

СПОСОБЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫМ ПОЛОЖЕНИЕМ НАНОСПУТНИКА

Явися В.С.

Институт телекоммуникационных систем НТУУ «КПИ», Украина

E-mail: yavisiya@bigmir.net

A method of controlling the spatial location of nano-satellites

The analysis of methods of orientation and stabilization of the spatial position of the ultra-small spacecraft. Traditional methods of orientation and stabilization are measured in terms of their feasibility, taking into account the restrictions on weight and overall performance, operational constraints associated with the consumption of energy here, as well as the possibility of changing orbit.

Наноспутники (НС) – перспективный вид космической техники. Такие аппараты весят всего несколько килограммов и могут выводиться в космос в качестве попутной нагрузки или сразу пакетами в десятки и даже сотни единиц. Кластеры спутников могут использоваться в качестве ретрансляционной сети, для дистанционного зондирования Земли, научных миссий, экологического мониторинга, прогноза землетрясений, исследования ионосферы, в том числе полетов к другим планетам. Между тем развитие этой перспективной отрасли сильно сдерживается из-за отсутствия дешевой и эффективной двигательной установки, расширяющей функциональность НС и делающей их по-настоящему автономными устройствами.

В большинстве случаев НС не могут менять свое положение в пространстве, не говоря уже о разгоне и маневрировании в глубоком космосе. Это связано с жесткими массо-габаритными ограничениями, которые вынуждают отказаться от оснащения НС системами стабилизации и ориентации. Однако ряд применений НС возможен только в случае решения задачи обеспечения стабильного, изменяемого положения НС в пространстве.

Известно, что при нахождении на орбите спутник подвергается возмущающим моментам, поэтому даже в случае обеспечения правильной ориентации при выводе на орбиту, через некоторое время возникает необходимость управления его положением.

Традиционно для решения задачи ориентации и стабилизации применяются два метода [1]: пассивный и активный.

Пассивный метод не требует затрат энергии, запасаемой на борту спутника. Наиболее распространены следующие пассивные методы стабилизации: гравитационный, аэродинамический, давлением солнечных лучей, вращением.

Активные методы стабилизации бывают трёх типов:

– стабилизация с помощью двигателей-маховиков;

- стабилизация с помощью моментного магнитопривода;
- система стабилизации с реактивными двигателями.

Возможность применения одной из перечисленных систем стабилизации зависит от совокупности требований, предъявляемых к НС.

В том случае, когда НС решает задачи, не связанные с необходимостью изменять его пространственное расположение на протяжении всего срока эксплуатации, целесообразно использовать пассивные методы.

В остальных случаях обоснованным будет применение активных методов, поскольку именно они помимо стабилизации способны обеспечить изменение ориентации в течении коротких интервалов времени.

Основным преимуществом систем стабилизации с помощью двигателей-маховиков и моментного магнитопривода является то, что они не требуют наличия на борту запасов топлива.

Базирующиеся только лишь на двигателях-маховиках, либо только на магнитных исполнительных органах системы, в принципе способны выполнить необходимую стабилизацию и ориентацию [2].

При использовании двигателей-маховиков необходимо иметь по одной оси два двигателя-маховика, кинетические моменты которых направляются в противоположные стороны. В совокупности шесть таких элементов (по два на каждой из трех осей), займут внутренний объем таким образом, что расположение других элементов НС станет значительно усложненным.

Если ограничить массу системы стабилизации на уровне 10% от массы всего НС, тогда за одну секунду угол поворота НС составит $\alpha_{нс} = 0,57$ рад. В целом такая система при незначительном энергопотреблении для работы электродвигателей (до 1 Вт) показывает достаточно высокую эффективность и быстродействие. Основным недостатком такого решения является то, что после окончания ориентации необходимо поддерживать скорость вращения маховиков на заданном значении. При отсутствии достаточного запаса электроэнергии (при нахождении НС в тени) ресурса аккумуляторов может оказаться недостаточно для обеспечения работы электродвигателей, что в свою очередь вызовет потерю ориентации.

Когда речь идет о реализации системы на магнитных исполнительных органах, также можно достичь соотношения массы магнитных катушек на уровне 10% от полезной нагрузки [2, 3].

При использовании магнитных катушек, взаимодействующих с магнитным полем Земли, за секунду угол поворота НС составит $\alpha_{нс} = 0,00048$ рад.

Явным преимуществом такой системы является удобство расположения ее элементов в корпусе НС, а именно – сразу под внешними плоскостями сторон куба. Это не будет создавать никаких неудобств при размещении другого оборудования. Кроме того, по окончании ориентации и стабилизации, система не требует дополнительных энергозатрат.

Недостатками системы на магнитных исполнительных органах является относительно малая величина управляющих моментов, а также то, что без привлечения дополнительного управляющего устройства другого вида

моментный магнитопровод не в состоянии обеспечить трехосную ориентацию НС в пространстве [4].

Реактивные двигатели создают управляющий момент за счет реакции струй газов, истекающих из сопла, ось которого располагается на некотором удалении относительно центра масс НС. Наиболее эффективным будет их расположение на краю поверхности посередине грани.

