

## РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ МАЛОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА С УЧЁТОМ ПРИМЕНЕНИЯ ЛАЗЕРНЫХ СИСТЕМ ИЗМЕРЕНИЙ

© 2017

**С. Н. Шапошников** ведущий инженер-конструктор;  
Ракетно-космический центр «Прогресс», г. Самара;  
[serg9ff@mail.ru](mailto:serg9ff@mail.ru)

Представлены сведения о создании проектно-конструкторского облика малого космического аппарата (МКА) для дистанционного зондирования Земли. Опытно-технологический МКА «АИСТ-2Д» – совместная разработка акционерного общества «РКЦ «Прогресс» и Самарского национального исследовательского университета. Изложены требования к конструктивно-компоновочной схеме МКА, разработанной с учётом применения лазерной измерительной системы. Показан процесс разработки проектной и конструкторской документации, выполненной в трёхмерном виде с применением метода нисходящего проектирования. Приведены результаты проработки технической возможности проведения измерений, выработаны рекомендации по компоновке объекта измерений. Рассмотрена технология измерений фактического положения посадочных мест под приборы высокой точности установки с помощью лазерного трекера. Получены положительные результаты испытаний макетного образца, подтверждающие правильность выбранных решений. Сформулированы рекомендации по дальнейшему применению данной технологии.

*Малый космический аппарат; проектно-конструкторская документация; нисходящее проектирование; информационные технологии; наземная отработка; прецизионные измерения; лазерный трекер.*

---

*Цитирование:* Шапошников С.Н. Разработка конструкции малого космического аппарата с учётом применения лазерных систем измерений // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. 2017. Т. 16, № 3. С. 138-144. DOI: 10.18287/2541-7533-2017-16-3-138-144

В настоящее время в области создания и развития ракетно-космической техники ведётся активная разработка принципиально новых технологий и материалов, приведших к существенному уменьшению массогабаритных характеристик космических аппаратов и увеличению сроков их активного существования.

Опытно-технологический малый космический аппарат (ОТ МКА) «АИСТ-2Д» – первый аппарат дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) производства АО «РКЦ «Прогресс», запущенный с космодрома «Восточный». На борту МКА размещена оптико-электронная аппаратура высокого разрешения «Аврора». По сочетанию параметров «разрешение – полоса захвата» оптико-электронная аппаратура ОТ МКА «АИСТ-2Д» не имеет аналогов среди отечественных аппаратов.

Аппарат был создан в течение трёх лет, что стало возможным благодаря развитию и укреплению деловых связей АО «РКЦ «Прогресс» и Самарского университета, расширению кооперации с предприятиями отрасли, а также применению самых современных технологий при создании аппарата [1].

Как известно, на аппаратах ДЗЗ существуют повышенные требования по установке оптико-электронной аппаратуры и приборов, участвующих в управлении движением и ориентации космического аппарата (КА). От выполнения этих требований во многом зависят целевые показатели изделия в целом [2]. Чтобы обеспечить точную установку бортовой аппаратуры, необходимо изготовление высокоточной оснастки, использование трудоёмкой технологии доводочных работ на этапе окончательной сборки КА и высокой квалификации исполнителей. Это приводит к увеличению сроков изготовления и окончательной стоимости КА [3].

Одним из важнейших критериев качества продукции является соответствие геометрии изделия требованиям конструкторской документации. Если геометрию простых деталей или сборок легко измерить традиционными контактными механическими инструментами, то в случае сложных по форме конструкций это не всегда возможно. В изделиях космической техники сложных сборок – большинство, поэтому проблема контроля их геометрии стоит особенно остро [4].

На МКА «АИСТ-2Д» предстояло решить аналогичные проблемы. Для обеспечения его целевых характеристик необходимо было обеспечить привязку посадочных мест аппаратуры к базовым плоскостям МКА с обеспечением его геометрической стабильности. Размещение аппаратуры и оборудования на МКА должно было не только обеспечивать удобство монтажа и демонтажа, подключения соединителей при сборке МКА, доступность визуального контроля, травмобезопасность и электробезопасность, но и возможность проведения работ с помощью лазерной измерительной системы.

