

УДК 629.78+531.381

Конструирование адаптивной линейной скользящей поверхности для построения магнитного управления ориентацией

Ролдугин Дмитрий Сергеевич^(*)

rolduginds@keldysh.ru

SPIN-код: 7796-2475

Маштаков Ярослав Владимирович

yarmashtakov@keldysh.ru

SPIN-код: 5773-0769

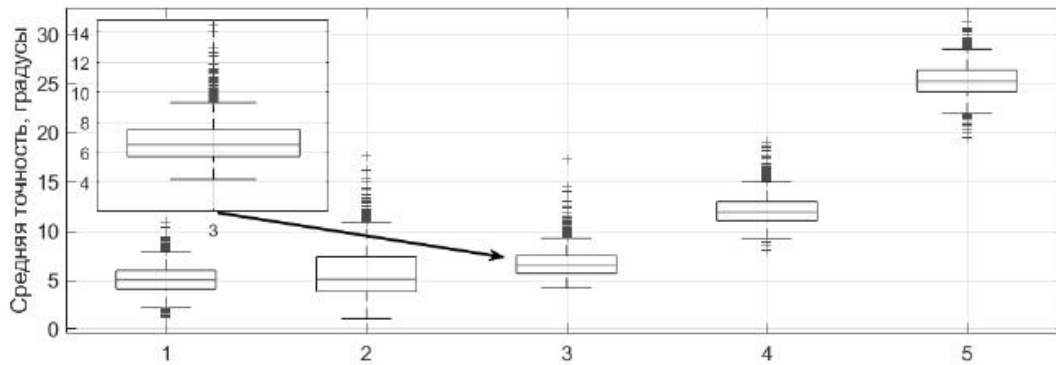
ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, Москва, Россия

Аннотация. Рассмотрено управление угловым движением космического аппарата с помощью магнитной системы. За основу взято скользящее управление с классической линейной скользящей поверхностью. К уравнению поверхности добавляется член, который позволяет управлять ее ориентацией, а значит и ориентацией результирующего момента. За счет этого удастся построить управляющий момент, который оказывается практически перпендикулярен местному вектору геомагнитной индукции. Разработана процедура вычисления дополнительного члена и выражения для дипольного момента. Работоспособность управления проверена при моделировании стабилизации в инерциальных и орбитальных осях.

Ключевые слова: магнитное управления, скользящее управление, спутник, ориентация

Введение. Ключевой проблемой на пути использования магнитной системы ориентации является ограничение на направление управляющего момента, который оказывается перпендикулярен вектору геомагнитной индукции. Хотя в целом управляемость системы доказана [1, 2], вопрос практического расчета управления все еще представляет сложности.

Основные результаты. В докладе для построения управления применяется скользящая поверхность. Задача стабилизации космического аппарата в заданном положении заменяется задачей стабилизации на поверхности, что позволяет гибко подойти к формированию управляющего момента. Правильно выбирая поверхность в каждый момент времени, можно надеяться получить управление почти перпендикулярным вектору геомагнитной индукции. Доклад развивает предыдущие исследования [3], в которых была представлена процедура дискретизации для построения скользящей поверхности на последовательных шагах управления. Здесь используется линейная поверхность, вводя в ее уравнение дополнительное слагаемое, которое, теоретически, не влияет на сходимость к желаемой ориентации. Это слагаемое позволяет адаптировать скользящую поверхность под текущее и требуемое движения космического аппарата для направления системы к «управляемой» траектории — той, на которой управляющий момент остается почти перпендикулярным вектору геомагнитной индукции. Результат моделирования движения типового аппарата массой в несколько десятков килограмм приведен на рисунке.



Стабилизация в орбитальных осях

В первом сценарии учитывается влияние основных возмущений — аэродинамического момента, остаточного дипольного момента, случайных неизвестных моментов. Во втором учитывается неточность знания моментов инерции (величины главных моментов отличаются на 5 %, направления осей известны с ошибкой 5°). Третий, наиболее реалистичный, сценарий вводит ошибки определения ($0,5^\circ$ постоянной и нормально распределенной ошибки, аналогично $0,5 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}$ по угловой скорости), в четвертом и пятом ошибка увеличивается в 2 и 4 раза соответственно.

Заключение. В докладе показана успешная реализация магнитного управления ориентацией, основанная на скользящем управлении. Управление строится таким образом, чтобы быть реализуемым магнитными катушками, и позволяет добиться точности ориентации около $6\text{--}10^\circ$ в реалистичном сценарии моделирования в инерциальных осях и $6\text{--}12^\circ$ в орбитальных осях.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда
№ 22-71-10009-II.*

Список источников

- [1] Морозов В.М., Каленова В.И. Управление спутником при помощи магнитных моментов: управляемость и алгоритмы стабилизации. *Космические исследования*, 2020, т. 58, № 3, с. 199–207.
<https://doi.org/10.31857/S0023420620030048>
- [2] Bhat S.P. Controllability of nonlinear time-varying systems: applications to spacecraft attitude control using magnetic actuation. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 2005, vol. 50, no. 11, pp. 1725–1735.
<https://doi.org/10.1109/tac.2005.858686>
- [3] Ovchinnikov M.Y., Roldugin D.S., Penkov V.I. et al. Fully magnetic sliding mode control for acquiring three-axis attitude. *Acta Astronautica*, 2016, vol. 121, pp. 59–62.
<https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2015.12.031>