

УДК 621.37/39

ВОЗМОЖНЫЙ ПОДХОД К СНИЖЕНИЮ УРОВНЯ МИКРОГРАВИТАЦИИ, ОБУСЛОВЛЕННОГО КОЛЕБАНИЯМИ КА В ПОЛЕТЕ

Семкин Н.Д., Бобин Д.Г.

1. Анализ источников микрогравитации

Перспективные космические эксперименты часто сильно зависят от параметров окружающей среды и наибольшее влияние на технологические процессы оказывают микроускорения, действующие на борту КА.

В настоящее время эксплуатируются космические аппараты серии «Фотон», которые имеют пониженный уровень бортовой гравитации и используются для различных космических экспериментов. Однако в ходе обработки результатов измерений, выполненных системами QSAM и ВЕТА в ходе полета КА «Фотон-11», было обнаружено, что КА вращался с постоянно увеличивающейся угловой скоростью. К концу срока существования движение аппарата было близко к регулярной прецессии Эйлера с угловой скоростью порядка 1 градус/с [1]. Сходные результаты получены при обработке данных измерений аппаратуры "Мираж", работавшей на «Фотоне-12» [2]. Такая угловая скорость приводит к появлению нормальных ускорений, которые могут влиять на протекание технологических процессов на борту аппарата.

В данной работе предлагается магнитная система компенсации микроускорений, которая позволяет компенсировать как медленные постоянные ускорения (при утечках газа, за счет действия аэродинамических моментов и т. д.), так и короткие появляющиеся в произвольные моменты времени.

2. Система компенсации микроускорений

В данной работе предложен подход, основанный на взаимодействии исполнительных органов системы компенсации с магнитным полем Земли. Исполнительными органами являются токнесущие контура, расположенные на внешней поверхности аппарата (рис. 1). Подавая токи в контура, можно создавать управляющие моменты, которые будут гасить угловые ускорения и демпфировать угловую скорость вращения.

Вращательный магнитный момент, действующий на контур, равен [3]

$$\vec{M} = \vec{L} \times \vec{B}, \quad (1)$$

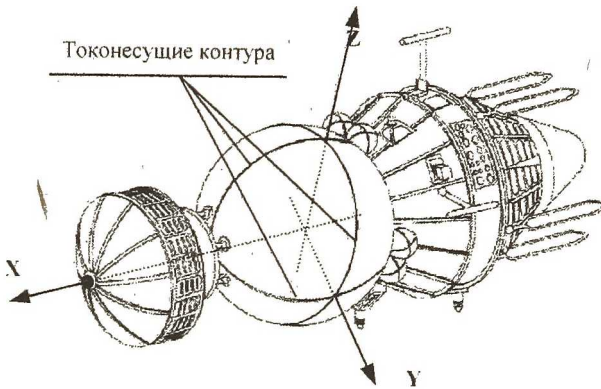


Рисунок 1.

где \vec{B} - вектор индукции магнитного поля Земли; $\vec{L} = IS \vec{n}$ - вектор дипольного магнитного момента; S - площадь контура; I - ток, протекающий по контуру; \vec{n} - единичный вектор, направление которого связано с направлением тока в контуре правилом правого винта. Вектор \vec{B} измеряется с помощью трехкомпонентного феррозондового датчика.

Примем, что управляющий момент формируется по пропорциональному закону $\vec{M} = -\kappa \vec{\omega}$, где κ - коэффициент пропорциональности.

Уравнение (1) в этом случае можно переписать в виде:

$$\kappa \vec{\omega} = -\vec{L} \times \vec{B} \quad (2)$$

Решение уравнения (2) будет выглядеть следующим образом:

$$\vec{L} = \kappa \frac{\vec{\omega} \times \vec{B}}{B^2} \quad (3)$$

Вектор \vec{B} измеряется с помощью трехкомпонентного феррозондового датчика. Определить вектор угловой скорости аппарата тоже можно на основе измерения величины магнитного поля [3].

Таким образом, зная данные, поступающие с феррозондовых датчиков, можно найти вектор дипольного момента, необходимый для уменьшения угловой скорости вращения, а, следовательно, и необходимые для этого токи:

$$I_x = \frac{L_x}{S}, \quad I_y = \frac{L_y}{S}, \quad I_z = \frac{L_z}{S}, \quad (4)$$

где I_x , I_y , I_z - токи в контурах, охватывающих оси OX, OY, OZ соответственно. От знака в правой части равенства зависит направление тока в контуре по правилу правого винта. При этом, поскольку токи невозможно

увеличивать до бесконечности, их величину ограничим значением I_{max} . То есть в реальный закон изменения токов в контурах будет иметь вид:

$$I_i = \begin{cases} \frac{L_i}{S}, \text{ при } \left| \frac{L_i}{S} \right| < I_{max} \\ I_{max} \frac{L_i}{|L_i|}, \text{ при } \left| \frac{L_i}{S} \right| \geq I_{max} \end{cases} \quad (5)$$

где $i=x, y, z$.