Цель данной работы – показать на примере ОТ МКА «АИСТ-2Д» возможность разработки конструкции МКА с учётом применения лазерной измерительной системы для определения положения посадочных мест под приборы высокой точности установки.

Решение данной задачи, а именно определение фактического положения посадочных мест под приборы, возможно с помощью применения измерительной системы – лазерного трекара.

Применение лазерного трекара накладывает определённые ограничения на конструкцию изделия, которые необходимо учитывать при разработке проектно-конструкторского облика МКА:

- измеряемые посадочные поверхности должны быть свободно расположены и открыты для прохождения лазерного луча;
- жёсткость каркаса изделия должна быть обеспечена на всех этапах измерений;
- необходимо обеспечение стабильных климатических условий;
- помещение для проведения измерений должно исключать вибрационное воздействие на конструкцию.

Конструктивно-компоновочная схема должна учитывать возможность проведения замеров лазерным трекаром. При разработке проектной документации необходимо сформулировать требования к проведению измерений: определить перечень приборов, для которых необходимо проведение измерений посадочных мест; разместить их на изделии с обеспечением требований по возможности проведения замеров; задать требуемую точность и погрешность измерений.

Необходимо отметить, что при разработке проектной и конструкторской документации на МКА «АИСТ – 2Д» широко применялись технологии управления проектами и высокоуровневые информационные технологии, что позволило в сжатые сроки разработать конструкцию аппарата с учётом вышеизложенных требований. Разработка конструктивно-компоновочной схемы МКА велась с применением технологии нисходящего проектирования в электронном трёхмерном виде [5].

Варианты исполнения проектной документации в виде аннотированных трёхмерных моделей с комбинированными видами приведены на рис. 1.

В конструкторской документации (КД) в соответствии с требованиями, приведёнными в проектной документации, необходимо отразить требования не только в части обеспечения монтажа бортовой аппаратуры, деталей и сборок, но и требования по проведению измерений фактического положения посадочных мест под приборы с заданной погрешностью. Варианты исполнения конструкторской документации в виде аннотированных трёхмерных моделей с комбинированными видами приведены на рис. 2.

