

S. V. Polenga, Y. P. Salomatov

## DESIGN AND RESEARCH OF REFLECTOR ANTENNA ARRAY FOR SATELLITE COMMUNICATION NETWORKS

*In the article we consider design principles of reflector array based on microstrip elements. Results of the experimental research of the designed prototype are introduced.*

*Keywords: reflector array, Floquet's unit cell, Ku-band.*

© Поленга С. В., Саломатов Ю. П., 2010

УДК 621.431.75

Е. А. Шангина, А. С. Рыбаков, К. А. Пасечник, П. А. Зайцев, А. Ю. Власов

## НЕГЕРМЕТИЧНАЯ ПЛАТФОРМА КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ\*

*Рассматривается конструкция негерметичной платформы космического аппарата для дистанционного зондирования земли с применением новых композиционных материалов.*

*Ключевые слова: малый космический аппарат, электромагнитная совместимость.*

Современные условия требуют создания космических аппаратов (КА) с оптимальным соотношением между понесенными затратами, сроком изготовления и эксплуатации. Одно из перспективных развивающихся на сегодняшний день направлений – создание университетами России и других стран негерметичных малых космических аппаратов для проведения различных экспериментов в космосе: «Татьяна» – Московский государственный университет; «Бауманец» – Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана; «TUBSAT» – ТУ-Берлин; «Юбилейный» – Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева (СибГАУ). Однако рынок услуг, использующих информацию из космоса, и компании, развивающие этот сегмент, заинтересованы в космических аппаратах малой массы для дистанционного зондирования земли. Применение для этой цели малых космических аппаратов (МКА) позволяет получить значительные преимущества, такие как значительное увеличение оперативности получения данных наблюдения за счет создания необходимой по численности группировки малых аппаратов; более быстрое внедрение новых технических разработок и технологий съемки; увеличение «надежности» группировки за счет ее быстрого восполнения в случае необходимости [1].

Проблема оптимизации затрат приводит к необходимости применения новых конструкционных материалов при производстве аппаратов данного класса. В этом направлении в мировой практике признанным направлением наряду с уменьшением массы полезной нагрузки

активно развивается применение композиционных материалов, имеющих ряд преимуществ по сравнению с металлами: стойки к высоким температурам и давлению, к вибрационным нагрузкам на этапе выведения, низким температурам космического пространства [2].

Создание негерметичной платформы КА в СибГАУ как базы для перспективных низкоорбитальных КА микрокласса, решающих задачи дистанционного зондирования территории Красноярского края и проведения научных экспериментов, практической проверки правильности конструктивных, схемотехнических и технологических решений в части компоновки КА, а также отработки новых технологий производства в части изготовления силовой конструкции КА из композитных материалов.

Согласно техническому заданию малый космический аппарат запускается на низкую круговую орбиту, имеет активную систему ориентации на управляющих маховиках. Приборный состав представлен в табл. 1.

При проектировании сделан акцент на конструкции КА. Особенности орбиты движения КА определяют угол установки солнечных батарей (СБ) относительно продольной оси аппарата, направленных в сторону Земли. При этом сама СБ не ориентирована. После проведения детального анализа существующих конструктивно-компоновочных схем КА, принято решение отказаться от традиционного исполнения компоновки – СБ консольно закреплена на корпусе аппарата и имеет складную конструкцию, и сформулированы основные требования к силовой схеме КА: оптимальные размеры изделия; обеспечение удобного доступа для проведения монтажных ра-

\*Работа выполнена при финансовой поддержке КГАУ «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности».

бот; удобство стыковки отделения КА от ракетоносителя (РН); широкое применение стандартизации и унификации отдельных элементов и систем КА; минимальная масса изделия; соответствие прочностным требованиям [3].

На всех этапах разработки конструкции проводились расчеты на прочность и определялись собственные частоты колебаний конструкции. Первоначально в пакете CATIA были разработаны трехмерные эскизы шести вариантов корпуса различной конфигурации основания (треугольное, квадратное и шестигранное), где силовые элементы – трубки из углепластика – расположены под определенным углом к продольной оси КА [4].

Расчеты на прочность проводились для двух наихудших для конструкции нагружений. Расчетные случаи представлены в табл. 2.

Каждая компоновочная схема импортировалась в пакете Femap NX NASTRAN, где рассчитывалась на прочность и устойчивость методом конечных элементов. В

конечно-элементной модели рамы корпуса моделировались с помощью плоских элементов, а стержни в виде балок, в местах крепления рам со стержнями и в местах крепления корпуса к устройству отделения были введены жесткие заделки. Свойства материала основания заданы как алюминиевой сотовой панели, силовых трубок – углепластик [5].