3. Результаты исследования процесса компенсации

Рассмотрим работу системы на примере вращения аппарата "Фотон-12". К концу 16-дневного периода существования на орбите аппарат делал 1 оборот вокруг оси X примерно за 6 минут. Критерием работоспособности системы будем считать ее способность удерживать угловую скорость ω в пределах величины ω_{max} . Эту величину можно рассчитать исходя из максимально возможного ускорения на борту. Если это ускорение принять $a_{max}=10^{-6} g$, то $\omega_{max}=(a_{max}/R)^{1/2}=0.00313$ рад/с.

Для расчетов проводились следующие параметры аппарата: диаметр контуров 2 м, моменты инерции КА $J_x=3000$ м/кг², $J_y=J_z=6000$ м/кг². Индукция магнитного поля Земли - 35 мкТл. Расчеты проводились для системы, исполнительные органы которой содержат 1 виток.

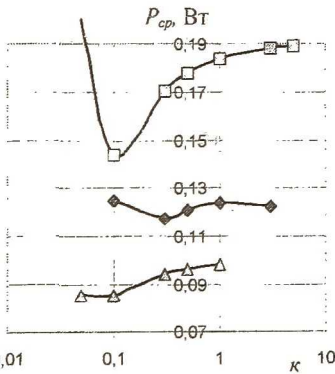


Рисунок 2 \triangle — $I=0,8$ А, \blacklozenge — $I=1$ А, \square — $I=1,5$ А

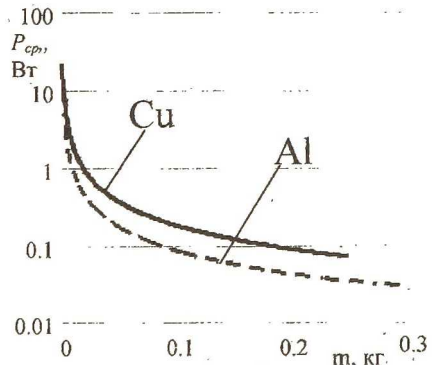


Рисунок 3.

Практическая способность системы исполнять свои функции при заданных внешних условиях зависит от коэффициента k и максимально возможного тока I_{max} . Чем меньше максимально допустимый ток в контурах тем труднее системе удерживать угловую скорость КА в заданных пределах. При значении I_{max} меньше некоторой критической величины

угловую скорость уже невозможно удержать в заданных пределах, а при увеличении I_{max} возрастает мощность, рассеиваемая в контурах. Такая же ситуация складывается при изменении коэффициента пропорциональности κ в (3). График зависимости среднего потребления от κ для трех значений I_{max} представлен на рисунке 2 (сопротивление одного контура принималось равным 0.1 Ом). А на рисунке 3 приведена зависимость потребления от массы исполнительных органов для случаев, когда исполнительные органы выполнены из алюминия и из меди. Расчет представлен для тока 1 А и коэффициента κ равного 0,1.

На основании графиков 2 и 3 можно сделать вывод, что система вполне работоспособна, не требует для работы создания больших токов, обладает малым потреблением при небольшой массе (реально можно достичь потребления 0.1 Вт при массе исполнительных органов 0,1 кг, если контура выполнены из алюминия).

Данную систему теоретически можно использовать и в случае появления ускорений при работе бортовой аппаратуры (например, при разгоне или торможении вращающихся частей экспериментального оборудования). В этом случае момент определяется из формулы

$$\vec{M} = \kappa(\vec{\omega} + \kappa_{\alpha} \vec{\alpha}). \quad (6)$$

Здесь κ_{α} — коэффициент пропорциональности. Для определения углового ускорения $\vec{\alpha}$ необходимо использовать дополнительный акселерометр.

Преимуществом предлагаемого устройства является уменьшение возникающих на борту микроускорений, при этом возможна точная компенсация как медленно меняющихся ускорений от внешних факторов, так и резких изменений ускорения, связанных с работой бортовой аппаратуры.

Недостаток системы в том, что она может компенсировать только ускорения вращательного движения и, кроме того, не могут создаваться ускорения вокруг оси, совпадающей с вектором магнитного поля.

Список использованных источников

1. В.В. Сазонов, С.Ю. Чебуков, В.И. Абрашкин, А.Е. Казакова, А.С. Зайцев. Анализ низкочастотных микроускорений на борту ИСЗ «Фотон-11». Препринт Института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, 1999 г., №33.
2. В.И. Абрашкин, В.Л. Балакин, И.В. Белоконов, К.Е. Воронов, В.В. Иванов, А.С. Зайцев, А.Е. Казакова, В.В. Сазонов, Н.Д. Семкин. Определение вращательного движения спутника «Фотон-12» по данным бортовых измерений магнитного поля Земли. Препринт Института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, 2000 г., №60.
3. Коваленко А.П. Магнитные системы управления космическими летательными аппаратами. М., "Машиностроение", 1975.- 248 с.