

ПРОЕКТ НАНОСПУТНИКА СГАУ ДЛЯ ДЕМОНСТРАЦИИ ТЕХНОЛОГИЙ НАВИГАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ

А.Н.Кирилин¹, И.В. Белоконов², И.А. Тимбай², А.В. Крамлих²,
М.Е. Мельник¹, Е.В. Устюгов², А.М. Егоров²

¹ ОАО «Ракетно-космический центр «Прогресс», Самара, Россия

² Самарский государственный аэрокосмический университет им. ак. С.П. Королёва
(Национальный исследовательский институт), Самара, Россия

Эффективным средством проведения экспериментов в космосе и оперативной отработки новых технологий является наноспутники стандарта CubeSat. Внешне эти аппараты представляют собой параллелепипед, в основании которого находится квадрат с гранью 10 см и высотой от 10 до 30 см. Наноспутники имеют короткий срок разработки и выводятся обычно в качестве попутного груза.

Усложнение задач, решаемых такими спутниками требует создания более эффективных и отказоустойчивых систем связи, навигации и управления. В СГАУ разрабатывается наноспутник SamSat-218 для демонстрации новых технологий, придающих спутнику повышенную отказоустойчивость за счёт совершенствования алгоритмов навигации и управления, использования низковысотных спутниковых систем связи Globalstar/Iridium, применения оригинального подхода к построению бортового управляющего устройства, использования технологий искусственного интеллекта.

Планируется создание ряда новых устройств и проведение следующих экспериментов:

- построение местной вертикали по анализу видеоизображения,
- определение начальных условий движения по анализу видеоизображений процесса отделения, получаемых камерой, установленной на наноспутнике;
- эксперимент в области спутниковой радионавигации, направленный на повышение точности определения параметров движения за счёт совместной обработки навигационных измерений на борту и на наземной станции во время нахождения в зоне взаимной видимости;
- тестирования технологии самоорганизации бортового управляющего устройства в случае возникновения нештатных ситуаций и выхода из строя отдельных датчиков и систем;
- тестирования алгоритма управления ориентацией и стабилизации наноспутника по показаниям интегрированных измерительных средств с учётом ограничений на вычислительную мощность бортового компьютера;
- тестирование технологии удалённого управления наноспутником через низковысотные спутниковые системы связи.

Внешний вид наноспутника без солнечных панелей приведён на рисунке 1. В его состав входят следующие бортовые системы: бортовой компьютер, система энергопитания (СЭП), телеметрическая система и командная радиолиния, модемы спутниковой связи Iridium и GlobalStar, система ориентации и стабилизации, навигационный приемник, система раскрытия панелей солнечных батарей (ПСБ).

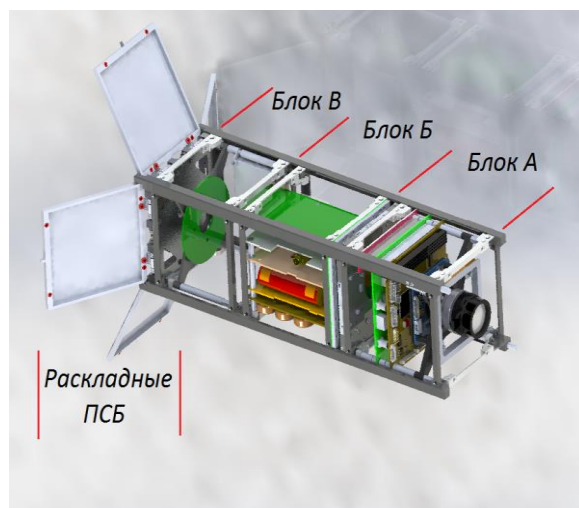


Рис. 1 – Внешний вид наноспутника SamSat-218

Ядром системы управления наноспутником является бортовой компьютер, имеющий отказоустойчивую конфигурацию, лётная квалификация которого намечена на конец 2015 года. Комплекс измерительных средств включает в свой состав трёхступенные датчики угловой скорости, акселерометры, магнитометры, датчики освещённости, встроенные в ПСБ, видеокамеры, экспериментальную систему видеовертикали и навигационный приёмник. Магнитные катушки, интегрированные в ПСБ, являются органами управления наноспутником.

Экспериментальная система видеовертикали предназначена для определения отклонения продольной оси наноспутника от местной вертикали по анализу изображений Земли, получаемых с четырёх миниатюрных камер, установленных на боковых гранях.

Надёжность и живучесть наноспутника в первую очередь определяются системными решениями, заложенными при создании бортового управляющего устройства [1,2].

