

## ЗАКОНЫ УПРАВЛЕНИЯ РАЗГРУЗКОЙ НЕЖЕЛАТЕЛЬНОГО КИНЕТИЧЕСКОГО МОМЕНТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КА

Бобин Д.Г.

В работах [1,2] был предложен подход к демпфированию кинетического момента технологического КА, приводящего к недопустимо высокому уровню микроускорений на борту аппарата. Подход основывается на взаимодействии исполнительных органов системы компенсации с магнитным полем Земли. Исполнительными органами являются токнесущие контура, расположенные на внешней поверхности аппарата. В этой работе подробнее остановимся на законах управления исполнительными органами.

Основной закон управления описывается выражением (1):

$$\left. \begin{aligned} L_1 &= \tilde{k}(\omega_2 B_3 - \omega_3 B_2) \\ L_2 &= \tilde{k}(\omega_3 B_1 - \omega_1 B_3) \\ L_3 &= \tilde{k}(\omega_1 B_2 - \omega_2 B_1) \end{aligned} \right\} . \quad (1)$$

где  $B_i$ ,  $\omega_i$ ,  $L_i$  - компоненты векторов индукции магнитного поля Земли, угловой скорости КА дипольного магнитного момента ( $\vec{L} = IS \vec{n}$ ,  $S$  - площадь контура;  $I$  - ток, протекающий по контуру;  $\vec{n}$  - нормаль контура).

Большое разнообразие законов управления можно получить, если использовать в (1) различные комбинации релейных функций от  $\vec{\omega}$ ,  $\vec{L}$ ,  $\vec{B}$ .

Закон (1) формирует оптимальный по направлению вектор магнитного момента. В случае его использования управляющий момент строго противоположен направлению составляющей  $\omega_{\perp}$ , перпендикулярной вектору  $\vec{B}$ . Такое положение вектора магнитного момента обеспечивает максимальную скорость разгрузки кинетического момента при заданной величине  $L$ . Любое упрощение, вводимое в закон (1) приводит к изменению направления вектора  $\vec{L}$ , а значит, к неполному использованию возможностей и снижению эффективности разгрузки, потому что часть энергии будет уходить на демпфирование составляющей  $\omega_{\parallel}$ , а основным недостатком магнитных систем является как раз то, что создать момент вокруг оси, параллельной вектору  $\vec{B}$ , невозможно.

На рисунке 1 представлена блок-схема системы управления, использующей закон (1). Это система с непрерывным функционированием и линейным законом на выходе.

На выходе феррозондовых датчиков ФД сигналы, несущие информацию о компонентах магнитной индукции. Затем эти сигналы поступают

на дифференциаторы. Информация о компонентах векторов магнитной индукции и их производных по времени поступает на блок формирования сигналов управления (БФСУ), где вычисляются компоненты угловой скорости аппарата и производится перемножение проекций  $\omega_i$  и  $B_j$  и суммирование результатов. На выходе БФСУ – сигнал рассогласования  $\delta_i = \omega_j B_k - \omega_k B_j$ . Этот сигнал поступает на блок усилителей мощности (БУМ), который усиливает управляющий сигнал БФСУ и своими управляющими сигналами возбуждает МИО (магнитные исполнительные органы). Эта система обладает наивысшей эффективностью управления, но при этом достаточно сложна в исполнении.

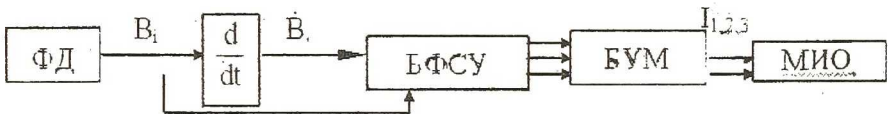


Рисунок 1 – Система с непрерывным функционированием и линейным законом на выходе

На практике создать такую систему в чистом виде не представляется возможным, поскольку величина магнитного момента, вычисленная на основании выражений (1) может оказаться слишком большой, поэтому на выходе БФСУ вводится ограничитель сигнала, имеющий функцию:

$$\delta_i = \begin{cases} \delta_i & \delta_i \leq \delta_{\max} \\ \delta_{\max} \text{sign}(\delta_i) & \delta_i > \delta_{\max} \end{cases} \quad (2)$$

Еще одним вариантом является система с непрерывным функционированием и релейным законом на выходе, блок-схема которой представлена на рисунке 2.

Отличие этой системы от предыдущей состоит в том, что МИО включается только при достижении управляющим сигналом БФСУ некоторого порога  $\delta^*$



Рисунок 2 - Система с непрерывным функционированием и релейным законом на выходе

Достоинства системы, представленной на рисунке 2 в отсутствии БУМ, поскольку сигналы БФСУ используются только для включения-выключения МИО, а не для их питания. С этим связано экономия массы системы, ее функциональная простота, большая надежность. Но обратной стороной являются худшие динамические показатели.