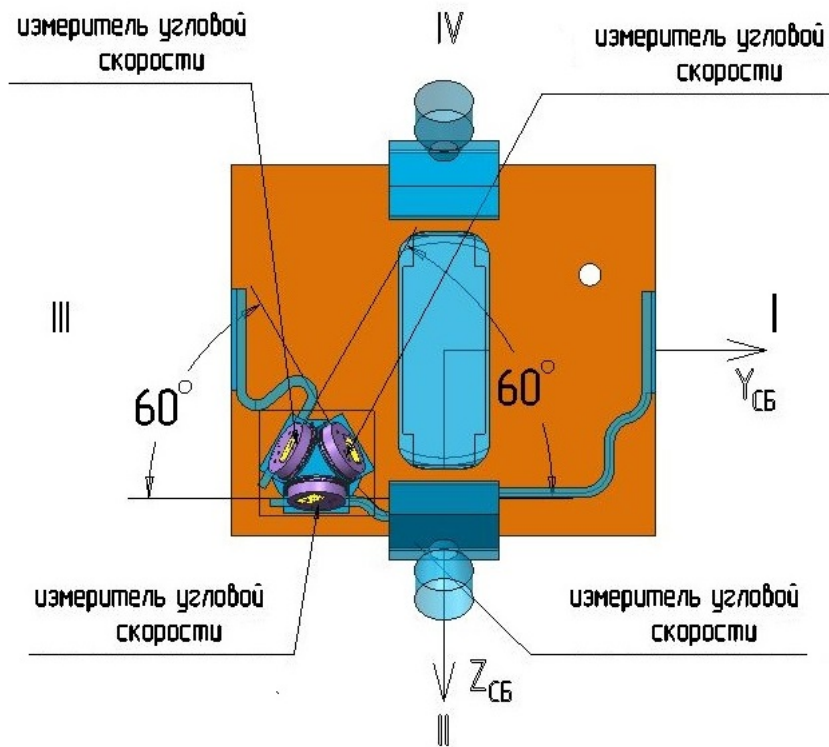
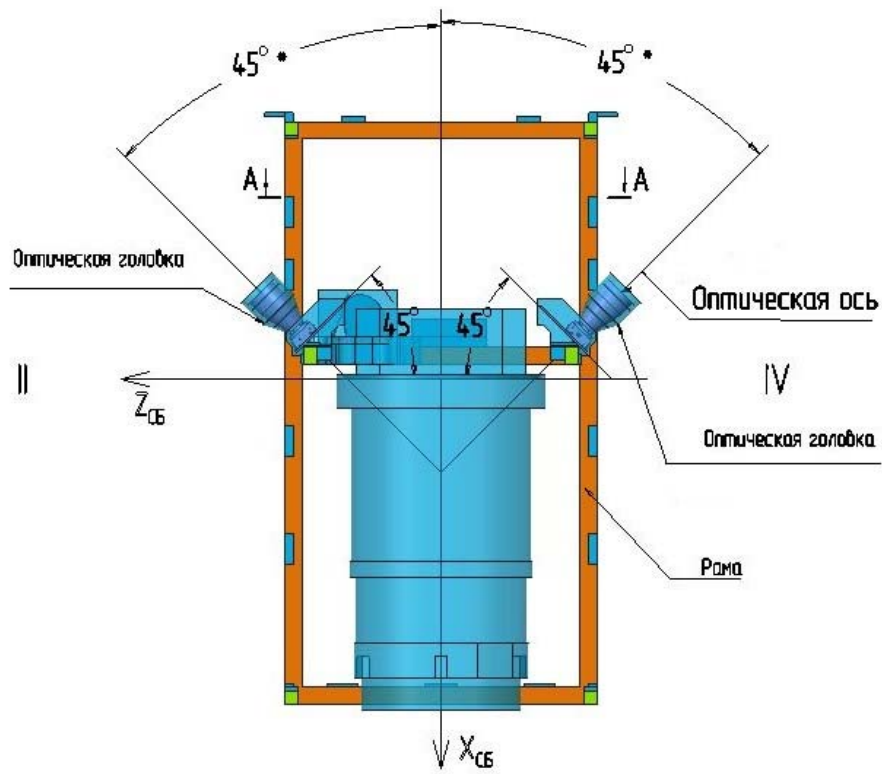


