

УДК 629.783

Исследование переходных процессов одноосной магнитной системы ориентации

Лазарев Никита Денисович^(*)

lazarevnd@bmstu.ru

Игнатов Александр Иванович

ignatov@bmstu.ru

Тененбаум Степан Михайлович

tenenbaum@bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Работа посвящена анализу алгоритмов одноосной ориентации малого космического аппарата с использованием магнитных органов управления. В работе представлены результаты моделирования углового движения с использованием различных вариаций закона управления и их параметров, в том числе рассматривается алгоритм, построенный на кратком прогнозе динамики аппарата. Рассмотрено влияние соотношения моментов инерции космического аппарата на параметры переходных процессов динамики движения.

Ключевые слова: ориентация спутника, угловое движение, магнитная ориентация, магнитное управление, магнитная система ориентации

Введение. Управление ориентацией космического аппарата важно для функционирования космического аппарата, в том числе для обеспечения электропитания, правильной работы приборов и эффективной работы систем связи. Предлагаемая к рассмотрению магнитная система ориентации (СОС-МК) при правильной настройке ее алгоритмов может быть достаточно эффективна для малых КА, таких как кубсат (англ. Cubesat). В работе рассматривается работа алгоритмов одноосной СОС-МК.

Материалы и методы; результаты. Общий вид уравнений при формировании управляющего воздействия на электромагнитные исполнительные органы следующий. Управляющий момент, который необходимо приложить к КА для одноосной ориентации определяется как

$$\overline{M}_{\text{треб}} = k_{\Pi}(\bar{e} \times \bar{r}), \quad (1)$$

где $\bar{e}$ — вектор в связанной с аппаратом системе координат, который требуется навести на измеренный вектор в этой системе координат $\bar{r}$.

В качестве вектора $\bar{e}$ может выступать одна из осей аппарата. Под вектором $\bar{r}$ может подразумеваться вектор-направление на Солнце, Землю, вектор магнитной индукции или любой другой вектор. Если известна угловая скорость аппарата, то получаем ПД-регулятор [1]:

$$\overline{M}_{\text{треб}} = k_{\Pi}(\bar{e} \times \bar{r}) + k_{\text{д}}\bar{\omega}. \quad (2)$$

Уравнение (3) определяет управляющее воздействия, выдаваемые на электромагнитные орган КА. Уравнение (3) было получено из уравнения

$$\bar{m} = \bar{B} \times \overline{M}_{\text{треб}}. \quad (3)$$

Реальный управляющий момент, приложенный к аппарату равен

$$\overline{M}_{\text{выд}} = \overline{m} \times \overline{B}, \quad (4)$$

где $\overline{m}$ — магнитный момент, формируемый исполнительными органами КА; $\overline{B}$ — вектор магнитной индукции Земного поля.

Из уравнений (3) и (4) видно, что требуемый и реальный крутящие моменты совпадать в общем случае не будут, чем ставят основную проблему в формировании алгоритмов СОС-МК.

В работе были рассмотрены следующие алгоритмы.

1. Описанный выше ПД-регулятор. При работе регулятора накладывалось ограничение на допустимый угол между $\overline{M}_{\text{выд}}$ и $\overline{M}_{\text{треб}}$ при превышении, которого управляющий момент не выдавался [2].

2. Управление с прогнозированием [3]. Комбинация магнитных исполнительных органов, подлежащих включению выбирается путем перебора. Критерием выбора является минимизация рассогласования между текущим и требуемым положением в пространстве спустя заданное время t , которое определяется посредством прогноза (интегрирования).

3. Комбинированный алгоритм.

Проведен сравнительный анализ переходных процессов в зависимости от ограничений, накладываемых на угол между векторами крутящего момента и соотношения пропорционального и дифференциального коэффициентов алгоритма. Под переходным процессом подразумевается процесс переориентации КА из начального положения в требуемое конечное положение при воздействии на него возмущающих факторов.

Заключение. Сравнение классического алгоритма и дискретного алгоритма с прогнозированием показало превосходство последнего как более устойчивого.

В работе было получено соотношение моментов инерции КА, при котором ориентация устойчива.

Список источников

- [1] Овчинников М.Ю., Пеньков В.И., Ролдугин Д.С., Иванов Д.С. *Магнитные системы ориентации малых спутников*. Москва, ИПМ им. М.В. Келдыша, 2016, 366 с. <https://doi.org/10.20948/mono-2016-ovchinnikov>
- [2] Игнатов А.И., Сазонов В.В. Стабилизация режима солнечной ориентации искусственного спутника Земли электромагнитной системой управления. *Космические исследования*, 2018, т. 56, № 5, с. 375–383.
- [3] Silani E., Lovera M. Magnetic spacecraft attitude control: a survey and some new results. *Control Engineering Practice*, 2005, vol. 13, no. 3, pp. 357–371.