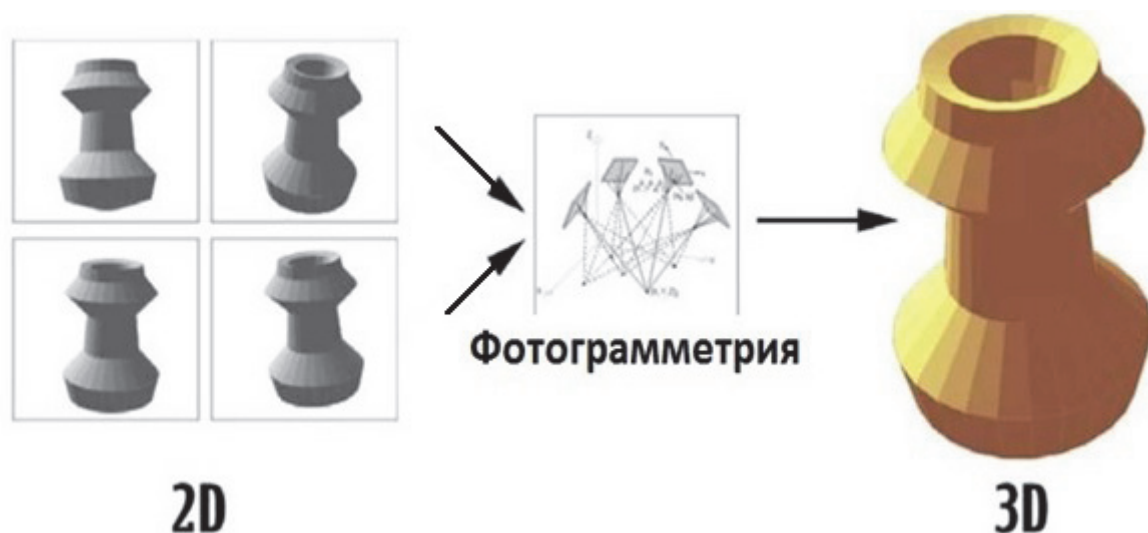


Рис. 1. Принцип фотограмметрии



Рис. 2. Комплект фотограмметрического оборудования

1. Гермоконтейнер для установки фотограмметрического устройства Inca3a внутри вакуумной камеры и проведения измерений в условиях пониженного давления.

2. Передняя крышка гермоконтейнера.

3. Основание гермоконтейнера с крепежной системой для монтажа фотограмметрического устройства Inca3a.

4. Блок управления фотограмметрическим устройством и нагревателями внутри гермоконтейнера.

5. Тefлоновый кабель для подключения питания к гермоконтейнеру с фотограмметрическим устройством Inca3a.

6. Крепежные винты (12 шт.) для сборки гермоконтейнера.

Внутри гермоконтейнера смонтирована система датчиков температуры и давления для

контроля средовых параметров условий работы измерительной системы (рисунок 4):

На рисунке 5 приведена схема проведения измерений, где:

1. Вакуумная камера;

2. Поворотная платформа;

3. Объект измерений;

4. Светоотражающие цели, наклеенные на контролируемые элементы;

5. Эталоны длины из инвара;

6. Гермоконтейнер с фотограмметрическим устройством Inca3a;

7. Тefлоновый кабель, через который осуществляется управление фотограмметрическим устройством и прием телеметрии;

8. Кронштейн для закрепления гермоконтейнера внутри камеры;

9. Станция для обработки данных;



Рис. 3. Технологическое оборудование для испытаний в вакууме



Рис. 4. Монтаж фотограмметрического устройства внутри гермоконтейнера

10. Блок управления фотограмметрическим устройством Inca 3a с системой мониторинга температуры и давления внутри гермоконтейнера;

11. Гермоплата;

12. Трубопроводы для подачи азота;

13. Шкала AutoBar для задания системы координат;

14. Кодированные цели.

ПРОЦЕСС ПОДГОТОВКИ К ИЗМЕРЕНИЯМ

Объект испытания расположен на поворотном столе в термовакуумной камере;

Фотограмметрическая система смонтирована на кронштейне, закреплённом на крышке термовакуумной камеры.

На столе расположены кодированные цели, эталоны длины и шкала системы координат для математического расчёта, обработки и анализа результатов измерений;

На объект измерения приклеены светоотражающие цели для контроля геометрических параметров объекта. Диаметр светоотражающей цели составлял 6 мм [2];

Для вентиляции и охлаждения гермоконтейнера налажена непрерывная подача воздуха;

Система управления соединена с фотограмметрическим устройством посредством тefлонового кабеля подключённого через гермоплату термовакуумной камеры;

После проведения пусконаладочных работ запускается процесс понижения давления до 10^{-2} Па;

При достижении заданного давления начинается измерение геометрических параметров объекта.

