

### Список литературы:

1. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология. М.Л. Кербер, В.М. Виноградов, Г.С. Головкин и др.; под ред. А.А. Берлина. – СПб.: Профессия, 2008. – 560 с.
2. Справочник по композитным материалам: В 2-х кн. Кн. 1. Под ред. Дж. Любина. М., Машиностроение, 1988. – 448 с.

## **Использование двигателя-маховика для создания управляющих моментов космического аппарата**

Затонов И.А.

Научный руководитель: Мартемьянов В.М. к.т.н., доцент кафедры ТПС  
Томский Политехнический Университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина,30  
E-mail: [ivan.zatonov@yandex.ru](mailto:ivan.zatonov@yandex.ru)

Создание ракетно-космических систем в прошлом веке привело к необходимости решения ряда задач как научных, так и технических. Важным аспектом в изучении полета КЛА является постановка задачи управления космического аппарата. Прикладная небесная механика есть основа для общей теории космического полета. Задача формируется на базе прикладной небесной механики, цель которой описать движение тел в пространстве на основе закона всемирного тяготения. Важность управления угловым положением КЛА в пространстве определяется целевыми задачами различных типов искусственных спутников Земли (ИСЗ).

Большинство современных КЛА предполагает определенную ориентацию последнего в пространстве. В общем случае, угловое положение КЛА задается взаимным расположением двух систем координат: базовой и связанной.

Направление осей первой из них устанавливает требуемую, а другой - связанную с аппаратом, действительную ориентацию.

Базовая система отсчета может быть как подвижной, т.е. вращающейся известным образом в инерциальном пространстве, так и неподвижной. Направление осей данной системы отсчета производится с учетом функционального назначения и траекторией полета КЛА.

Как правило, направление осей связанной системы отсчета совмещается с осями главных моментов инерции аппарата. Это позволяет существенно упростить аналитическое описание динамики полета.

В случае, когда оси базовой системы совпадают с осями связанной, проявляется идеальная ориентация. Как правило, на практике данные оси не совпадают, отсюда следует вывод, что задачей ориентации КЛА следует считать совмещение осей базовой и связанной системы. Следовательно, решение данной задачи движения КЛА вокруг собственного центра масс является важным элементом управления [1-2].

Выделяют два основных вида управления [3]:

- Процесс приведения осей связанной системы координат к осям базовой системы отсчета.

Данный вид управление включает в себя:

1. Гашение начальной угловой скорости;
2. Поиск физических ориентиров, которые будут использованы для технического воспроизведения базовой системы отсчета;
3. Осуществление поворотного маневра для совмещения осей базовой и связанной координатных систем.

- Второй вид управления принято называть стабилизацией, он предназначен для поддержания требуемой ориентации КЛА с определенной точностью.

При полете на КЛА действуют различные внешние и внутренние моменты. Под внешними моментами понимается взаимодействие аппарата с окружающей средой. Движение отдельных частей КЛА вызывает внутренние моменты. Характерной особенностью КЛА как объекта исследования является учет влияния внутренних моментов на его вращательное движение.

Для ориентации и стабилизации КЛА в качестве управляющих устройств применяются двигательные установки, которые создают управляющие внешние и внутренние моменты относительно соответствующих осей аппарата. К таким установкам относятся малогабаритные реактивные двигатели, силовые гироскопические устройства, магнитные системы, двигатели-маховики. Способы получения управляющего момента перечисленными установками описаны в таблице №1.

Таблица 1 - Приемы создания управляющих моментов двигательными установками

[2]

Двигательная установка	Описание
Моментный магнитопровод	Моментный магнитопровод создает управляющий момент за счет взаимодействия геомагнитного поля со специально созданным внутри КЛА магнитным полем, которое может создаваться постоянными магнитами или электромагнитами.
Двигатели маховики и гироскопические устройства	Устройства создают управляющий момент за счет изменения момента количества движения маховиков и гироскопов.
Реактивные двигатели	Создают управляющий момент при помощи реакции струи газов, истекающих из сопла, ось которого располагается на некотором удалении (являющимся плечом) относительно центра масс КЛА.