Общим недостатком таких систем является ограниченное время функционирования в связи с израсходованием рабочего тела. Сам принцип эжекции массы приводит к необходимости создания ее резерва, что утяжеляет НС при запуске.

В этом случае возможно использование ионных двигателей, основным достоинством которых считается экономичность. Так как ионы имеют скорость на порядок выше скорости истечения газов из ракетного двигателя, то для изменения скорости НС на заданную величину им требуется на порядок меньше топлива.

В тоже время использование ионных двигателей связано со значительным потреблением электрической мощности и вызывает необходимость введения фазы предварительного нагрева, что, как правило, удерживает специалистов от их использования для управления положением.

Кроме того недостатком ионных двигателей является очень маленькая тяга, которая не позволяет использовать их для взлета с Земли, а также при маневрах, требующих быстрого изменения траектории.

Однако нанодвигателестроение не стоит на месте [5]. Как было заявлено в пресс-релизе Массачусетского технологического института, группой американских инженеров были разработаны специальные сверхкомпактные ионные двигатели для коррекции орбиты НС.

Габариты ионного ускорителя составляют 10x10x2 мм.

Запас топлива, или другими словами реактивная масса, будет храниться непосредственно внутри двигателя в жидком виде и поступит наружу через микроскопическое отверстие, где ее частицы ионизируются и ускоряются электрическим полем.

Группа разработчиков, возглавляемая Государственной политехнической школой в Лозанне и входящая в европейский консорциум по созданию электрических ракетных микродвигателей MicroThrust, заявила о создании первого рабочего прототипа ультракомпактного космического двигателя нового поколения, использующего технологию матричных микросопел [6].

Созданный европейцами рабочий прототип отличается высокой экономичностью и тяговой эффективностью. Такой двигатель уже планируют установить на сборщик космического мусора, создаваемый по программе CleanSpaceOne, а также на десятки НС, предназначенных для мониторинга радиоизлучения ультрадлинного диапазона с обратной стороны Луны (программа OLFAR).

Удалось решить и электрическое обеспечение двигательной установки при ограниченной площади солнечных батарей, питающих ионный ускоритель:

один двигательный модуль с тысячевольтным инжектором и сантиметровой матрицей в 1000 микросопел потребляет в общей сложности 4 Ватта.

В отличие от традиционных ионных двигателей, обладающих значительной массой, он незначительно повлияет на массово-габаритные характеристики оснащённого им НС.

При 500 микросопах сила такого двигателя оценивается всего в 50 мкН, однако в условиях вакуума и близкой к нулю гравитации её оказывается достаточно для корректировки орбиты НС [7].

Исходя из заявленных характеристик [6, 7], можно оценить эффективность управления НС при использовании таких миниатюрных ионных установок.

В этом случае за секунду угол поворота НС составит $\alpha_{нс} = 0,0005$ рад, что практически совпадает с возможностями системы, использующей моментный магнитопривод.

Компактные ускорители позволят спутникам удерживать заданную орбиту, существенно продляя расчётные сроки эксплуатации.

Также двигатели малой тяги могут использоваться для управляемого схода необратимо повреждённых спутников с орбиты. Это заставит их сгорать в атмосфере Земли и частично решит проблему космического мусора. Поскольку системы ориентации на двигателях-маховиках и магнитных исполнительных органах не позволяют осуществлять изменение орбиты НС, наиболее целесообразным будет использование комбинированной системы, состоящей из магнитных катушек, позволяющих решать задачи стабилизации и ориентации, а также ионных двигателей, которые будут задействованы, в основном, для изменения орбиты НС, что позволит значительно увеличить их срок службы, а также осуществлять плановый уход с орбиты по окончании эксплуатации.

Література

1. Левантовский В. И. Механика космического полета в элементарном изложении. – М.: Наука, 1980. 512 с.
2. Суббота А. М., Симонов В. Ф., Резникова О. В. Исследование качества ориентации и стабилизации космического аппарата с использованием двигателей-маховиков и магнитных исполнительных органов // Авиационно-космическая техника и технология. – Х: ХАИ, 2013. – № 5. – С. 61-68.
3. Зараменских И.Е., Овчинников М.Ю. Расчет токовых катушек для управления макетом спутника в лабораторных условиях /Электронный ресурс/ http://www.keldysh.ru/papers/2005/prep93/prep2005_93.html
4. Бебенин Г.Г., Скредоушевский Б.С., Соколов Г.А. Системы управления полетом космических аппаратов. – М.: Машиностроение, 1978. – 176 с.
5. Урман Д. Изобретены микродвигатели для наноспутников /Электронный ресурс/ <http://hi-news.ru/science/izobreteny-mikrodvigateli-dlya-nanosputnikov.html>.
6. Куликов И. К Луне на одном стакане /Электронный ресурс/ http://www.gazeta.ru/science/2012/03/30_a_4111813.shtml.
7. Васильков А. Крошечный ионный двигатель будет корректировать орбиты наноспутников /Электронный ресурс/ <http://www.computerra.ru/37296/37296/>.