

---

---

# БОРТОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

---

---

УДК 629.7

Д. Л. КАРГУ, Г. В. КРЕМЕЗ, Е. П. МИНАКОВ, П. В. НИКОЛАЕВ, С. А. ФЕДОРОВ

## МАЛОГАБАРИТНЫЙ БОРТОВОЙ КОМПЛЕКС УПРАВЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКИМ АППАРАТОМ

Представлен бортовой комплекс управления низкоорбитального малого космического аппарата (МКА) дистанционного зондирования Земли. Комплекс предназначен для приема, дешифрации и реализации рабочих программ и разовых команд управления, сбора и передачи телеметрической информации, управления функционированием бортовой аппаратуры, определения параметров ориентации и управления движением МКА.

*Ключевые слова:* бортовой комплекс управления, малый космический аппарат, интеграция, команды, телеметрическая информация.

В период с 2004 по 2008 г. в Центральном научно-исследовательском и опытно-конструкторском институте робототехники и технической кибернетики (ЦНИИ РТК) проводился комплекс работ по созданию многофункционального бортового комплекса управления (БКУ) для применения в низкоорбитальных малых космических аппаратах (МКА) дистанционного зондирования Земли. Были разработаны технические предложения по созданию БКУ, изготовлены соответствующие технологический и экспериментальный образцы и проведены их испытания.

Предлагаемый БКУ объединяет функции приема, дешифрации и реализации рабочих программ и разовых команд управления от наземного комплекса управления (НКУ), сбора и передачи телеметрической информации и информации оперативного контроля в НКУ, управления функционированием бортовой аппаратуры, определения параметров ориентации МКА, положения и скорости движения его центра масс и управления движением.

К основным результатам работы над БКУ можно отнести:

1) обоснование целесообразности использования для построения бортовой вычислительной системы (БВС) БКУ малых космических аппаратов ПЛИС-технологий и систем на кристалле, что обеспечило степень интеграции выше нескольких миллионов вентилей в микросхеме, быстроедействие более 200 миллионов операций в секунду, среднее потребление электроэнергии на уровне 1—5 Вт;

2) использование встроенных антенн и приемников сигналов спутниковых навигационных систем ГЛОНАСС и GPS и трехкомпонентных датчиков угловых скоростей на основе волоконно-оптических гироскопов, что позволило повысить основные точностные характеристики в 2—3 раза;

3) обеспечение обмена информацией со скоростью до 115 Кбит/с, а также увеличение дальности радиосвязи путем применения внешних малошумящих усилителей (МШУ) и усилителей мощности (УМ), согласованных с направленными антеннами.

В ходе выполнения работы был изготовлен образец БВС, предназначенный для комплексного решения задач бортовой аппаратуры информационно-управляющей радиосистемы, информационно-телеметрической системы, управления функционированием бортового целевого оборудования, управления движением и навигации, управления электропитанием и температурными режимами МКА, исследованы отдельные режимы работы БВС, а также вопросы комплексирования. Бортовая вычислительная система БКУ МКА спроектирована как много-процессорная модульная, агрегируемая, наращиваемая система, составные части которой взаимодействуют на основе реконфигурируемой коммутации информационных потоков, что обеспечивает возможность адаптации ее базовой структуры к требованиям потребителей и существенно повышает надежность [см. лит.].

На рис. 1 приведен внешний вид платы трехпроцессорного технологического образца БВС БКУ МКА.

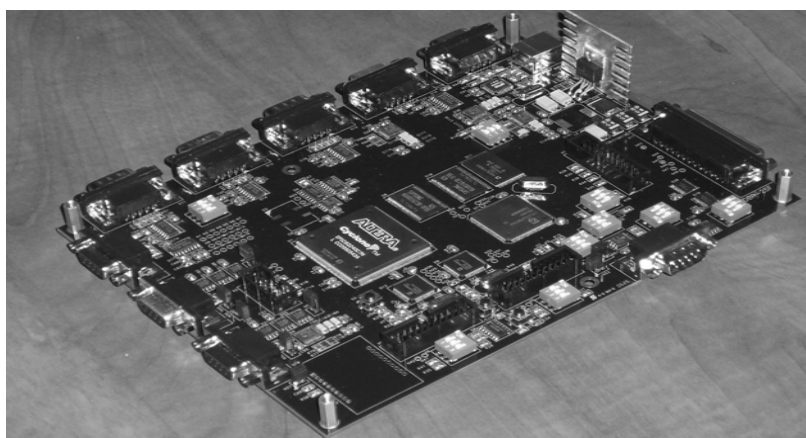


Рис. 1

В состав системы ориентации и стабилизации (СОС) БКУ входят магнитометры (ММ), солнечные датчики (СД), звездные датчики (ЗД), датчики Земли (ДЗ), управляющие двигатели-маховики (УДМ), электромагнитные устройства (ЭМУ), блоки управления СОС (БУ СОС) и комплект кабелей.

Основными техническими характеристиками СОС являются:

- погрешность определения углов ориентации — не более 6’;
- погрешность определения угловой скорости — не более  $10^{-3}$  град/с;
- время успокоения микроспутника после отделения — не более 20 мин;
- погрешность угловой стабилизации на периоде работы целевой аппаратуры по углу — не более 15’, по угловой скорости — не более  $3 \cdot 10^{-3}$  град/с.

Сводка количественных и массоэнергетических характеристик приборов СОС приведена в таблице.