Рис. 1. Вариант исполнения проектной документации

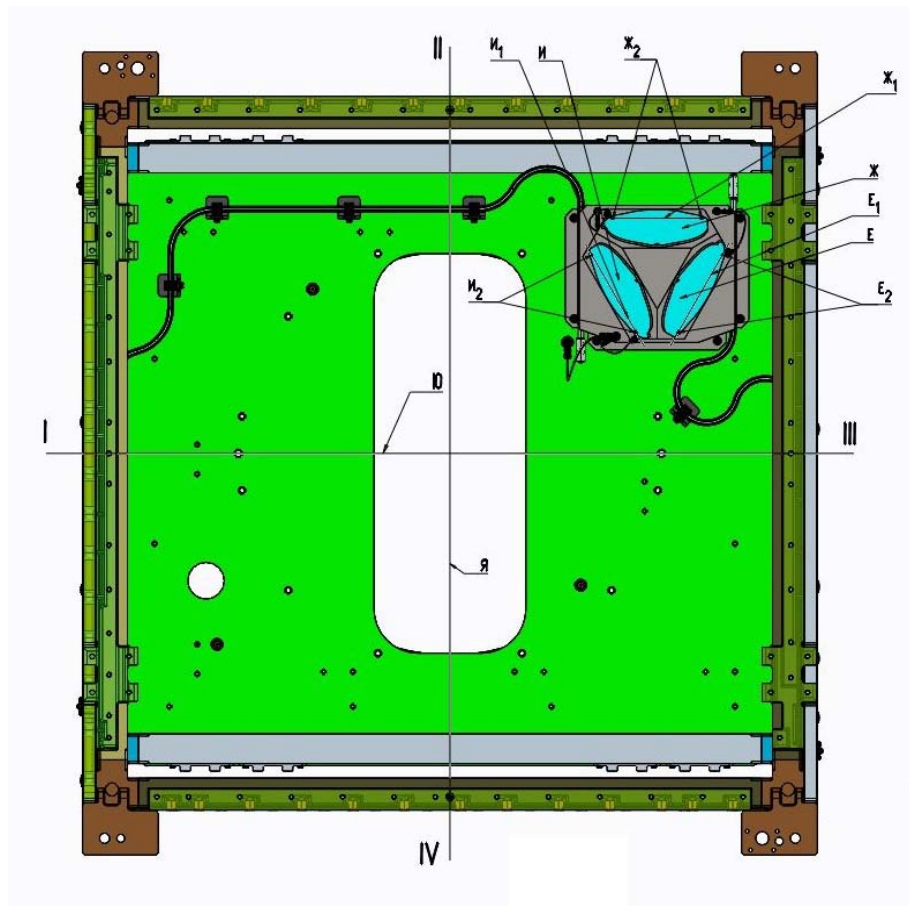
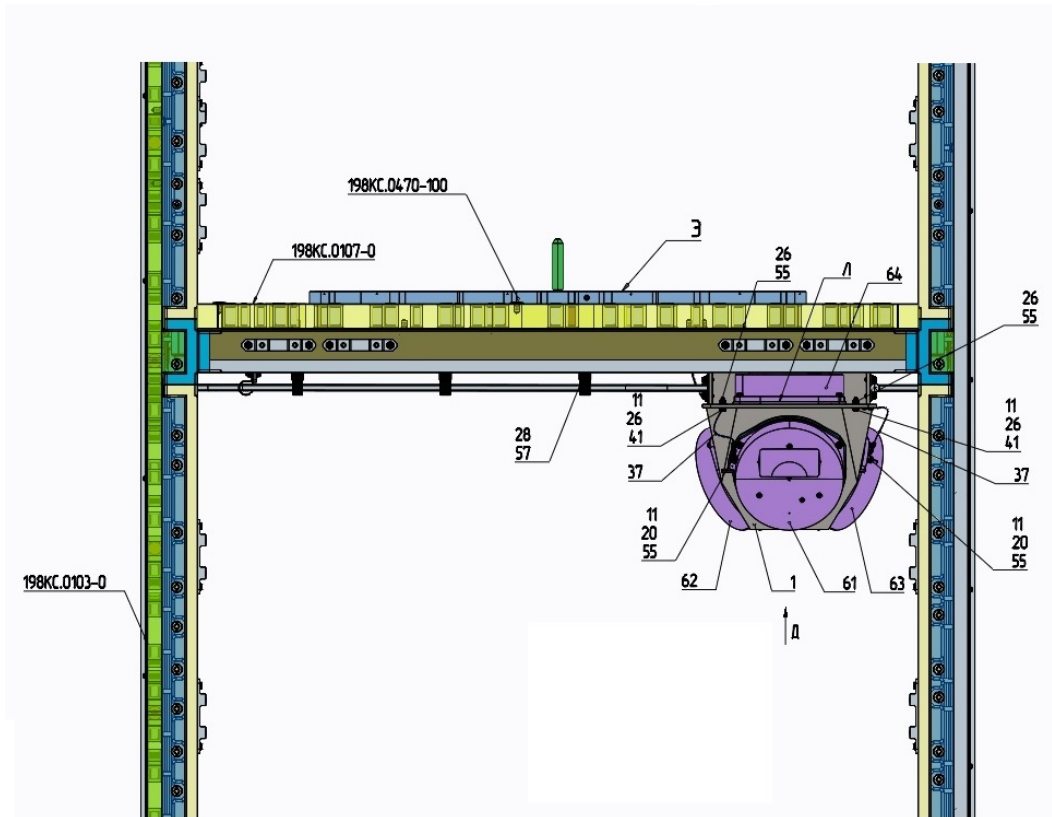


