

КОНТРОЛЬ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОСАДОЧНЫХ МЕСТ ПОД ПРИБОРЫ ВЫСОКОЙ ТОЧНОСТИ УСТАНОВКИ

© 2020 О.С. Ефремкин, С.Н. Шапошников

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

Статья поступила в редакцию 24.11.2020

В статье рассмотрены материалы создания методики по определению угловых положений посадочных мест под приборы высокой точности установки с помощью лазерной измерительной системы, описаны основные средства измерений, определён методологический подход, состав оборудования и последовательность проводимых работ.

Ключевые слова: космический аппарат, приборы высокой точности установки, контроль положения, высокоточные измерения, лазерная измерительная система.

DOI: 10.37313/1990-5378-2020-22-6-21-26

Процесс производства современной ракетно-космической техники уже невозможно представить без использования высокоточных систем измерений. На космических аппаратах имеется большое количество устанавливаемых внешних устройств, для части из них предъявляются требования по высокой точности установки. Для подтверждения выполнения данных требований нужно использовать измерительные системы, обеспечивающие высокую точность измерений. Одним из универсальных измерительных средств, применяемых для решения указанных выше задач, являются системы лазерные координатно-измерительные, так называемые лазерные трекары [1]. Эти системы обладают высокой точностью, производительностью, обеспечивают бесконтактность измерений и получения результата в цифровой форме [2].

Данная работа является продолжением работы [3], в которой описывался принцип и способ измерений, приводилась оценка погрешности. Целью данной работы является создание методики определения фактического углового положения посадочных мест под приборы высокой точности установки. Задачами работы является определение координат контрольных точек на посадочных местах под приборы, обоснование выбора технологического оборудования и последовательности действий для определения положения посадочных мест под приборы с заданной точностью, расчет погрешности.

Объектом измерения является рама БА ВРЛК с кронштейнами под приборы, конструктивная схема которой представлена на рисунке 1.

Измерения координат контрольных точек для определения углового положения посадочных мест приборов относительно СК БА ВРЛК вы-

Ефремкин Олег Сергеевич, начальник группы.

E-mail: olegef1@rambler.ru

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

полняется лазерным трекаром API Radian, путем касания измеряемых элементов поверхностью сферического высокоточного отражателя [4].

Максимально допустимая погрешность определения положения контрольных линий должна составлять 45". Максимально допускаемая абсолютная погрешность измерений каждого угла не должна превышать 30".

Контролю подлежат следующие элементы конструкции:

- Посадочное место на кронштейне с термоплатой 8140А-100;
- Посадочное место на кронштейне с термоплатой 8140А-500;
- Посадочное место на кронштейне 8140А-200;
- Посадочное место на кронштейне 8140А-300;
- Посадочное место на кронштейне 8140А-400.

Базовой плоскостью конструкции принимается плоскость площадок, по которым происходит стыковка БА ВРЛК с рамой БА ВРЛК.

Система координат (СК) БА ВРЛК материализована базовым отверстием, пазом и базовой плоскостью, образованной площадками, расположенными на КЧ АФАР (Рисунок 1). За начало координат СК БА ВРЛК принимается центр окружности в базовой плоскости, проведенной через центры базового отверстия и паза.

Измерение углового положения каждого из посадочных мест относительно СК БА ВРЛК осуществляется путем определения углового положения двух линий:

- перпендикуляр, восстановленный от посадочной поверхности (БПЭ);
- вектор на посадочной поверхности, проходящей через образующие базовых фиксирующих элементов (БФЭ), направлением от штифта (шпильки) под классный паз к штифту (шпильке) под классное отверстие.

Вид посадочных площадок под оборудование представлен на рисунке 2.