По результатам проведенных расчетов из нескольких вариантов схем выбрана одна, наиболее удовлетворяющая требованиям технического задания. Полученные результаты представлены в табл. 3.

Прочнее всего оказалась схема четырехугольника с наклонными силовыми трубками (табл. 3), выбрана схема шестигранника (рис. 1, 2) с углом наклона силовых трубок  $78^\circ$ , потому что при шестигранном исполнении основания достигается компромисс между условиями освещенности и коэффициентом заполнения панелей. Отдаваемая мощность СБ в данной конструкции макси-

Таблица 1

Приблизительный состав малого космического аппарата

| Наименование                                        | Кол-во, шт | Масса общая, кг |
|-----------------------------------------------------|------------|-----------------|
| Опытный образец космического аппарата               |            |                 |
| 1. Бортовой комплекс управления                     | 1          | 3               |
| 2. Антенно-фидерные устройства:                     |            |                 |
| – антенна спиральная                                | 1          | 0,3             |
| – антенна штыревая                                  | 4          | 0,5             |
| 3. Система электропитания:                          |            |                 |
| – комплекс автоматики и стабилизации                | 1          | 2,5             |
| – аккумуляторная батарея                            | 1          | 2               |
| 4. Система ориентации и стабилизации:               |            |                 |
| – солнечный цифровой датчик                         | 1          | 0,2             |
| – оптический датчик звездных координат              | 1          | 1,8             |
| – датчик Земли                                      | 1          | 0,31            |
| – управляющий двигатель-маховик                     | 1          | 0,9             |
| – блок управления системы ориентации и стабилизации | 2          | 0,4             |
| 5. Система терморегулирования                       |            | 2               |
| 6. Научная аппаратура                               |            |                 |
| – камера дистанционного зондирования земли          | 1          | 14              |
| 7. Конструкция                                      |            | 5               |
| Итого                                               |            | 27,01           |

Таблица 2

Расчетные случаи

| Параметр                             | Значение           |
|--------------------------------------|--------------------|
| Выведение на орбиту                  |                    |
| Эксплуатационная продольная нагрузка | $n_z = 8g$         |
| Эксплуатационная поперечная нагрузка | $n_y = n_x = 0,8g$ |
| Коэффициент безопасности             | 1,3                |
| Наземные нагрузки                    |                    |
| Эксплуатационная продольная нагрузка | $n_z = 1,25g$      |
| Эксплуатационная поперечная нагрузка | $n_y = 3,92g$      |
| Эксплуатационная поперечная нагрузка | $n_x = 1,43g$      |

Таблица 3

Результаты прочностного анализа

| Наименование                          | Угол наклона граней, ° | Собственная частота, Гц |
|---------------------------------------|------------------------|-------------------------|
| Треугольник с наклонными трубками     | 80                     | 119                     |
| Треугольник с прямыми трубками        | 90                     | 105                     |
| Четырехугольник с наклонными трубками | 78                     | 120                     |
| Четырехугольник с прямыми трубками    | 90                     | 65                      |
| Шестигранник с наклонными трубками    | 78                     | 118                     |
| Шестигранник с прямыми трубками       | 90                     | 114                     |
| Шестигранник с панелями               | 90                     | 60                      |

мальна. При меньшем количестве граней при движении КА в режиме штатной ориентации существует вероятность неоптимального использования солнечной батареи в течение всего витка.

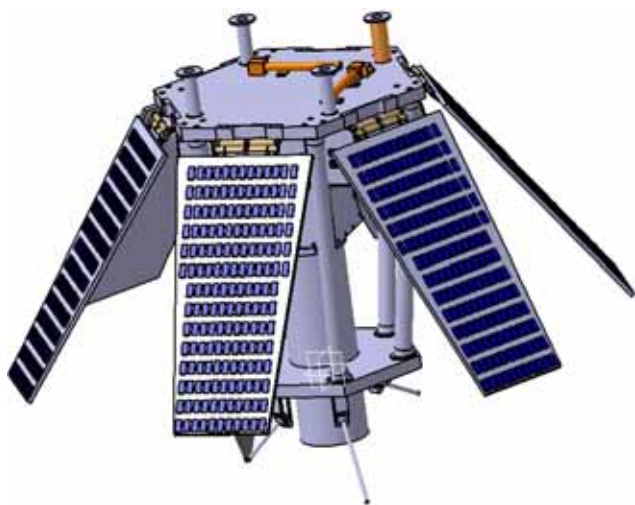


Рис. 1. 3D-модель КА



Рис. 2. Конструкция КА

Крепление силовых углепластиковых трубок к основанию осуществляется через закладные, которые являются опорными и соединительными элементами верхнего и нижнего оснований с трубками.

