

УДК 629.78

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ И АНАЛИЗ СТАБИЛЬНОСТИ ПОСАДОЧНЫХ МЕСТ ВЫСОКОЙ ТОЧНОСТИ УСТАНОВКИ МКА «АИСТ-2Д»

© 2017 С.Н. Шапошников, Е.В. Космодемьянский

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

Статья поступила в редакцию 21.02.2017

Приведены сведения о создании конструкции малого космического аппарата дистанционного зондирования Земли. Представлены результаты разработки конструкторской документации, вибродинамических испытаний, подтверждающих стабильность конструкции малого космического аппарата. Рассмотрен и проанализирован опыт проведения измерения фактического положения посадочных мест высокой точности установки. Сформулированы рекомендации по дальнейшему развитию данной технологии.

Ключевые слова: малый космический аппарат, информационные технологии, стабильность конструкции, вибродинамические испытания, средства измерений.

В настоящее время невозможно представить себе развитие современного общества, государственных институтов и международного взаимодействия без широкого применения результатов космической деятельности. Дистанционное зондирование поверхности Земли из космоса является одним из наиболее динамично развивающихся направлений комических технологий. Получаемая со спутников информация широко применяется в самых разных областях хозяйственной деятельности человека [1].

Запущенный 28 апреля 2016 года с первого гражданского космодрома России – космодрома «Восточный» - малый космический аппарат (МКА) «Аист-2Д» дополнил группировку спутников дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) производства АО «РКЦ «Прогресс». МКА «Аист-2Д» является уникальным аппаратом как для АО «РКЦ «Прогресс», так и для рынка малых аппаратов в целом. Общий вид МКА «Аист-2Д» представлен на рис. 1.

На космических аппаратах ДЗЗ предъявляются высокие требования по точной привязке координат расположения оптико-электронной аппаратуры (телескопа) с координатами расположения приборов системы управления движением и чувствительными элементами для обеспечения целевых показателей КА [2]. К таким приборам относятся звёздные и солнечные датчики, приборы измерения угловых скоростей, гироскопы и другие.

Традиционно для выполнения этих требований необходимо изготовление высокоточной оснастки, использование трудоёмкой техноло-



Рис. 1. Общий вид МКА «Аист-2Д»

гии доводочных работ на этапе окончательной сборки КА и высокой квалификации исполнителей. Всё это является причиной увеличения сроков изготовления и окончательной стоимости КА[3].

При разработке проектно-конструкторского облика МКА «Аист-2Д» для устранения этих недостатков было принято решение отказаться от проведения юстировочных работ и использовать технологию по проведению замера фактического углового положения посадочных мест под приборы высокой точности установки при помощи лазерного трекера. В результате этого, требования по точности углового положения посадочных мест под приборы системы управления движением и чувствительные элементы на МКА составили порядка 1-2° при обеспечении механической стабильности 2-3 угловых минуты. Такую точность углового положения посадочных мест стало возможным обеспечить конструктивно, без использования регулиро-

Шапошников Сергей Николаевич, ведущий инженер-конструктор.

Космодемьянский Евгений Владимирович, кандидат технических наук, заместитель Генерального конструктора по научной работе.

E-mail: 1060_kosmodemyanskii@samspace.ru

вочных работ. Погрешность измерений фактического положения посадочных мест, исходя из требований на систему управления движением, не должна была превышать 45 угловых секунды [4]. Для подтверждения механической стабильности фактическое угловое положение посадочных мест контролировалось до и после вибродинамических испытаний.

В соответствии с поставленной задачей, вместо задания значений углов и их отклонений для выполнения их с помощью юстировочных работ были заданы требования по фактическому замеру положения посадочных мест под приборы с заданной погрешностью. Для минимизации сроков разработки МКА конструкторская документация была выполнена полностью в электронном трехмерном виде с применением технологии нисходящего проектирования.

Широкое применение новых технологий управления проектами и высокоуровневых информационных технологий на МКА «Аист-2Д» обеспечило высокую эффективность процесса разработки технической документации, а так же дало возможность применения перспективных конструкторских и технологических решений [5]. Фрагменты конструкторской документации в виде аннотированных трехмерных моделей с комбинированными видами приведены на рис. 2, где M , M_1 , M_2 – посадочные места для проведения замеров относительно базы Ю.