Следующим вариантом является система с прерывным функционированием. Ее блок-схема дана на рисунке 3.



Блок-схема системы с логическим законом и непрерывным формированием сигналов управления показана на рисунке (4). БФСУ выполняет лишь простейшую операцию алгебраического суммирования сигналов отдельных каналов магнитометра, это приводит к простоте схемной реализации и повышению надежности. Система имеет худшее качество управления по сравнению с предыдущими системами, использующими линейные законы. Вариант этой системы с прерывным формированием сигналов управления из всех, перечисленных в этой главе, обладает максимальной надежностью, и наилучшими весовыми показателями, но при этом имеет наихудшую эффективность управления.

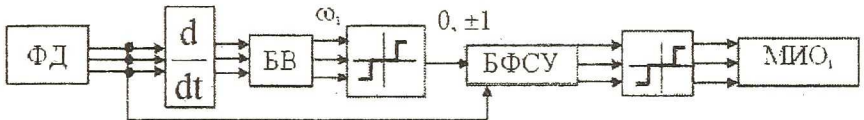


Рисунок 4 - Система с логическим законом и непрерывным формированием сигналов управления

Далее мы для сравнения приведем результаты моделирования работы нескольких схем. Моменты инерции аппарата –  $J_1=2400 \text{ кг/м}^2$   $J_2=10800 \text{ кг/м}^2$ .  $J_3=10000 \text{ кг/м}^2$  Параметры орбиты: эксцентриситет  $e=0,0126$ , большая полуось орбиты  $a=6688 \text{ км}$ , наклонение  $i=62,8^\circ$ . Сопротивление проводников принималось равным  $0,044 \text{ Ом}$ .

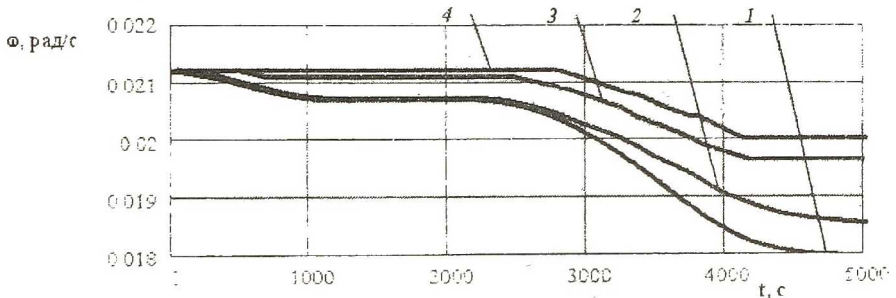


Рисунок 5 - Графики процесса разгрузки кинетического момента для различных типов систем

На рисунке 5 график 1 принадлежит системе с непрерывным функционированием и линейным выходом, график 2 – системе с непрерывным функционированием и ограничителем на выходе, график 3 – системе с непрерывным функционированием и релейным выходом и, наконец, график 4– системе с непрерывным функционированием и логическим законом формирования сигнала управления.

В заключение - еще один вопрос построения системы разгрузки. Исполнительные органы магнитной системы ориентации являются сильным

источником электромагнитного поля, поэтому их влияние на магнитометрические датчики должно быть сведено к минимуму, иначе результаты измерения напряженности магнитного поля уже не будут достоверными.

Одним из способов является разделение времени работы КА на участки функционирования датчиков  $T_{мд}$  и МИО  $T_{мио}$ . Таким образом, на датчики не влияют поля, создаваемые исполнительными органами.

Поскольку в период измерения исполнительные органы не работают, это снижает эффективность работы системы, поэтому, с одной стороны, желательно, чтобы отношение  $T_{мио}/T_{мд}$  было как можно больше. Но, с другой стороны, во время действия исполнительных органов, измерений не производится, и управление производится на основе устаревших данных о величине и направлении вектора магнитной индукции поля, поэтому необходимо уменьшать величину  $T_{мио}+T_{мд}$ .