Рис. 2. Вариант исполнения конструкторской документации

Затем необходимо определить исходное состояние МКА, в котором возможно выполнение требований по жёсткости конструкции, сохранение её геометрических характеристик на всех этапах измерений, наличие на ней всех измеряемых посадочных мест под приборы и обеспечение свободного доступа к ним.

Таким образом, исходное состояние объекта измерений определено следующими решениями:

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

Общий вид объекта измерений приведён на рис. 3.

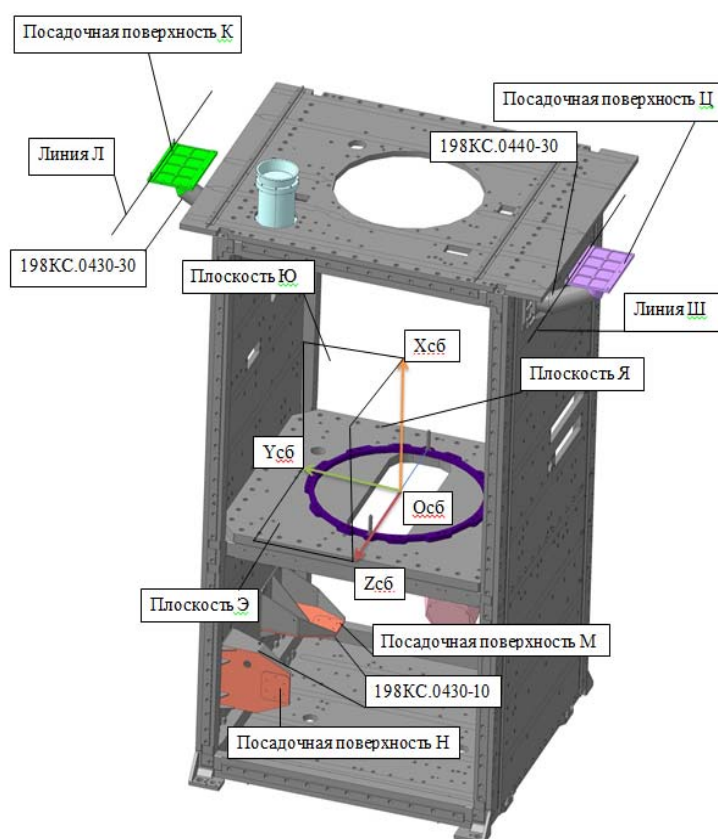


Рис. 3. Общий вид объекта измерений

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».

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 (штифтов или направляющих шпилек), при этом использовался интерфейс самого лазерного трекера (сферические отражатели) и фиксаторы (адаптеры).

Полученные положительные результаты разработки проектно-конструкторской документации, внедрение её в производство, проведение измерения фактического по-

ложения посадочных мест под приборы высокой точности установки, использование результатов измерений в управлении МКА дают возможность дальнейшего развития и применения данного подхода и технологии измерений, выработке новых решений на разрабатываемых изделиях ракетно-космической техники. Предложенный метод измерений позволяет существенно снизить материально-технологические издержки и сократить сроки производства КА.