Различают два подхода к управлению бортовыми системами наноспутника. В первом - центральная роль по формированию циклограммы работы бортовых систем, по анализу их состояния и выявлению неисправностей, отводится персоналу центру управления полётом (ЦУП). При этом возможны длительные задержки в принятии решений и снижении целевой эффективности миссии в целом. При другом подходе в качестве центрального управляющего элемента используется бортовая цифровая вычислительная машина (микропроцессор), частично выполняющая функции ЦУП. Данный подход позволяет добиться высокой автономности работы бортовой системы управления спутником и становится всё более востребованным с развитием цифровой техники.

Эффективность выполнения наноспутником целевой функции тесно связана с обеспечением живучести наноспутника, под которой понимается способность адаптироваться к текущей ситуации, противостоять и сохранять совокупность критически важных функций в условиях непредвиденных воздействий на наноспутник. Поэтому в проекте SamSat-218 была поставлена задача создания на базе коммерческих комплектующих комплекса бортовых систем навигации, связи и управления, способного обеспечить эффективную работу наноспутника на всем времени его активного существования из условия минимизации потерь целевой информации при отказах отдельных элементов и систем.

Известны различные подходы и методы управления живучестью технических систем. Широкое применение имеют те, в основе которых лежит увеличение надёжности всех структурных элементов системы. Другой распространённый метод – многократное «горячее» и «холодное» резервирование структурных элементов, т.е. построение надёжных систем из ненадёжных элементов. Оба этих метода не экономичны и не могут

быть применимы для наноспутников. В наноспутнике предлагается реализовать вариант комплексного использования всех бортовых ресурсов за счёт централизованного управления и использования всех скрытых резервов получения информации о функционировании бортовых систем [3]. В этом случае бортовая система наноспутника будет удовлетворять следующим свойствам [3]: - адаптивность (за счёт реализации на борту математических моделей движения, системы принятия решений с использованием в случае необходимости ресурсов ЦУП, алгоритмы калибровки критически важных систем в полёте);- автономность (контроль и диагностика состояния систем наноспутника, тестирование бортовой аппаратуры, оперативность сбора и доставки информации для анализа за счёт использования оперативного канала связи через низковысотные сети связи Globalstar/Iridium, выявление нештатной ситуации); - управление и реконфигурация (включает управление избыточностью, перепрограммируемые оперативные запоминающие устройства, алгоритмы функционирования в аномальных ситуациях и восстановления работоспособности наноспутника в целом).

Реализация этих свойств позволит наноспутнику приблизить фактический срок его активного существования на орбите к расчётному сроку. Система обеспечения живучести наноспутника должна обеспечивать высокую автономность работы в условиях отсутствия частых сеансов связи с наземным комплексом управления. В случае возникновения предусмотренных отказов выполняются соответствующие сценарии действий. В случае неизвестного отказа бортовая система управления должна переходить в режим, поддерживающий лишь связь с наземным комплексом управления для передачи информации о нештатной ситуации и принятия команд управления.

На этапе проектирования наноспутника были исследованы возможные стратегии по восстановлению работоспособности. В качестве основного выбран подход децентрализации управления наноспутником. При этом центральное ядро системы управления целесообразно загружать общими задачами управления живучестью, а частные специализированные задачи возлагать на периферийные программные модули. Это позволяет разгрузить центральный процессор, а также решить задачи, включая автономный контроль и диагностику бортовых средств, без введения какой-либо дополнительной бортовой контрольной аппаратуры. Поскольку система обеспечения живучести наноспутника реализуется только программными средствами, её надёжность всегда выше надёжности других аппаратно-программных структурных элементов.

Построение эффективной системы обеспечения живучести на наноспутнике позволит сделать космические эксперименты более качественными и результативными, а также выйти на новую ступень развития наноспутников.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ.

Список литературы

3. Ахметов Р. Н., Макаров В.П., Соллогуб А.В. Принципы управления космическими аппаратами мониторинга Земли в аномальных ситуациях [Текст]/Р. Н. Ахметов. // Информационно-управляющие системы. 2012. №1. С. 16-22
4. Ахметов Р. Н., Макаров В.П., Соллогуб А.В. Особенности обеспечения целевой эффективности космических аппаратов мониторинга Земли в полёте [Текст]/Р. Н. Ахметов. // Вестник СГАУ. 2012. №4. С. 7-17.
5. Кирилин А. Н. и др. Методы обеспечения живучести низкоорбитальных автоматических КА зондирования Земли: математические модели, компьютерные технологии [Текст]/А. Н. Кирилин, Р. Н. Ахметов, А. В. Соллогуб, В. П. Макаров. – М.: Машиностроение, 2010. – 384