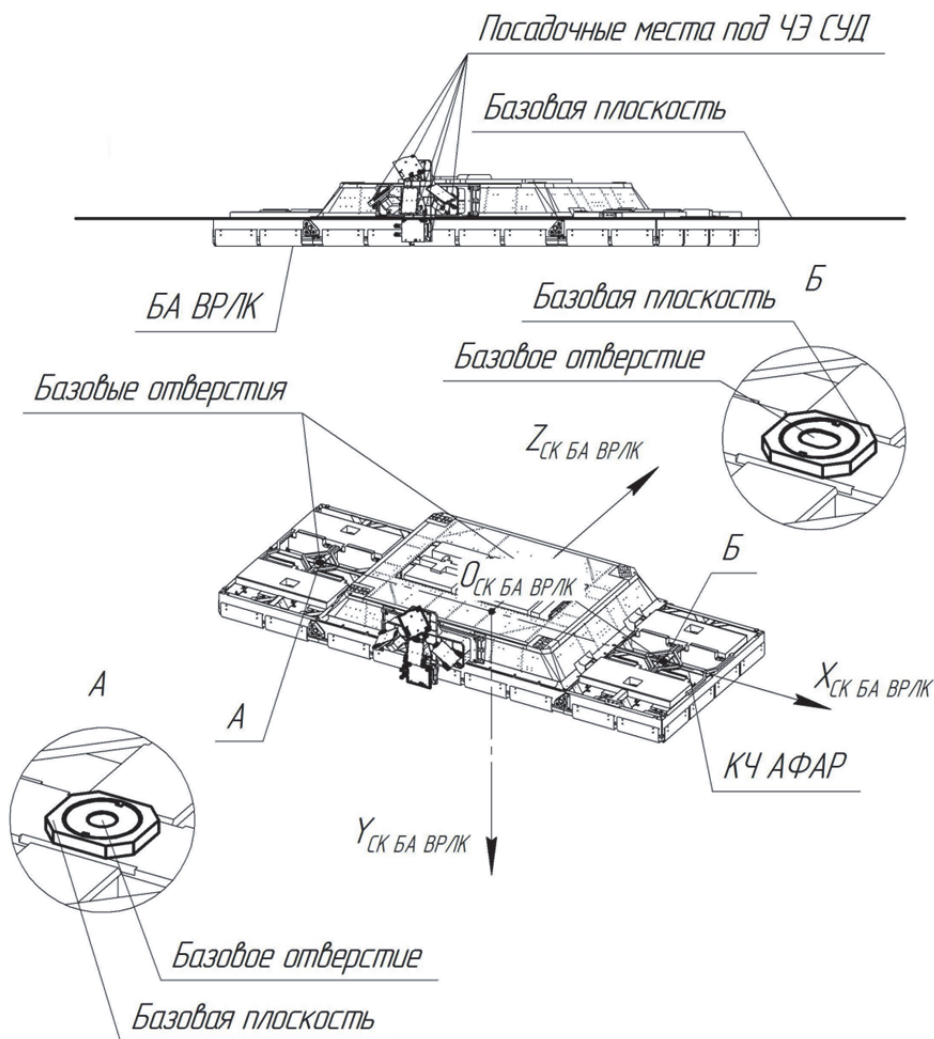


Рис. 1. Конструктивная схема рамы БА ВРЛК с кронштейнами

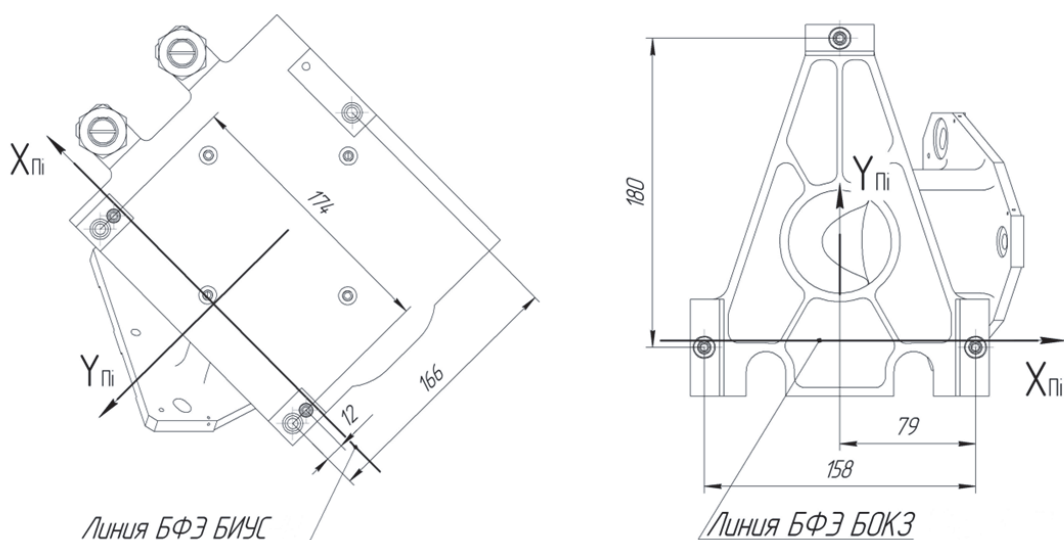


Рис. 2. Посадочные места под приборы

Для выполнения задачи необходимо произвести измерения точек базовой плоскости, центров базового отверстия и паза, а также точек на кронштейнах для построения плоскостей БПЭ и линий БФЭ.

СК БА ВРЛК материализована базовым отверстием, пазом и базовой плоскостью, образованной площадками, расположенными на КЧ АФАР (Рисунок 1). За начало координат СК БА ВРЛК принимается центр окружности в базовой

плоскости, проведенной через центры базового отверстия и паза.

Вспомогательное оборудование, применяемое при проведении измерительных работ:

- штатив с адаптером для установки СИ;
- калибровочный штатив;
- сферический отражатель диаметром 1.5 дюйма;
- персональный компьютер в переносном исполнении;
- программное обеспечение API TrackerCal версии не ниже 4.1.2;
- программное обеспечение – NRK Spatial Analyzer версии не ниже 2012.12.06.

Для достижения требуемой точности измерений весь комплекс измерений необходимо выполнять с одной стоянки прибора. Создание временной опорной сети для смены стоянки прибора не требуется

УСТАНОВКА СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ

Производится сборка и установка трекера API Radian на штативе BRUNSON на едином фундаменте с установленной на опорной конструкции БА ВРЛК. Все фиксаторы штатива должны быть зажаты, колеса подняты, опорные шпильки зафиксированы контргайками. Дистанция