Для повышения точности математического расчёта, в каждом положении объекта выполнено по 10 замеров в 36 положениях поворотного стола. После проведения цикла измерений фотограмметрической системой получены трех-

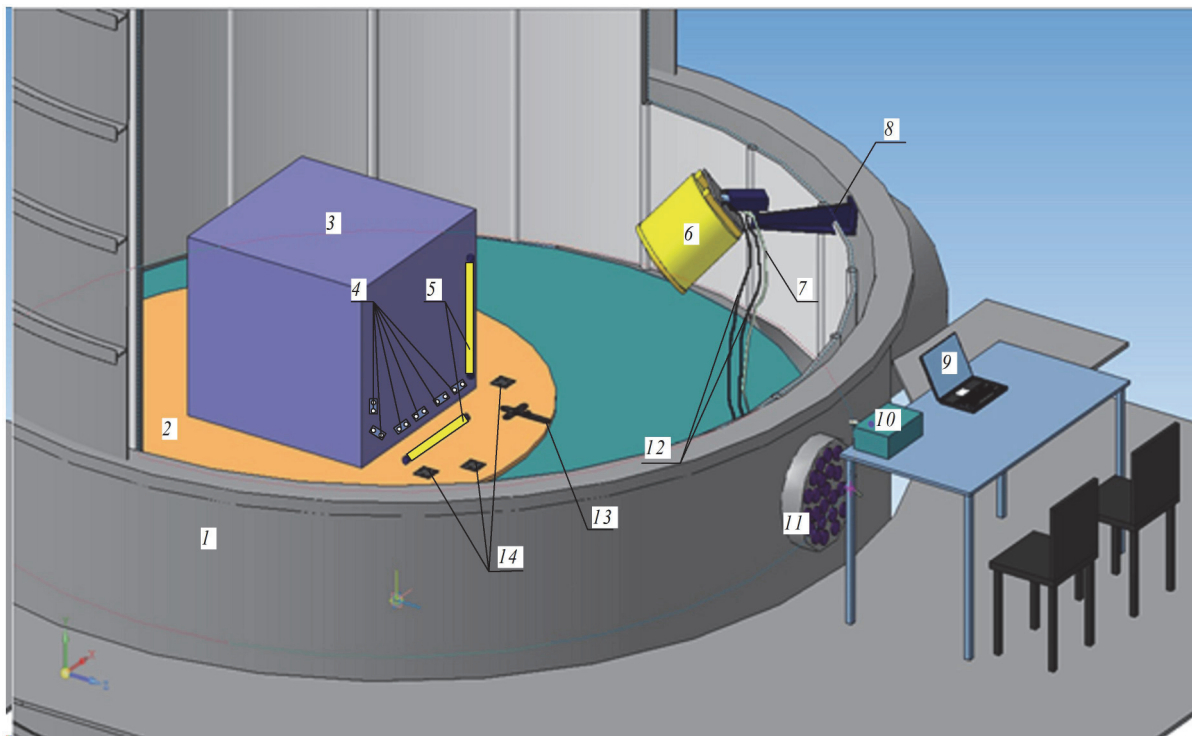


Рис. 5. Схема проведения измерений

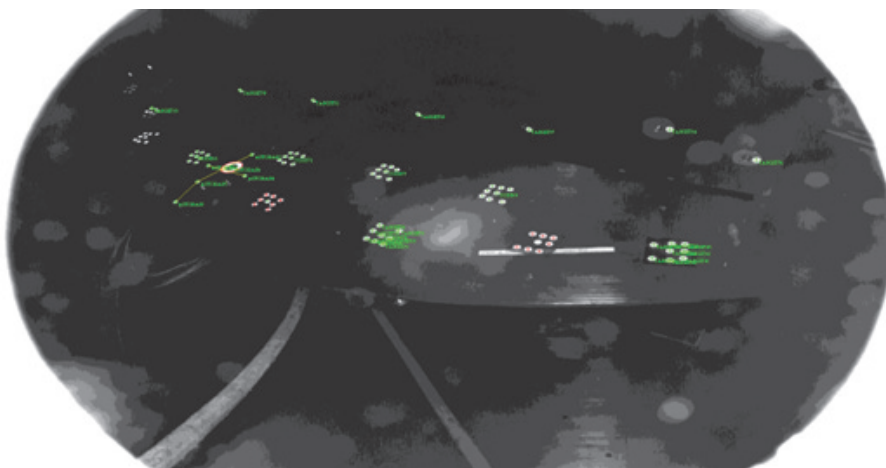


Рис. 6. Кадр, полученный фотограмметрической системой

мерные координаты точек, расположенных на объекте измерения в условиях термовакuumного нагружения (рисунок 6) [3].

