

Проектный облик научных наноспутников Самарского университета на базе платформы SamSat

И.В. Белоконов
Самарский национальный
исследовательский университет им.
академика С.П. Королева
Самара, Россия
ibelokonov@mail.ru

Е.А. Болтов
Самарский национальный
исследовательский университет им.
академика С.П. Королева
Самара, Россия
boltov_ea@mail.ru

Н.А. Елисов
Самарский национальный
исследовательский университет им.
академика С.П. Королева
Самара, Россия
mr07th@gmail.com

А.А. Кумарин
Самарский национальный
исследовательский университет им.
академика С.П. Королева
Самара, Россия
alky_samara@mail.ru

И.А. Ломака
Самарский национальный
исследовательский университет им.
академика С.П. Королева
Самара, Россия
igorlomaka63@gmail.com

С.В. Шафран
Самарский национальный
исследовательский университет им.
академика С.П. Королева
Самара, Россия
mailbox-kddk@mail.ru

Аннотация—Для решения задач, связанных с изучением околоземного пространства Земли, в Самарском университете разработана наноспутниковая платформа SamSat, имеющая формат CubeSat3U. Оригинальная конструкция платформы позволяет размещать научные приборы как внутри, так и снаружи на выносных элементах конструкции. Платформа позволяет размещать разнообразную научную аппаратуру и обеспечивает высокоточную пространственно-временную привязку научных измерений. Особенностью платформы SamSat является одностоековая компоновка бортовых систем, занимающая пространство в 1,5U. На её базе создаётся семейство наноспутников для исследования ионосферы и ионосферы Земли.

Ключевые слова— наноспутник, проектирование, платформа, конструкция, бортовые системы

I. ВВЕДЕНИЕ

За прошедшие годы область применения малоразмерных космических аппаратов (МКА) существенно расширилась, их созданием и эксплуатацией занимаются не только в университетах, но и в частных компаниях, а заказчиками исследований выступают космические агентства, военные и научные организации.

В соответствии с Федеральной космической программой РФ в настоящее время реализуется проект Ионозонд, в рамках которого развёрнута группировка научных спутников для изучения ионосферы. С целью проверки возможностей использования в этих целях низкобюджетных МКА нанокласса, отработки новых средств измерения, а также расширения возможностей по изучению ионосферы на базе платформы формата CubeSat-3U разработки межвузовской кафедры космических исследований Самарского университета имени С.П. Королева был создан МКА СамСат-Ионосфера для изучения ионосферы [1].

II. ПЛАТФОРМА SAMSAT

Конструктивно-компоновочная схема наноспутниковой платформы SamSat представляет из

себя плотную одностоековую компоновку бортовых систем, занимающую 1,5U. Стек бортовых систем состоит из бортового вычислительного комплекса (БВК), системы управления движением (СУД), системы электропитания (СЭП), двухчастотного приемника навигационных сигналов системы ГЛОНАСС и приемо-передающего комплекса (ППК). Все бортовые системы разработаны и изготовлены в Самарском университете.

Основой БВК являются два микроконтроллера [2]: двухядерный NXP LPC4300 и Atmel ATxmega. Использование двух микроконтроллеров позволяет повысить надежность за счет резервирования и дублирования основного функционала. Кроме этого, возможно применение различных режимов энергосбережения, с отключением отдельных ядер, а также реализовать на борту определение ориентации, сложные алгоритмы управления движением, прогноз траектории.

При создании СУД была реализована оригинальная комбинированная система ориентации и стабилизации движения. С помощью магнитных катушек, которые установлены по главным осям МКА, осуществляется управление угловым движением. Рабочая ориентация МКА на орбите или по местной вертикали (для высот выше 450 км), или по вектору набегающего потока (для высот ниже 450 км).

СЭП состоит из четырех аккумуляторных батарей (АКБ) формата 18650, соединенных последовательно, емкостью 3400 мАч, управляющей платы и 12 панелей солнечных батарей. В связи с тем, что бортовые системы МКА в процессе эксплуатации работают в диапазоне температур от -30 до +50 °С, на плате АКБ установлены датчики температур и нагревательные резисторы для поддержания температурного режима $T > 0$ °С.

ППК предназначен для работы в диапазоне частот 433 МГц (радиолюбительский) в полудуплексном режиме с использованием частотной модуляции. Формат передачи кадров – AX.25. Скорость передачи данных не более 9600 бит/с. Кроме этого, в платформе SamSat предусмотрена защита бортовой радиоэлектронной

аппаратуры от воздействия протонов с энергией до 3,8 МэВ и от электронов с энергией до 0,118 МэВ [3].

III. МКА СЕМЕЙСТВА SamSat

На основе платформы SamSat в Самарском университете создан МКА СамСат-Ионосфера для изучения ионосферы и магнитосферы Земли (рис. 1).

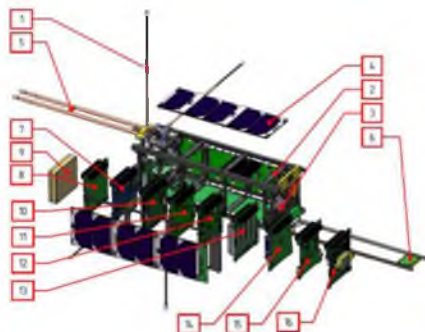


Рис. 1. Конструкция МКА СамСат-Ионосфера: 1 Приёмно-передающая антенна диапазона 433 МГц; 2 Силовой каркас; 3 Антенна ГНСС ГЛОНАСС; 4 Панели фотоэлектрических преобразователей; 5 Резонатор датчика параметров плазмы; 6 Выносная магнитометрическая система; 7 Приёмопередатчик; 8 Электромагнитные катушки; 9 Блок обработки сигналов ДПП; 10 Бортовой компьютер; 11 Система электропитания; 12 Плата контроллера системы электропитания; 13 Аккумуляторные батареи; 14 Приемник ГНСС; радиочастотный тракт; 15 Приемник ГНСС; вычислитель; 16 Плата коммутации.