от вертикальной оси вращения трекера до плоскости основания кронштейнов ЧЭ СУД должна составлять 1664 ± 50 мм. Дистанция от горизонтальной оси вращения трекера до нижней плоскости БА ВРЛК 1038 ± 50 мм. Данные условия необходимы для обеспечения измерений необходимых точек с одной стоянки трекера.

Для проверки стабильности положения трекера относительно объекта необходимо разместить и закрепить на объекте адаптер для отражателя и измерить точку, назовём её «А».

Схема установки лазерного трекера API Radian относительно БА ВРЛК с кронштейнами ЧЭ СУД представлена на рисунке 3.

Для определения СК необходимо измерить по одной точке на шести площадках базовой поверхности КЧ АФАР (В1...В6), а также центр базового отверстия и 2 центра паза (С1...С3) (всего 9 точек), как показано на рисунке 4.

На рисунке 5 представлена конструктивная схема кронштейнов ЧЭ СУД.

Контрольные точки должны быть измерены в виде массива точек на поверхностях БПЭ посредством сферического отражателя диаметром 0,5 дюйма, а также вокруг шпилек БФЭ, описывая окружность, для дальнейшего построения центров шпилек и линий БФЭ. Схеме расположения измеренных точек представлена на рисунке 6.

Так массив точек БПЭ образует плоскость параллельную посадочной поверхности (БПЭ), а центры окружностей образованных массивом точек БФЭ в свою очередь образуют линию на этой плоскости, проходящую через оси базовых фиксирующих элементов (БФЭ), направлением от штифта (шпильки) под классный паз к штифту (шпильке) под классное отверстие.