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

После проведения всего цикла измерений получены 360 кадров объекта испытаний;

С помощью программного обеспечения V-Stars и станции обработки данных, путём математических вычислений положений кодированных целей все кадры совмещены в единую фотограмметрическую картину;

Определено положение световозвращающих целей;

Полученные данные импортированы в программное обеспечение Spatial Analyser;

В программном обеспечении Spatial Analyser получены координаты и геометрические параметры объекта испытания (рисунок 7).

ВЫВОДЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ

Фотограмметрическая система способна обеспечить контроль геометрии в условиях пониженного давления;

Испытания не ограничиваются замерами «до» и «после» вакуумирования;

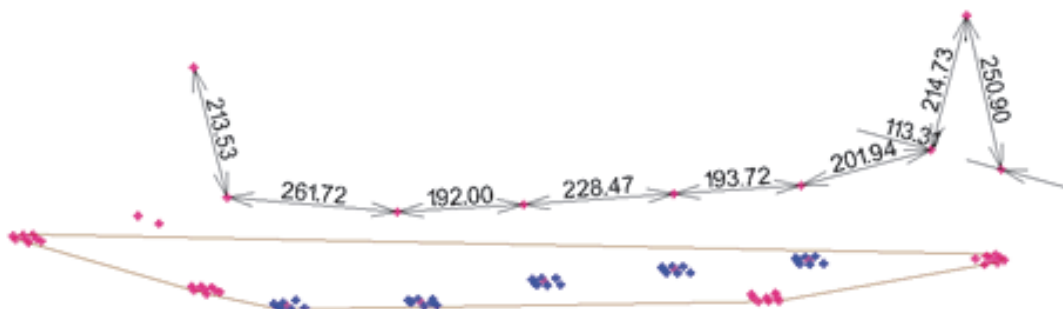


Рис. 7. Результаты обработки данных в ПО SA

Замеры геометрии можно провести на любом этапе вакуумирования:

- Процесс снижения давления;
- Выдержка объекта;
- Нагнетание давления.

Для улучшения ракурсов съемки контрольных точек объекта и повышения качества результатов измерений следует изготовить оснастку для крепления гермобокса к термовакуумной установке с возможностью регулировки по высоте;

Так же следует отметить, что для исследования точности измерений в условиях пониженного давления в измерительную схему можно добавить комплект ситалловых эталонов.

Таким образом, применяя используемый метод измерений, комплект технологического оснащения и оборудования, можно исследовать деформированное состояние размеростабильных конструкций в условиях, приближенных к эксплуатационным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ананьев, В.В. и др.* Измерение прецизионных конструкций КА в термовакуумных условиях / В.В. Ананьев, Н.А. Тестоедов, Г.В. Двирный, В.В. Двирный // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Холодильная техника и кондиционирование», 2014. – № 1.
2. *Антоненко, А.П.* Выбор реперных знаков для термовакуумных измерений поверхностей твердотельных рефлекторов космических аппаратов / А.П. Антоненко, Г.В. Двирный, Д.В. Усачев, Д.В. Чураков, Е.А. Байбородова // Решетневские чтения: материалы XX Юбилейной междунар. Науч.-практ. Конф. – Красноярск, 2016. – Ч. 1. – С. 8-10.
3. *Байбородова, Е.А.* Адаптация стандартных реперных знаков для термовакуумных измерений крупногабаритных трансформируемых конструкций / Е.А. Байбородова, Г.В. Двирный, А.П. Антоненко, Д.В. Усачев, Д.В. Чураков // Решетневские чтения: материалы XX Юбилейной междунар. Науч.-практ. Конф. – Красноярск, 2016. – Ч.1. – С. 16-18.

HIGH-PRECISION SYSTEMS ADAPTATIONS TO MEASUREMENTS UNDER LOW PRESSURE

© 2019 O.S. Efremkin, S.N. Shaposhnikov

JSC SRC «Progress», Samara

The paper treats the issue of the preparation process for carrying out of high-precision measurements of the spacecraft under the low pressure. The measuring system and the necessary technological equipment are determined. The environmental parameters of the operating conditions of a high-precision measuring system are obtained and analyzed.

Keywords: spacecraft, photogrammetry system, cloud of points, pattern, geometrics control, scale, 3D model