

# Формирование требований к системе управления движением микроспутника CubeSat Казаков А. И.

*Казаков Алексей Игоревич / Kazakov Aleksey Igorevich – аспирант,  
кафедра аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов,  
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения  
Институт аэрокосмических приборов и систем, г. Санкт-Петербург*

**Аннотация:** в данной работе исследованы основные требования к системе управления движением микроспутника типа CubeSat. В статье рассмотрены специфические характеристики микроспутников CubeSat, исследованы подходы к стандартизации подобных космических аппаратов на основе требований CubeSat Design Specification, выявлены возможности создания подобных спутников в России. Исходя из обозначенной специфики, определены требования к системе управления движением микроспутника типа CubeSat.

**Ключевые слова:** микроспутник, CubeSat, система управления, система управления движением.

УДК 629.783

Наша страна первой в мире произвела запуск космического аппарата - первого искусственного спутника земли. В XXI веке Россия продолжает удерживать первенство в освоении космического пространства. Между тем, в мире широко развиваются проекты по запуску малых спутников независимыми командами разработчиков, а также в рамках учебных программ различных технических университетов. Во многом это определяется тем, что малые спутники, при их относительно небольшой стоимости, позволяют полноценно выполнять различные исследовательские задачи в космосе.

Стандарт CubeSat был создан совместно специалистами Политехнического университета штата Калифорния (США) и лаборатории развития космических систем Стэнфордского университета (США) в 1999 году для облегчения доступа к исследованию космического пространства студентами высших учебных заведений. В стандарте CubeSat были установлены основные подходы в спецификации на малые спутники - определены их размеры, вес и другие параметры, а также описаны процедуры тестирования и подготовки к запуску [7].

С тех пор данный стандарт был принят множеством организаций по всему миру. Сегодня свой вклад в совершенствование стандарта вносят разработчики не только из университетской среды и различных образовательных учреждений, но и частные компании, а также государственные организации. Применение стандарта CubeSat облегчает осуществить проекты доступа к космическому пространству с возможностями запуска спутников на большинстве существующих ракет-носителей. На сегодняшний день действует 13-ая редакция стандарта - CubeSat Design Specification (CDS) REV 13 [6]. Согласно современным подходам к типу CubeSat относятся спутники объемом до 10 см<sup>3</sup> с массой до 1,33 кг.

Сегодня спутники типа CubeSat активно используются и космическими агентствами, например, НАСА (NASA) [2].

Важность и актуальность использования микроспутников, поиска наиболее оптимальных решений в области по их запуску и эффективному применению определяется не только научными целями и возможностями привлечения к космическим исследованиям студентов, но и ускоренным техническим развитием цивилизации, использованием все новых материалов в различных сферах производства, необходимостью рационального использования природных ресурсов. Поэтому формирование требований к системе управления движением микроспутников типа CubeSat выглядит важной методологической и практической задачей. При этом необходимо исходить из уже имеющихся требований и ограничений CDS.

Как показывает проведенный анализ подходов CDS, в документе не существует ограничений по использованию типа или вида систем управления (СУ) спутника. Разработчиками стандарта CDS определены, прежде всего, требования к обеспечению формы и размеров исполнения спутника (CubeSat Mechanical Requirements), электрическим характеристикам (Electrical Requirements), управлению по радиосигналу с позиции выбора частот и исключению воздействия на другие спутники (Operational Requirements), проведению испытаний (Testing Requirements) [6].

Вопросы использования какой-либо СУ не нашли своего отражения в стандарте CDS, что создает достаточно широкий простор для творчества команд разработчиков микроспутников типа CubeSat.

Важно отметить, что сегодня в России созданы необходимые предпосылки для создания собственных малых спутников типа CubeSat и разработки национальной спецификации на них [5].

Целью разработчиков является развитие идей использования нано-спутников в задачах исследования космоса и нашей планеты, создание собственных разработок с целью уменьшения времени готовности к

запуску и облегчения доступа потенциальных заказчиков к участию в космических программах. В порядке достижения главной цели выполняются следующие задачи:

- разработка, изготовление, тестирование базовой платформы стандарта CubeSat (на момент написания данной статьи практически уже выполнена);
- разработка и изготовление полезной нагрузки для спутника;
- запуск на орбиту и управление спутником;
- разработка рекомендаций по изготовлению наземной станции слежения за спутником;
- координация работы распределенной команды разработчиков.

Задача системы управления движением (СУД) микроспутника типа CubeSat заключается в реализации алгоритма управления.

При описании СУ спутников используется функциональное разделение на управление движением центра масс и управление движением аппарата относительно центра масс. Первый тип движения относят к длиннопериодическому (в связи с относительно большой временной протяженностью интервала управления), второй тип в этом смысле – короткопериодический [1].

Фактически управление космическим аппаратом (КА) представляет собой изменение с определенной точностью параметров движения центра масс КА и параметров движения вокруг центра масс в соответствии с заранее заданными (или формирующимися в процессе движения) законами. При этом управление движением КА осуществляется СУ, которые представляют комплекс систем автоматического регулирования, каждая из которых решает свою частную задачу.