Приборы	Количество, шт.	Суммарная масса, кг	Суммарное энергопотребление, Вт
ММ	4	0,94	0,2
СД	2	0,20	0,4
ЭМУ	4	1,40	3,5
УДМ	5	2,50	0,2
ЗД	3	0,75	0,4
ДЗ	2	0,72	10,5
БУ СОС	2	1,02	2,2
Комплект кабелей	1	2,70	—
СОС в целом	1	10,23	17,4

Предлагаемая радиотехническая система (РТС) БКУ предназначена для выдачи и квитирования рабочих программ и разовых команд в условиях различной сигнально-помеховой обстановки.

Основные характеристики РТС БКУ:

- диапазон частот — 2400 МГц (*S*-диапазон);
- мощность передатчика 1—4 Вт;
- коэффициент шума приемника — 4 дБ;
- дальность действия — до 700 км;
- вес — 5—7 кг;
- потребляемая мощность — 10—15 Вт;
- ресурс — до 10 лет;
- скорость передачи информации — 9,6—57,6 Кбит/с.

В РТС БКУ используются методы расширения спектра, возможность функционирования в условиях узкополосных помех и защита от несанкционированного доступа и случайного подавления. В целях уменьшения массогабаритных характеристик МКА частотные диапазоны канала управления и полезной нагрузки (целевая информация) совмещены. Для этого канал управления построен на основе модульных трансиверов компании MaxStream, конструктивно он интегрирован в плату БВС.

В ходе работ было проведено макетирование наземной части комплекса управления. Принятый при конструктивном исполнении формат РС-104 представляет собой набор плат размером 90,2×96,2 мм, соединенных посредством интерфейсных разъемов в единый комплект, что позволило осуществить сборку устройств различной функциональной принадлежности. Аппаратура связана по стандартному интерфейсу с персональным компьютером. Технологический стенд в составе приемопередающего устройства и компьютерного терминала приведен на рис. 2.



Рис. 2

Блок навигации и ориентации (БНО) БКУ предназначен для выработки по сигналам спутниковых навигационных систем ГЛОНАСС и GPS следующих параметров:

- трех координат и трех проекций скорости центра масс МКА с заданными требованиями по точности;
- трех углов текущей пространственной ориентации МКА и трех составляющих угловой скорости его вращения;
- меток времени и оцифровки бортовой шкалы времени.

Минимальный состав БНО включает: три активные приемные антенны, разнесенные конструктивно, три конструктивно объединенных навигационных приемника сигналов и микропроцессор, набор соединительных кабелей, оборудование для проведения настройки и испытаний изделия. В БНО реализован принцип прецизионного определения углов пространственной ориентации одной базовой линии, проходящей через центры приемных антенн. При использовании информации от двух непараллельных базовых линий, образованных не менее чем тремя антеннами на корпусе МКА, появляется возможность определять углы ориентации МКА. БНО сопряжен с БВС по одному каналу с интерфейсом RS-232 и выдает в нее с периодичностью обновления данных 10 Гц все указанные выше параметры.

Испытания экспериментальных образцов БНО подтвердили возможность достижения погрешности определения:

- текущих координат МКА — не более 30 м;
- составляющих вектора скорости — не более 5 см/с;
- углов ориентации МКА — не более 6';
- угловой скорости — не более 0,001 град/с.

Полученные данные согласуются с информацией о точности лучших зарубежных образцов измерителей по данным GPS пространственной ориентации объектов производства американской фирмы Trimble.

В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований обоснован подход к построению бортового комплекса управления, который может стать основой создания БКУ МКА дистанционного зондирования Земли в малогабаритном исполнении (масса БКУ  $\leq 5$  кг) и сроком активного существования не менее 10 лет.

#### ЛИТЕРАТУРА

Захаров И. В., Кремез Г. В., Фатеев В. Ф., Швецов А. С., Шпак А. В. Многопроцессорная перестраиваемая бортовая вычислительная система малого космического аппарата // Изв. вузов. Приборостроение. 2007. Т.50, № 6. С. 49—52.

#### *Сведения об авторах*

- |                                   |  |
|-----------------------------------|--|
| <b>Дмитрий Леонидович Каргу</b>   | — канд. техн. наук; Военно-космическая академия им. А. Ф. Можайского, кафедра систем космической связи, Санкт-Петербург; E-mail: dmitrii_kargu@mail.ru     |
| <b>Георгий Вальтерович Кремез</b> | — канд. техн. наук; Военно-космическая академия им. А. Ф. Можайского, кафедра электронно-вычислительной техники, Санкт-Петербург; E-mail: gvkremez@mail.ru |
| <b>Евгений Петрович Минаков</b>   | — д-р техн. наук, профессор; ЦНИИ робототехники и технической кибернетики, Санкт-Петербург; E-mail: minakov@rtc.ru   |
| <b>Петр Валентинович Николаев</b> | — ЦНИИ робототехники и технической кибернетики, Санкт-Петербург; ведущий конструктор; E-mail: pn1212@mail.ru   |
| <b>Сергей Алексеевич Федоров</b>  | — канд. техн. наук, доцент; ЦНИИ робототехники и технической кибернетики, Санкт-Петербург; E-mail: fedorov@rtc.ru  |

Рекомендована Ученым советом  
ВКА им. А. Ф. Можайского

Поступила в редакцию  
20.10.08 г.