### Библиографический список

1. Кирилин А.Н., Ахметов Р.Н., Шахматов Е.В., Ткаченко С.И., Бакланов А.И., Салмин В.В., Семкин Н.Д., Ткаченко И.С., Горячкин О.В. Опытно-технологический малый космический аппарат «АИСТ-2Д». Самара: Самарский научный центр РАН, 2017. 324 с.
2. Козлов Д.И. Конструирование автоматических космических аппаратов. М.: Машиностроение, 1996. 448 с.
3. Кирилин А.Н., Ахметов Р.Н. Ракеты-носители и космические аппараты ГНП РКЦ «ЦСКБ-Прогресс» // Полёт. Общероссийский научно-технический журнал. 2007. № 8. С. 58-62.
4. Дёмкин В.Н., Привалов В.Е. Лазерные технологии при измерении геометрии поверхности сложной формы (обзор) // Сборник трудов «Вестник СПбО АИН». Вып. 5. СПб.: Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, 2008. С. 138-187.
5. Космодемьянский Е.В. Особенности процесса создания трехмерной модели конструкции космического аппарата дистанционного зондирования // Известия Самарского научного центра РАН. 2011. Т. 13, № 1-2. С. 312-317.

## DEVELOPMENT OF SMALL SATELLITE STRUCTURE TAKING INTO ACCOUNT THE USE OF LASER MEASURING SYSTEMS

© 2017

**S. N. Shaposhnikov** leading design engineer;  
Joint Stock Company Space Rocket Centre Progress, Samara, Russian Federation;  
[serg9ff@mail.ru](mailto:serg9ff@mail.ru)

The article presents some information on the development of the design concept of a small satellite for Earth remote sensing. The AIST-2D engineering test small satellite is a co-development of the Progress Space-Rocket Centre and the Samara National Research University. The article sets forth the requirements to design of the small satellite that was developed taking into account the use of a laser-gaging system. The author describes the process of elaborating 3D design documents with the use of the top-down design method. The results of technical feasibility assessment are given, as well as the recommendations on configuring a small satellite to meet the above-mentioned requirements. The technology of measuring the actual positions of seats for hardware of high positional location accuracy is considered. The technology is based on the use of a laser tracker. The author obtained positive results of dummy tests that proved the correctness of the solutions chosen. The recommendations on further application of this technology are defined.

*Small satellite; design documents; top-down design; information technologies; ground processing; precision measurements; laser tracker.*

---

*Citation:* Shaposhnikov S.N. Development of small satellite structure taking into account the use of laser measuring systems. *Vestnik of Samara University. Aerospace and Mechanical Engineering*. 2017. V. 16, no. 3. P. 138-144. DOI: 10.18287/2541-7533-2017-16-3-138-144

### References

1. Kirilin A.N., Akhmetov R.N., Shakhmatov E.V., Tkachenko S.I., Baklanov A.I., Salmin V.V., Semkin N.D., Tkachenko I.S., Goryachkin O.V. *Opytno-tekhnologicheskiiy malyy kosmicheskiiy apparat «AIST-2D»* [Engineering test small space vehicle «AIST-2D»]. Samara: Samarskiy Nauchnyy Tsentr RAN Publ., 2017. 324 p.
2. Kozlov D.I. *Konstruirovaniye avtomaticheskikh kosmicheskikh apparatov* [Designing of automatic space vehicles]. Moscow: Mashinostroeniye Publ., 1996. 448 p.
3. Kirilin A.N., Akhmetov R.N. Launch Vehicles and Spacecraft of TsSKB-Progress Rocket and Space Center. *All-Russian Scientific-Technical Journal «Polyot»*. 2007. No. 8. P. 58-62. (In Russ.)
4. Demkin V.N., Privalov V.E. Laser technologies when measuring the geometry of irregular shape (Review). *Sbornik trudov «Vestnik SPbO AIN»*. Vyp. 5. SPb.: St. Petersburg Polytechnic University Publ., 2008. P. 138-187 (In Russ.)
5. Kosmodemyansky E.V. Features of creation process the 3d-model of space vehicle distant sounding construction. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN*. 2011. V. 13, no. 1-2. P. 312-317. (In Russ.)