Измерения необходимо проводить, не допуская прерывания луча от момента снятия отражателя с «домашней точки» до окончания цикла измерений, во избежание отключения режима интерферометра. При прерывании луча необходимо вернуть отражатель в исходное положение для возобновления измерений в режиме интерферометра. Все измерения следует провести за минимальное количество сессий, как можно реже возвращая отражатель в исходное положение, для минимизации физического взаимодействия с трекером, и за наименьшее количество времени, чтобы снизить влияние окружающей среды и риск потери стабильности трекера и объекта измерений. Проверять стабильность положения трекера относительно объекта измерений, контролируя положение точки «А».

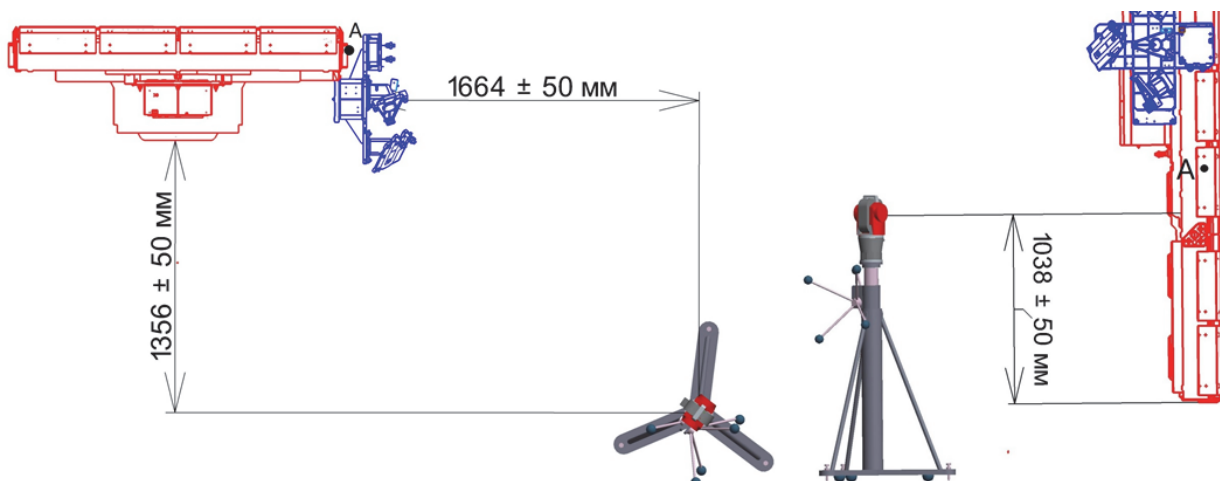


Рис. 3. Позиция трекера при измерениях

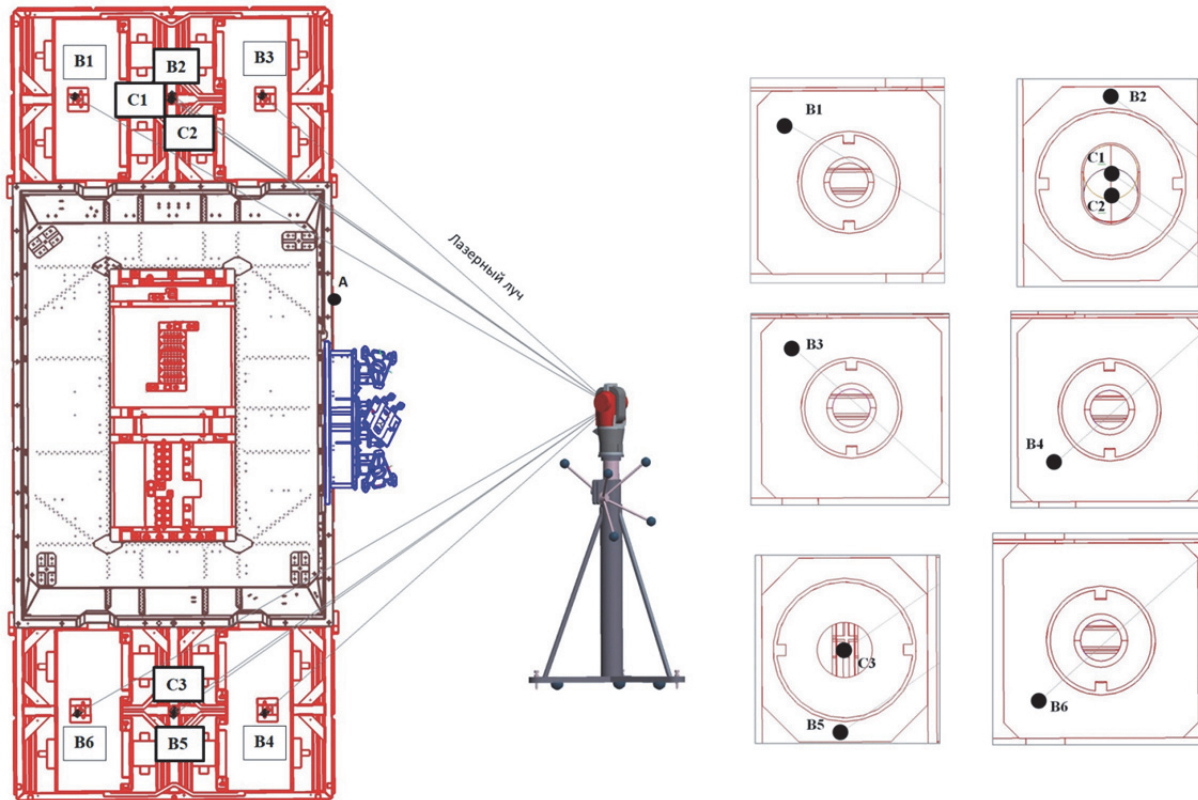


Рис. 4. Схема расположения КТ на площадках базовой плоскости

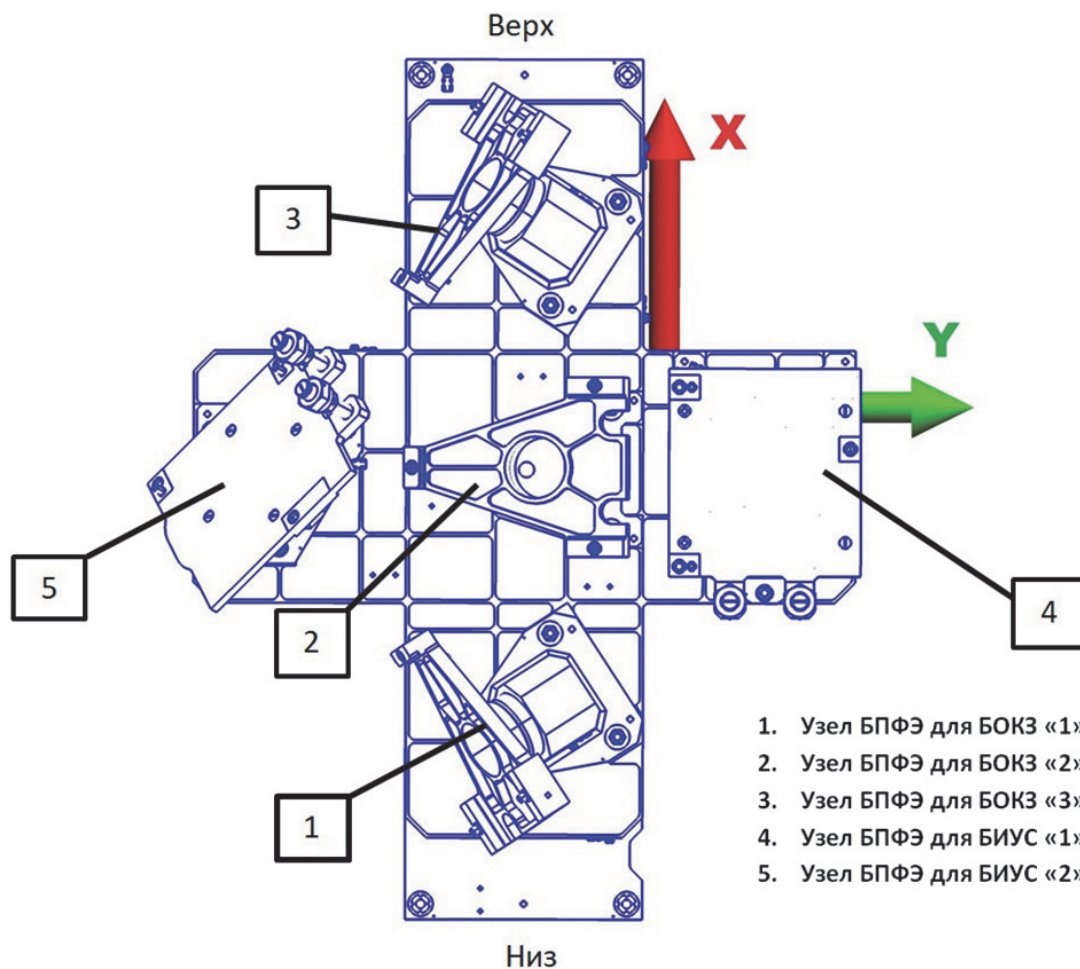


Рис. 5. Конструктивная схема кронштейнов ЧЭ СУД

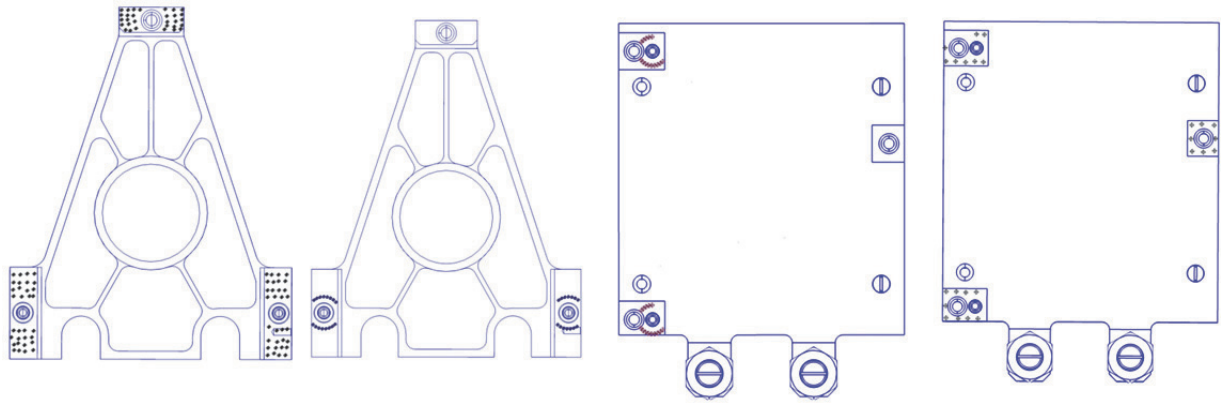


Рис. 6. Положение массива точек БПЭ для БОКЗ и БИУС

ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

Предельная погрешность измерения координат определяется измерительной предельной погрешностью трекера, погрешностью установки отражателя, а также стабильностью конструкции и опоры. Максимальная объемная погрешность измерений трекером в режиме интерферометра при предложенной схеме установки составляет $\Delta_{max} = L_{max} * \Delta_{прибор}^{0,997} = 3,6м * 7,5 \frac{мкм}{м} = 27 мкм$, где Δ_{max} – максимальная погрешность измерений, L_{max} – максимальная дистанция измерений, $\Delta_{прибор}^{0,997}$ – предел допускаемой объемной погрешности измерений интерферометром при доверительной вероятности 0,997. Фактическая погрешность измерений изменяется в меньшую сторону ввиду работы трекера в узком диапазоне горизонтальных ($\pm 20^\circ$) и вертикальных ($\pm 35^\circ$) углов.

Далее приведены формулы расчета абсолютной погрешности среднего значения измеряемой величины – углов, определяемых по 10 циклам замеров в соответствии с ГОСТ Р 8.736-2011, МИ 2083-90.