СУД центра масс может выполнять программное устройство, решающее задачи навигации, наведения и стабилизации. СУД относительно центра масс или система управления угловым движением (СУУД) решает задачи ориентации и стабилизации спутника [4].

Основная задача навигации микроспутника типа CubeSat – определение истинных текущих кинематических параметров движения КА (его координат и скорости в инерциальной системе координат) на основе измерения доступных навигационных параметров, характеризующих в общем случае возмущенную траекторию.

Основная задача наведения микроспутника типа CubeSat – определение требуемых управляющих воздействий, которые обеспечат приведение КА в заданную точку пространства, с заданной скоростью, в заданный момент времени с учетом текущих кинематических параметров движения, полученных в результате решения задачи навигации, известных динамических характеристик объекта и системы управления, а также заданных ограничений (энергоресурс, максимальная тяга двигателя и т.п.).

Ориентация микроспутника типа CubeSat представляет собой управление угловым движением КА для придания определенного углового положения относительно небесных тел, силовых линий магнитного или гравитационного полей, а также других выбранных направлений, называемых опорными или базовыми системами отсчета.

Стабилизация микроспутника типа CubeSat представляет собой управление угловым движением КА вокруг центра масс, в процессе которого устраняются неизбежно возникающие в полете угловые отклонения осей, связанных с КА, от соответствующих осей опорной системы отсчета.

Стабилизация и ориентация микроспутника типа CubeSat с требуемой точностью являются одними из основных задач СУ. Кроме ориентации и стабилизации, СУУД должна выполнять также функцию успокоения, которая заключается в том, чтобы за короткое время погасить большие угловые скорости, возникающие, например, в момент отделения платформы CubeSat от ракеты-носителя и достигающих нескольких градусов в секунду.

СУД микроспутника типа CubeSat по характеру управляющих воздействий СУ можно разделить на:

1. Систему управления маневром (СУМ), когда под маневром понимается совместное регулирование положения и скорости КА путем изменения по величине и направлению главного вектора внешних сил, величина которых в этом случае весьма значительна, а время действия – продолжительно.

2. Системы коррекции траектории движения. В этом случае величина управляющей силы невелика, а двигатели включаются на короткое время, поэтому можно считать, что управляющее воздействие представляет собой импульсное изменение вектора скорости КА при неизменном положении его в пространстве. СУД микроспутника типа CubeSat должна решать не только задачу коррекции движения, но и функцию торможения.

С позиции управления движением микроспутника типа CubeSat могут быть использованы как пассивные системы ориентации, так и активные. При этом в качестве критерия выбора могут быть использованы как более широкие возможности управления (для активных систем), так и стоимость (более низкая для пассивных систем).

Перспективным выглядит управление движением микроспутника типа CubeSat на основе использования бесплатформенных инерциальных навигационных систем (БИНС), когда инерциальными средствами моделируется и определяется требуемое положение ориентации или траектория движения

КА. Подобный подход был предложен Н.Н. Севастьяновым для управления движением спутника связи «Ямал» [3]. По нашему мнению, подобные решения вполне приемлемы и для микроспутников CubeSat.

Таким образом, в современных условиях актуальным выглядит изучение подходов к формированию требований к СУД микроспутника типа CubeSat, прежде всего, с позиции создания отечественного аналога спутника и решения вопросов управления им на основе отечественных технологий. СУД микроспутника типа CubeSat должна решать следующие функциональные задачи: навигация, наведение, стабилизация, ориентация, успокоение. В качестве возможного варианта управление движением микроспутника типа CubeSat может осуществляться на основе использования БИНС.

### *Литература*

1. *Зеленцов В. В.* Исполнительные органы систем управления движением космических летательных аппаратов и ракет / В.В. Зеленцов, В.И. Никитенко. М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. 306 с.
2. Микроспутники CubeSat получили лазерную коммуникационную систему. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.dailytechinfo.org/infotech/7470-mikrospatniki-cubesat-poluchili-lazernuyu-kommunikacionnuyu-sistemu.html/> (дата обращения: 20.09.2016).
3. *Севастьянов Н. Н.* Концепция построения системы ориентации и управления движением спутника связи «Ямал». Штатная схема функционирования / Н. Н. Севастьянов // Вестн. Том. гос. ун-та. Математика и механика, 2013. № 2 (22). С. 85-96.
4. *Фомичев А. Н.* Исследование систем управления / А. Н. Фомичев. М.: LAP Lambert Academic Publishing, 2011. 508 с.
5. Cubesat.ru. Дорога в космос. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://cubesat.ru/> (дата обращения: 15.09.2016).
6. CubeSat Design Specification Rev. 13. The CubeSat Program, Cal Poly SLO. [Electronic resource]. URL: [https://static1.squarespace.com/static/5418c831e4b0fa4ecac1bacd/t/56e9b62337013b6c063a655a/1458157095454/cds\\_rev13\\_final2.pdf/](https://static1.squarespace.com/static/5418c831e4b0fa4ecac1bacd/t/56e9b62337013b6c063a655a/1458157095454/cds_rev13_final2.pdf/) (date of access: 14.11.2016).
7. CubeSat. [Electronic resource]. URL: <http://www.cubesat.org>. (date of access: 21.10.2016)