Задача проведения измерений состояла в определении фактических угловых отклонений посадочных мест под приборы высокой точности установки относительно баз, указанных в конструкторской документации. В качестве объекта измерений выступали посадочные места

под приборы высокой точности установки, расположенные на кронштейнах МКА «Аист-2Д».

Исходное состояние изделия:

- бортовая аппаратура не устанавливается;
- сотопанели установлены на корпусной раме изделия кроме II – IV плоскостей;
- кронштейны установлены на сотопанели и раму изделия согласно требованиям КД.

Общий вид объекта измерений приведён на рис. 3.

Технология замера фактического углового положения посадочных мест под приборы высокой точности установки заключалась в следующем: с помощью лазерного трекера производился замер фактического положения площадок под приборы и их фиксирующих элементов (шифтов или направляющих шпилек), при этом использовался интерфейс самого лазерного трекера (сферические отражатели) и фиксаторы (адаптеры).

При выполнении контроля посадочных мест под приборы изделия «Аист-2Д» применялись следующие средства измерений:

- лазерный трекер;
- уголковые отражатели в сферической обечайке 0,5 и 1,0 дюйма;
- адаптеры под сферический отражатель 0,5 и 1,0 дюйма;
- программное обеспечение для проверки, калибровки и работы с лазерным трекером.

Принцип действия координатно-измерительной системы лазерного трекера заключается в следующем. Координатно-измерительная система измеряет горизонтальный и вертикальный углы относительно своего положения в пространстве, а также дистанцию до отражателя. На рис. 4 представлена принципиальная

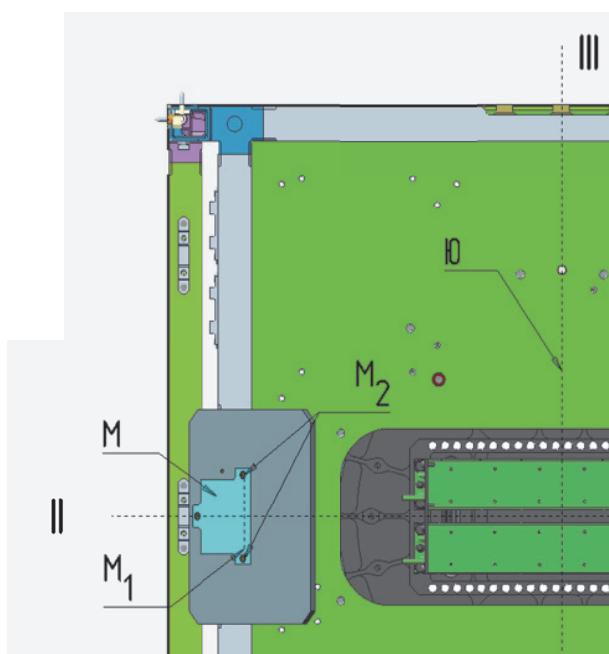
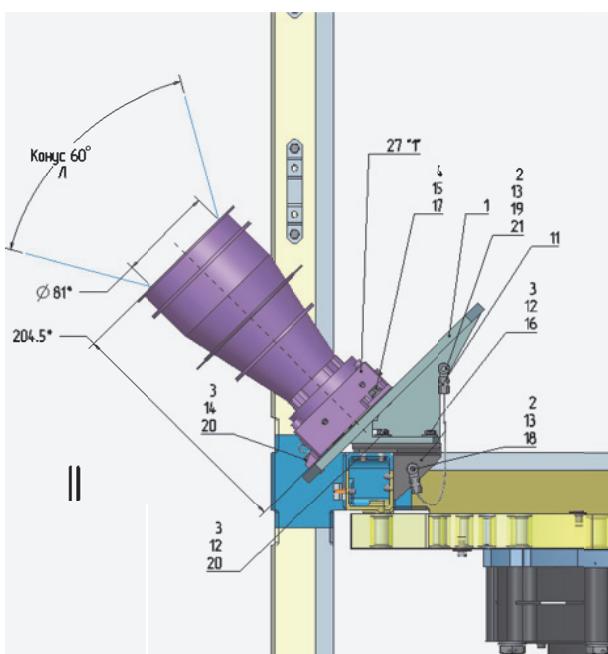