В настоящее время широкое распространение получили управляющие устройства использующие маховики. Принцип управления КЛА при помощи двигателей маховиков базируется на законе сохранения кинетического момента системы «космический аппарат-маховик». При изменении собственного кинетического момента маховика, на такую же величину изменится кинетический момент КЛА. Приращение кинетических моментов маховика и космического аппарата будут иметь разные знаки. Для привода маховиков могут быть использованы двигатели различных типов, однако электрические двигатели в условиях космического полета, предпочтительны как с точки зрения возможности получения первичной энергии, так и в отношении удобства управления.

Как и любая другая система ориентации КЛА, система, основанная на использовании двигателей-маховиков, является замкнутой и имеет автоматическое управление. Двигатели-маховики кроме положительных свойств имеет также и несколько существенных недостатков [5]:

- Насыщение кинетического момента;
- Малая величина развиваемых моментов (в связи с ограниченной величиной тока протекающей по обмоткам).

В существующих системах управления маховику задается некоторая опорная скорость вращения, относительно которой происходит его разгон и торможение. К недостаткам такого режима можно отнести необходимость непрерывного затрачивания электроэнергии на поддержания заданной опорной скорости вращения маховика. Сложная динамика КЛА так называемое явление – «насыщение маховиков», т. е. явление, при котором маховик достигает максимальной скорости вращения (максимального кинетического момента), а также повышенный износ опор подвеса маховика, непрерывно вращающегося с большой

скоростью являются недостатками, которые в известной мере могут быть компенсированы техническими приемами.

Список литературы:

1. Алексеев К.Б., Бебенин Г.Г. Управление космическими летательными аппаратами.- Москва: «Машиностроение», 1974.
2. Б.В. Раушенбах. Управление движением космических аппаратов.- Москва: «Знание», 1986
3. Условия космического полета// Библиотека по астрономии и космонавтике. [Электронный ресурс] URL <http://12apr.su/books/item/f00/s00/z0000023/st003.shtml> (Дата обращения 1.03.2015)
4. Система ориентации космического аппарата// Википедия.[Электронный ресурс] URL <http://ru.wikipedia.org/> (Дата обращения 10.03.2015)
5. Механика космического полета в элементарном изложении, Левантовский В.И., Главная редакция физико-математической литературы издательства «Наука», М., 1970, 492с.

### **Двигатель-маховик малого космического аппарата**

Затонов И.А.

Научный руководитель: Мартемьянов В.М., к.т.н., доцент кафедры ТПС  
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30  
E-mail: [ivan.zatonov@yandex.ru](mailto:ivan.zatonov@yandex.ru)

При полете на космический летательный аппарат (КЛА) воздействуют внешние и внутренние моменты. Внутренние моменты, вызываемые движением отдельных частей аппарата, могут использоваться для поддержания требуемой ориентации КЛА. В качестве одного из видов управляющих устройств для стабилизации и ориентации спутника применяют двигатели-маховики.

Двигатели-маховики рационально применять на КЛА предназначенных для длительного полета. Объяснение заключается в отсутствии зависимости суммарной массы управляющего устройства (УУ) и массы источников энергосбережения от продолжительности функционирования системы. Для трехосной ориентации создание внутренних моментов по трем связанным осям осуществляется посредством применения трех двигателей-маховиков. В настоящее время такая система получила широкое распространение [1].

Для приводов маховиков используются двигатели различных типов. Наиболее оптимальным решением является применение электрических двигателей. В настоящее время в качестве исполнительных устройств широкое применение получили бесконтактные двигатели постоянного тока.

В общем виде двигатели маховики состоят из массивного ротора, который устанавливают на опоры и приводят во вращение электродвигателем. Ротор закрепляют на маховике, а статор- на основании системы. Возможно помещение конструкции в герметичную камеру для снижения момента сопротивления вращению маховика.

Управляющий момент создается за счёт изменения момента количества движения маховика. Данный момент определяется формулой [1-2].

$$\bar{M}(t) = \frac{d(I(t) \cdot \bar{\omega}(t))}{dt}, \text{ где} \quad (1)$$

$I(t)$  – момент инерции тела относительно оси вращения;  
 $\bar{\omega}(t)$  - вектор угловой скорости маховика;