В конструкции КА предложен новый вариант механических систем раскрытия солнечных батарей – гибкий шарнирный узел. Преимущества данного узла перед существующими механизмами открытия – отсутствие трения, что существенно увеличивает надежность такого узла, простота конструкции облегчает изготовление, что положительно сказывается на сборке аппарата в целом. Композитная конструкция модуля СБ позволяет использовать ее как на земле, так и в космосе [6].

Для изготовления деталей МКА и самой конструкции написаны управляющие программы для оборудования с числовым программным управлением (ЧПУ) с использованием одного из приложений Catia V5. Использование САМ-системы позволяет написать программу для обработки деталей со сложной пространственной геометрией на примере конструкции гибкого шарнирного узла, открывает ряд возможностей по использованию высокоскоростной обработки материалов, что дает возможность снизить время изготовления деталей и повысить качество поверхностей, уменьшить износ инструмента и оборудования, увеличить его ресурс, тем самым сократить расходы на технологическую оснастку. Также одним из главных положительных критериев является возможность полностью смоделировать процесс обработки, провести анализ полученной траектории перемещения инструмента, визуализировать готовую деталь и все возможные столкновения движущихся элементов оборудования [7].

Обеспечение нормальной работы бортовой аппаратуры напрямую зависит от влияния на нее внешних факторов космического пространства и электромагнитной обстановки внутри КА. Достижение электромагнитной совместимости (ЭМС) приборного состава и конструкции КА определяется за счет проведения испытаний, на основе которых делаются выводы о выборе материала для изготовления элементов конструкции и корпусов приборов.

Исследования на электромагнитную совместимость (ЭМС) играют немаловажную роль при проектировании КА, на их основе делаются выводы целесообразности применения той или иной конструкции.

Для испытаний на ЭМС бортовой кабельной сети и элементов конструкции КА созданы испытательные системы, позволяющие измерять амплитуды напряженности электрической компоненты электромагнитного поля, – бортовая измерительная система; проводить оценочное сравнения эффективности кабельных экранов коаксиальных радиокабелей в диапазоне частот 1–30 МГц – триаксиальная система; проводить испытания по работоспособности электронной аппаратуры и космической платформы при воздействии переменного низкочастотного электрического поля – имитатор переменного электрического поля.

**Выводы.** Спроектирована и изготовлена негерметичная платформа космического аппарата для дистанционного зондирования земли, силовая конструкция которой основана на композиционных материалах.

Изготовление МКА осуществлялось с использованием современных технологий производств (оборудование с ЧПУ), что позволило значительно ускорить изготовление конструкции КА, механических элементов, корпусов приборного состава.

Испытания на ЭМС КА, бортовой кабельной сети и элементов конструкции проведены при помощи систем, изготовленных в ходе проекта.

#### Библиографические ссылки

1. Каверин В. В., Пугач И. Ю. Применение современных методов при проектировании и отработке прочнос-

ти малого космического аппарата // Вопросы электромеханики. Т. 109. 2009. С. 21–24.

2. Анализ современных возможностей создания малых космических аппаратов для дистанционного зондирования Земли / В. Н. Севастьянов, В. А. Бранец, Н. В. Панченко и др. // Тр. МФТИ. 2009. Т. 1. № 3.

3. Гуцин В. Н. Основы устройства и конструирования космических аппаратов. М. : Машиностроение, 1972.

4. Шмкович Д. Г. Расчет конструкций в MSC/NASTRAN for Windows. М. : ДМК Пресс, 2001.

5. Тестоедов Н. А., Михеев А. Е. Технология производства космических аппаратов / Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2009.

6. Шатров А. К., Назарова Л. П., Машуков А. В. Механические устройства космических аппаратов. Конструктивные решения и динамические характеристики / Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2006.

7. Ловыгин А. А., Васильев А. В. Современный станок с ЧПУ и CAD/CAM-система. М. : Изд-во Эльф ИПР, 2006.

E. A. Shangina, A. C. Ribakov, K. A. Pasechnik, P. A. Zaytsev, A. Yu. Vlasov

## **UNTIGHTENED PLATFORM OF SPACE VEHICLE FOR REMOTE SOUNDING OF THE EARTH**

*The authors consider design of untightened platform of space vehicle for remote sounding of the earth with application of new composite materials and technologies.*

*Keywords: space vehicle, electromagnetic compatibility.*

© Шангина Е. А., Рыбаков А. С., Пасечник К. А., Зайцев П. А., Власов А. Ю., 2010