Рис. 2. Фрагменты конструкторской документации

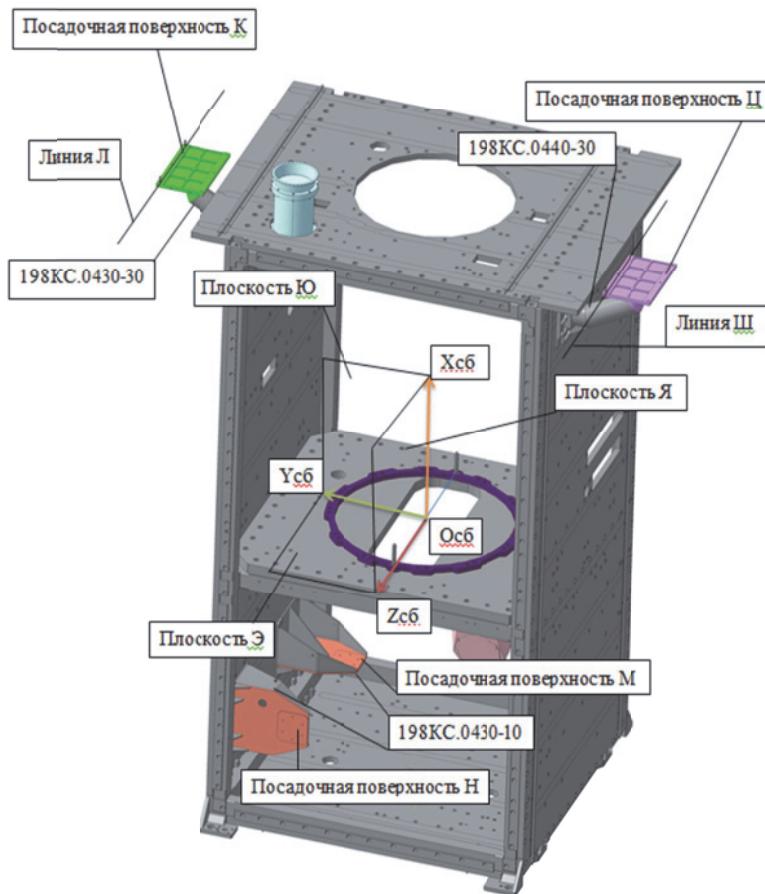


Рис. 3. Общий вид объекта измерений

схема определения координат отражателя (X_0 , Y_0 , Z_0) по результатам замеров горизонтального (H_z) и вертикального (V) углов и расстояния (D) с помощью лазерного трекера. В данном случае определялись координаты отражателя в системе координат лазерного трекера. Измерения выполняются на три и более контрольные точки объекта с известными координатами. Все остальные измерения могут быть автоматически пересчитаны уже в системе координат объекта. В данных измерениях использовался метод последовательного прикладывания отражателя к измеряемым поверхностям изделия и фиксирование его координат [6].

Проведение измерений посадочных мест приборов включало в себя следующие операции:

- сборка и соединение всех компонентов комплекта лазерного трекера. Головка лазерного трекера устанавливалась на штатном штативе, настроенном на минимальную высоту.

- запуск программного обеспечения трекера.
- установка объекта измерений с обеспечением стабильности положения.

- установка рядом с объектом измерений металлической колонны со специальной горизонтальной площадкой для размещения головки лазерного трекера.

Схема расположений объекта измерений и из-

мерительного прибора представлена на рис. 5.

Оценка погрешности измерений производилась следующим образом. Предел суммарной погрешности контроля посадочных мест приборов изделия «Аист-2Д» определялся по формуле:

$$\Delta = \pm \sqrt{\Delta_{\text{си}}^2 + \Delta_{\text{осн}}^2 + \Delta_{\text{зам}}^2},$$

где $\Delta_{\text{си}}$ – погрешность средства измерения;

$\Delta_{\text{осн}}$ – погрешность, вносимая средствами оснащения;

$\Delta_{\text{зам}}$ – погрешность метода замера.