Научной аппаратурой МКА СамСат-Ионосфера являются датчик параметров плазмы, разработанный совместно с ИПФ РАН, навигационный приемник для изучения верхней ионосферы по сигналам от системы ГЛОНАСС и выносной магнитометр.

Также на базе платформы SamSat создан МКА СамСат-ОРИОН с научной аппаратурой ИКИ РАН, предназначенной для изучения нижней ионосферы методом радиопросвечивания (рис. 2).

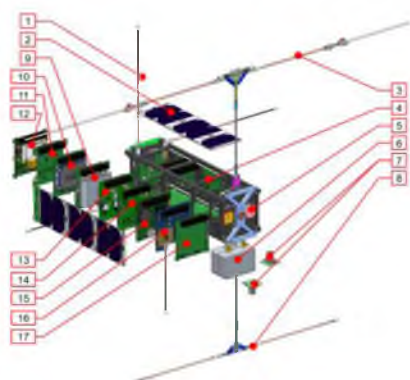


Рис. 2. Конструкция МКА СамСат-ОРИОН: 1 Антенна диапазона 433 МГц; 2 Силовой каркас; 3 Навигационная антенна; 4 Панели ФЭП; 5 Антенна 150 МГц; 6 Технологическая камера; 7 Приёмопередатчик; 8 Электромагнитная катушка продольной оси; 9 Модуль ПБСК; 10 Бортовой компьютер; 11 Система электропитания; 12 Аккумуляторные батареи; 13 Плата контроллера ФЭП; 14 Приемник ГНСС; радиочастотный тракт; 15 Приемник ГНСС; вычислитель; 16 Плата коммутации антенны и контроллера замковых устройств; 17 Антенна 400 МГц.

На платформе SamSat устанавливаются оригинальные устройства раскрытия выносных элементов – антенного комплекса, штанг с научной аппаратурой. Запатентованная разработка основана на

использовании легкоплавкого элемента из сплава Розе. При достижении температур 92...98 °С сплав Розе, за счет подачи тока на нагревающие резисторы, плавится и начинается процесс раскрытия трансформируемых конструкций [4].

IV. ЛЕТНО-КОНСТРУКТОРСКИЕ ИСПЫТАНИЯ МКА

В ходе летно-конструкторских испытаний (ЛКИ) были получены как мгновенные измерения, так и вычитаны из бортового архива данные выносного магнитометра на 12 ноября (четыре часа полёта с частотой 0,1 Гц). Анализ полученных магнитометрических данных подтвердил их адекватное согласование с моделью магнитного поля Земли и корректное функционирование выносного магнитометра.

С начала февраля 2025 года осуществляется оперативный мониторинг магнитного поля над территорией РФ. При каждом сеансе связи с МКА (примерно раз в 12 часов) накопленные за прошедший интервал времени измерения магнитометра скачиваются ЦУПом Самарского университета, калибруются и выкладываются на сервер, к которому имеют доступ специалисты ИПГ. Целевое использование магнитометрических измерений с борта МКА СамСат-Ионосфера было подтверждено на Совете РАН по космосу.

В ходе ЛКИ 15 марта было проведено включение ДПП и получены измерения в непрерывном режиме работы на протяжении пяти витков с частотой 1 Гц, показавшее хорошее согласование измерений ДПП и модели NeQuick2.

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Надёжность принятых технических решений проверена в рамках лётно-конструкторских испытаний двух МКА на платформе СамСат. Приобретённый опыт позволяет перейти к созданию группировки наноспутников мониторинга ионосферы Земли.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-72-30002, <https://rscf.ru/project/23-72-30002/>.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Belokonov, I.V., Boltov, E.A., Lomaka, I.A. etc. Mission of SamSat-ION for study of geophysical fields: concept and realization / I.V. Belokonov, E.A. Boltov, I.A. Lomaka, N.A. Elisov, S.V. Shafran, L.I. Sinitsin, M.S. Tsherbakov, P.N. Nikolaev // Proceedings of the International Astronautical Congress, IAC, 2023. — 4 p.
- [2] Kirilin, A. N., Belokonov, I.V., Timbai, I.A. etc. SSAU Nanosatellite Project for the Navigation and Control Technologies Demonstration / A.N. Kirilin, I.V. Belokonov, I.A. Timbai, A.V. Kramlikh, M.E. Melnik, E.V. Usiugov, A.M. Egorov. // Procedia Eng. — 2015. — Vol. 104. — P. 97–106
- [3] Паплин С.В., Оценка и анализ влияния ионизирующего излучения на функционирование бортовой радиоэлектронной аппаратуры наноспутника / С.В. Паплин, С.А. Большев // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. — 2021. — Т. 20, №3. — С. 77–96.
- [4] Lomaka I.A., Elisov N.A., Boltov E.A. etc. A novel design of CubeSat deployment system for transformable structures / I.A. Lomaka, N.A. Elisov, E.A. Boltov, S.V. Shafran // Acta Astronaut. — 2022. — Vol. 197. — P. 179–190.