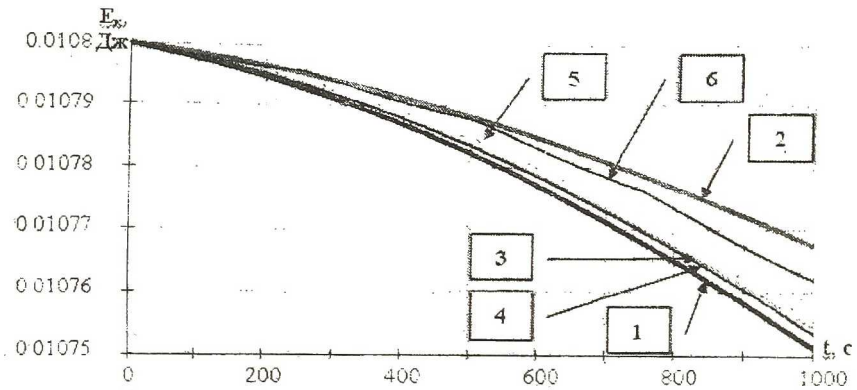
Период измерения состоит из времени выключения МИО, времени их размагничивания, времени включения датчиков, и времени определения компонент магнитной индукции. Нетрудно видеть, что время измерения  $T_{мд}$  не может быть меньше некоторой предельной величины.

Ясно, что такой метод управления снижает эффективность управления. Ниже представим результаты исследования работы такой системы с импульсным выходом. Для исследования возьмем идеальную систему с линейным формированием управляющего сигнала и линейным выходом без ограничения (рис. 1).

Для начала приведем сравнение работы систем с прерывистым и непрерывным управлением. На рисунке 6 представлены графики переходного процесса разгрузки кинетического момента, аналогичные графикам на рисунке 5, для различных величин  $T_{мио}$ , при этом примем  $T_{мд}=1$  с. График 1 соответствует системе с непрерывным управлением. Графики 2-6 – той же системе, но с прерывистым управлением. По оси абсцисс – время, по оси ординат кинетическая энергия КА. Начальная угловая скорость –  $0,003$  рад/с. Коэффициент  $\kappa=0,01$ .

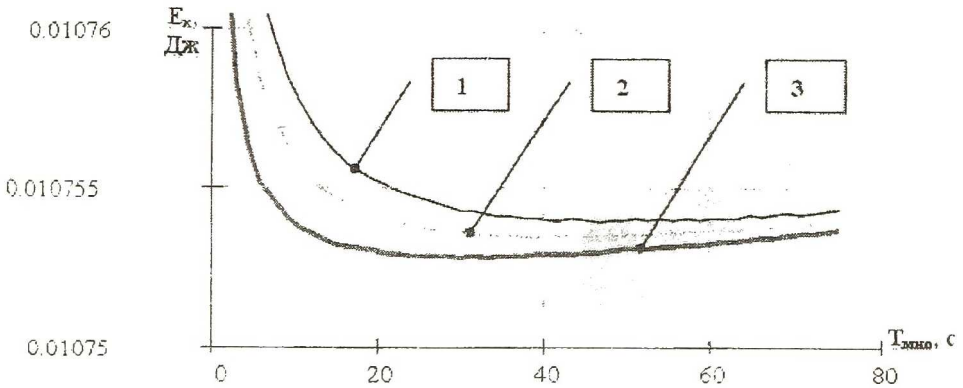
Для большей информативности на рисунке 7 дадим график зависимости конечной величины кинетической энергии от величины  $T_{мио}$ . Штриховой линией задана величина  $E_k$  для случая непрерывного управления.

На графике (рис. 6) конечная величина энергии ( $E_{кл}$ )  $1000$  с задана в функции периода управления  $T_{мио}$ . Можно видеть, что вначале с увеличением отношения  $T_{мио}/T_{мд}$  эффективность управления повышается, затем в силу вступает погрешность управления, связанная с устареванием данных о проекциях вектора магнитной индукции на оси связанной системы координат. Также можно заметить, что эффективность управления увеличивается с уменьшением  $T_{мд}$ .



1 – непрерывное управление; 2 –  $T_{\text{мин}}=2$  с; 3 –  $T_{\text{мин}}=16$  с; 4 –  $T_{\text{мин}}=54$  с; 5 –  $T_{\text{мин}}=128$  с; 6 –  $T_{\text{мин}}=250$  с.

Рис. 6. Зависимости конечной величины кинетической энергии от времени



1 –  $T_{\text{МД}}=1.5$ с; 2 –  $T_{\text{МД}}=1$ с; 3 –  $T_{\text{МД}}=0.5$ с;

Рисунок 7 – Зависимости конечной величины кинетической энергии от величины  $T_{\text{Мин}}$

#### Список использованных источников

1. Бобин Д.Г. Возможный подход к снижению уровня микроускорений на борту технологического космического аппарата.//Вестник СГАУ. Серия: Актуальные проблемы микроэлектроники. Выпуск 5.- Самара. 2001.
2. Бобин Д.Г., Литвинов В.В. Влияние аэродинамического момента на уровень микроускорений на борту технологического КА и способ его уменьшения.//Вестник СГАУ. Серия: Актуальные проблемы микроэлектроники. Выпуск 6.- Самара. 2002.
3. Коваленко А.П. Магнитные системы управления космическими летательными аппаратами. М., "Машиностроение" 1975.- 248 с.