Погрешность средства измерения ($\Delta_{\text{си}}$) указана в паспорте на лазерный трекер и составляет:

- предельная погрешность измерения углов: не более 0.7 угловой секунды;

- предельная погрешность измерения дистанции в режиме абсолютного дальномера: не более 10 мкм;

- предельная погрешность центрирования призмы отражателя относительно сферы 3.0 мкм.

Таким образом, погрешность измерений посадочных мест высокой точности установки составила не более 45 угловых секунд по каждому направлению измерения.

О механической стабильности конструкции можно судить по результатам положения измеряемых площадок после вибродинамических

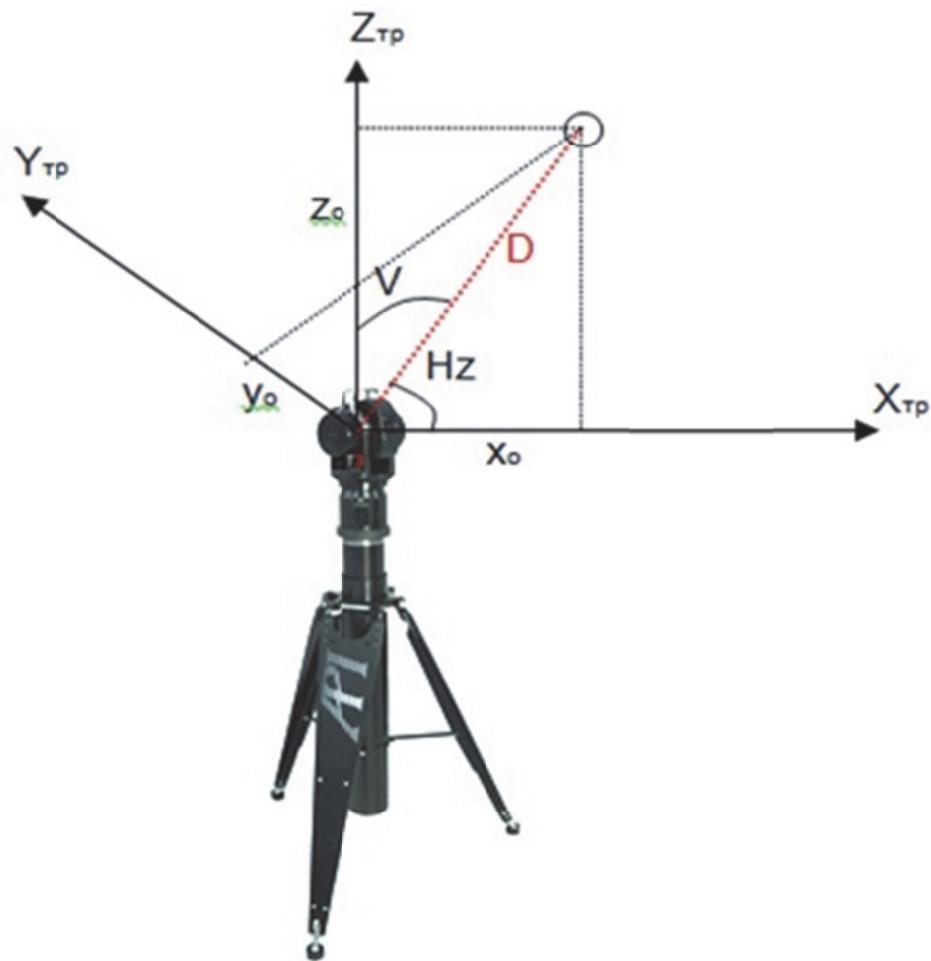


Рис. 4. Принципиальная схема определения координат отражателя в пространстве

испытаний. В связи с этим измерение фактического положения посадочных мест высокой точности установки проводилось повторно после проведения испытаний. Результаты и погрешность измерений приведены в табл. 1.