Приняты следующие обозначения:

A - измеряемая величина,

\bar{A} – среднее значение измеряемой величины,

$\Delta\bar{A}$ – случайная погрешность измеряемой величины.

Среднее значение координат вычисляется по формуле:

$$\bar{A} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i}{n},$$

Среднеквадратическое отклонение вычисляется по формуле:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (A_i - \bar{A})^2}{n - 1}},$$

Случайная погрешность $\Delta\bar{A}$ вычисляется по формуле:

$$\Delta\bar{A} = t_{P,n-1} \times \frac{S}{\sqrt{n}},$$

где n - количество выполненных циклов измерений.

$t_{P,n-1}$ – коэффициент Стьюдента, зависящий от доверительной вероятности (P) и числа выполненных циклов измерений (n). Значения приведены в Таблице 3.

Распределение Стьюдента используется при проведении экспериментов и испытаний для оценки того, насколько вероятно, что истинное значение величины при данном количестве измерений находится в заданном диапазоне, определяемым коэффициентом Стьюдента.

Истинное значение измеряемой величины «А» с доверительной вероятностью «Р» лежит в интервале значений от $(\bar{A} - \Delta\bar{A})$ до $(\bar{A} + \Delta\bar{A})$.

Можно показать, что косвенные измерения искомых углов можно привести к линейной комбинации отдельных прямых измерений точек.

Суммарная доверительная погрешность результатов измерений вычисляется по формуле:

$$\Delta\bar{X} = \Delta\bar{A} + \Theta_x + \Theta_{отр},$$

где Θ_x – инструментальная погрешность измерений;

$\Theta_{отр}$ – погрешность центровки отражателя;

Погрешность центровки отражателя следует исключить путём установки отражателя в одном и том же положении относительно измерительной головки трекера.

Таким образом, суммарная погрешность принимает вид:

$$\Delta\bar{X} = \Delta\bar{A} + \Theta_x.$$

В данной работе приведены результаты создания методики определения фактического углового положения посадочных мест под приборы относительно системы координат БА ВРЛК с помощью лазерного трекера. Выполнена задача обеспечения высокой точности измерений, приведены основные приёмы и последовательность действий при измерениях и произведена оценка погрешности измерений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Демкин, В.Н. Лазерные технологии при измерении геометрии поверхности сложной формы (обзор) [Текст] / В.Н. Демкин, В.Е. Привалов. // Вестн. СПбО АИН. Вып.5. – СПб.: СПбГПУ, 2008. – С. 138 – 187.
2. Двирный Г.В. Методы высокоточных измерений прецизионных конструкций мобильных автоматических космических аппаратов в термовакуумных условиях / Г.В. Двирный // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнева. 2012. №2(42). С. 127-130.
3. Шапошников С.Н. Контроль геометрических параметров посадочных мест высокой точности для чувствительных элементов системы управления движением космического аппарата / С.Н. Шапошников, О.С. Ефрекин // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2018. т. 20, № 4. С. 55-60.
4. Якунин, В.В. Системы лазерные координатно-измерительные API Tracker 3 [Текст] / В.В. Якунин, Д.Г. Викорук. // Вестн. Метролога. Вып. 2. - СПб, 2009. – С. 13 – 15.

CONTROL OF GEOMETRIC PARAMETERS OF SLOTS FOR HIGH PRECISION INSTALLATION INSTRUMENTS

© 2020 O.S. Efremkin, S.N. Shaposhnikov

JSC SRC «Progress», Samara, Russia

The article discusses the materials for creating a methodology for determining the angular positions of slots for high-precision devices using a laser measuring system, describes the main measuring instruments, defines a methodological approach, the composition of equipment and the sequence of work performed.

Key words: spacecraft, high precision instruments, position control, high precision measurements, laser measuring system.

DOI: 10.37313/1990-5378-2020-22-6-21-26

Oleg Efremkin, Head of the Group.

E-mail: olegef1@rambler.ru

Sergey Shaposhnikov, Leading Design Engineer.

E-mail: serg9ff@mail.ru