Результаты замеров подтвердили стабильность положения площадок в диапазоне 2-3 угловых минуты по каждому направлению измерений.

ВЫВОДЫ

При разработке МКА «Аист-2Д» широко использовались новые технологии управления проектами и высокоуровневые информационные технологии.

Применялись перспективные конструкторские и технологические решения:

- создание изделия по методу нисходящего проектирования;
- выполнение конструкторской документации в трёхмерном виде;
- реализация требований на проведение измерений в конструкторской документации;
- измерение фактического положения посадочных мест высокой точности установки.

Благодаря этому удалось достичь:

- ускорения проектно-конструкторских работ;
- улучшения целевых показателей МКА;
- повышения качества проектной и конструкторской документации;
- эффективной организации управления данными и проведением изменений.

В результате применения технологии замера фактического углового положения посадочных мест высокой точности установки при помощи лазерного трекера на изделии «Аист-2Д» получено следующее:

- технология обеспечила заданную техническим заданием погрешность измерений;
- получен положительный результат возможности проведения замеров;
- отсутствует необходимость изготовления сложной технологической оснастки;
- нет необходимости в проведении юстировочных работ;
- механическая стабильность конструкции подтверждена измерениями до и после вибродинамических испытаний;
- сокращены цикл производства МКА и затраты.

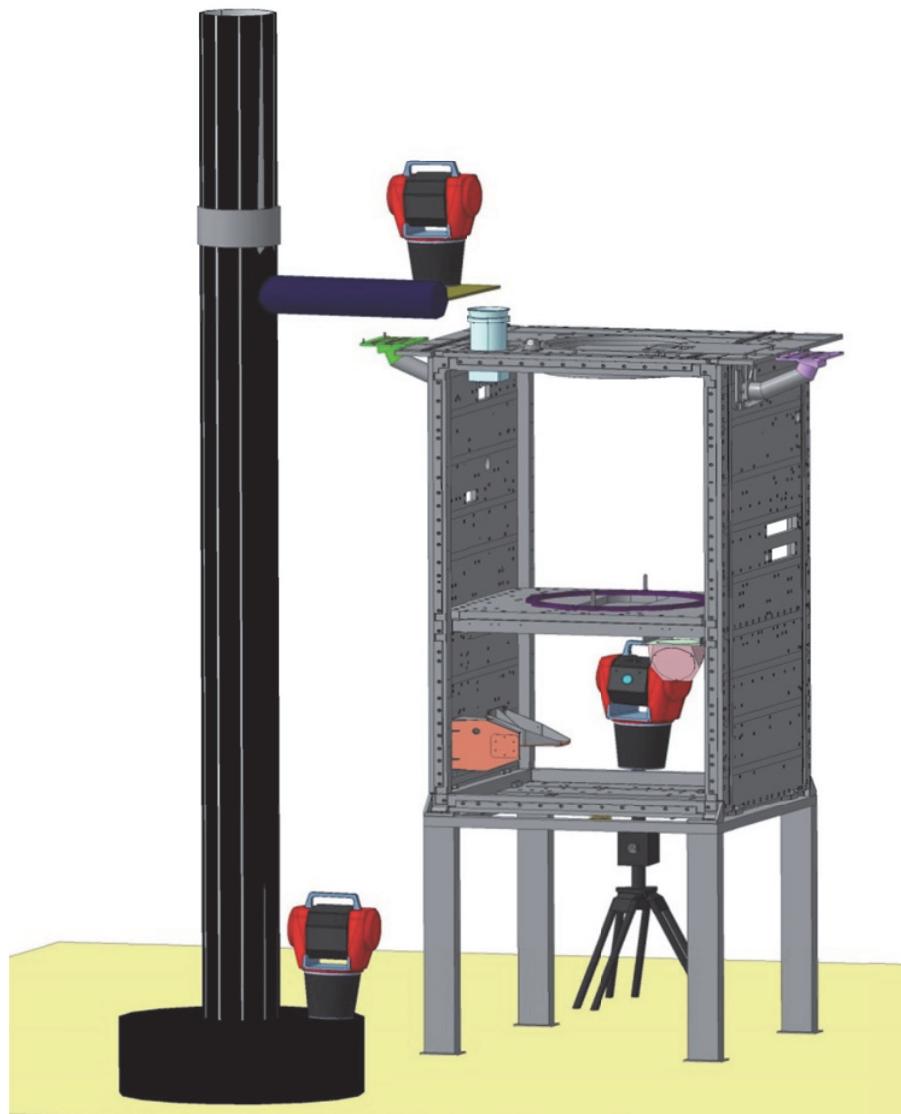


Рис. 5. Схема положения объекта измерений и лазерного трекера

Таблица 1. Результаты и погрешность измерений

Прибор	Параметры измеряемых величин углов	Зна-чение угла	Изме-ренное значение до испыт., град.мин. сек.	Изме-ренное значение после испыт., град.мин. сек.	Погреш-ность до испыта-ний, сек.	Погреш-ность пос-ле испыта-ний, сек.
Звездный датчик	Угол между посадочной поверхностью М и плоскостью Э в проекции на плоскость Я.	45	44°57'24"	44°57'28"	11,2	12,3
	Угол между линией М1 и плоскостью Ю в проекции на плоскость Э.	0	- 0°15'31"	-0°13'34"	11,5	12,1
	Угол между линией М1 и плоскостью Э в проекции на плоскость Ю.	0	+ 0°2'30"	+0°00'46"	12,9	11,8

Рассмотренный способ измерения фактического положения посадочных мест показал свою эффективность в проекте МКА «Аист-2Д», носит универсальный характер и может быть применен при разработке перспективных КА. Для его внедрения необходимо на этапе разработки конструктивно-компоновочной схемы аппарата учитывать особенности применения данного способа проведения замеров. Результаты измерений могут храниться в виде электронной модели разрабатываемого изделия, перерабатываться и использоваться уже при лётных испытаниях КА. Это в свою очередь позволяет корректировать работу системы СУД, повышая ее точность, что в сочетании с электронной КД и современными методами контроля повышает надежность и качество разрабатываемой космической техники.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Козлов Д.И. Конструирование автоматических космических аппаратов. М.: Машиностроение, 1996. 448 с.
2. Методы обеспечения живучести низкоорбитальных автоматических КА зондирования Земли: математические модели, компьютерные технологии / А.Н. Кирилин, Р.Н. Ахметов, А.В. Соллогуб, В.П. Макаров. М.: Машиностроение, 2010. 384 с.
3. Кирилин А.Н., Ахметов Р.Н. Ракеты-носители и космические аппараты ГНП РКЦ «ЦСКБ-Прогресс» // Общероссийский научно-технический журнал «Полет». 2007. № 8 . С. 45-52.
4. Дёмин В.Н., Привалов В.Е. Лазерные технологии при измерении геометрии поверхности сложной формы (обзор) // Вестн. СПбО АИН. Вып. 5. СПб.: СПбГПУ, 2008. С. 138 – 187.
5. Космодемьянский Е.В. Особенности процесса создания трехмерной модели конструкции космического аппарата дистанционного зондирования // Известия Самарского научного центра РАН. 2011. № 1 . С. 312-317.

DESIGN ENGINEERING AND STABILITY ANALYSIS OF HIGH PRECISION MOUNTING SEATS FOR SMALL SPACECRAFT “AIST-2D”

© 2017 S.N. Shaposhnikov, E.W. Kosmodemyanskii

JSC Space Rocket Center «Progress», Samara

Information on creation of a design of the small spacecraft of remote sensing of Earth are provided. Results of development of design documentation, the vibrodynamic tests confirming construction consistency of the small spacecraft are presented. Experience of measuring of high precision mounting seats actual position is considered and analysed. Recommendations about further development of this technology are formulated.

Keywords: small spacecraft, IT, construction consistency, vibrodynamic tests, measuring equipment.

*Sergey Shaposhnikov, Leading Design Engineer
Evgeny Kosmodemyansky, Candidate of Technics, Deputy
General Designer for Scientific Work.
E-mail: 1060_kosmodemyanskii@samspace.ru*