

УДК 531.36:521.1

О стабилизации установившихся движений спутника-гиростата в гравитационном и магнитном полях

Каленова Вера Ильинична¹

kalenova44@mail.ru

Морозов Виктор Михайлович¹

moroz@imec.msu.ru

Тихонов Алексей Александрович²

a.tikhonov@spbu.ru

¹ НИИ механики МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия² Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт Петербург, Россия

Аннотация. Сформулированы условия существования положений равновесия и стационарных вращений спутников-гиростатов, движущихся по круговым орбитам в гравитационном и магнитном полях Земли. Определяются условия управляемости систем, линеаризованных в окрестности указанных движений.

Ключевые слова: спутник-гиростат, стационарные движения, гравитационное и магнитное поля Земли, управляемость, стабилизация

Введение. Исследование движения спутника-гиростата в гравитационном и магнитных полях является актуальной задачей, имеющей важное практическое значение. Управляемое движение спутника с маховиками и электромагнитными катушками рассматривается во многих работах [1, 2]. В данной работе изучаются два типа установившихся движений гиростата около центра масс на круговой орбите в гравитационном и магнитном полях Земли. Первый тип — это известные стационарные движения, которые существуют как при отсутствии моментов сил, обусловленных магнитным полем Земли, так и при наличии этих моментов. Второй тип — программные движения, которые имеют место только при наличии моментов взаимодействия спутника с геомагнитным полем. Предполагается, что моменты, действующие на спутник, образуются за счет взаимодействия собственного магнитного момента спутника (создаваемого электромагнитными катушками) с геомагнитным полем и момента сил Лоренца, возникающего при наличии на спутнике электрического заряда [3].

Методы и материалы; результаты. Рассматривается движение спутника-гиростата около центра масс в гравитационном и магнитном полях Земли. Центр масс спутника движется по круговой орбите. На спутнике установлены маховики, величины гиростатических моментов которых постоянны и обозначены через $\tilde{h}_1, \tilde{h}_2, \tilde{h}_3$. Маховики предполагаются симметричными, статически и динамически уравновешенными. Спутник оснащен экраном с электрическим зарядом и электромагнитными катушками.

Динамические уравнения движения спутника около центра масс имеют вид

$$\mathbf{J} \frac{d\tilde{\omega}}{dt} + \tilde{\omega} \times \mathbf{J} \tilde{\omega} + \tilde{\omega} \times \tilde{\mathbf{h}} = \mathbf{M}; \quad \mathbf{M} = \mathbf{M}^G + \mathbf{M}^M + \mathbf{M}^L. \quad (1)$$

Здесь $\mathbf{J}$ — тензор инерции спутника; $\mathbf{M}^G$ — гравитационный момент; $\mathbf{M}^M$ — момент сил, который создается за счет взаимодействия собственного магнитного момента спутника с геомагнитным полем; $\mathbf{M}^L$ — момент сил Лоренца, возникающий из-за наличия на спутнике электростатически заряженного экрана. В качестве математической модели магнитного поля Земли принята модель «прямого магнитного диполя».

Показано, что уравнения (1) допускают четыре типа положений относительного равновесия и указаны условия их существования. В одном из них главные центральные оси инерции гиростата совпадают с осями орбитальной системы координат. В трех других одна из осей инерции спутника направлена по одной из осей орбитальной системы координат. Получены условия реализации указанных положений равновесий и условия их управляемости. Проведено сравнение полученных результатов со случаями, когда магнитные моменты отсутствуют.

Исследованы стационарные вращения с постоянной угловой скоростью, в которых одна из главных центральных осей инерции направлена по одной из осей координат. Рассмотрено одно из возможных программных движений гиростата, в котором ось динамической симметрии фиксирована в орбитальной системе координат и составляет некоторый угол с радиус-вектором орбиты в плоскости, ортогональной касательной к орбите. Следует подчеркнуть, что в этом случае уравнения движения являются системой дифференциальных уравнений с периодическими коэффициентами.

Заключение. Сформулированы условия существования ряда установившихся движений спутников-гиростатов, движущихся по круговым орбитам в гравитационном и магнитном полях. Получены условия управляемости, необходимые для построения корректных алгоритмов стабилизации указанных движений. Показано, что наличие маховиков обеспечивает новые возможности для реализации установившихся движений, интересных для практических приложений.

Список источников

- [1] Овчинников М.Ю. и др. Движение спутника, оснащенного тангажным маховиком и магнитными катушками, в гравитационном поле. *Космические исследования*, 2017, № 3 (5), с. 217–225.
- [2] Ovchinnikov M. et al. Single axis stabilization of a fast rotating satellite in the orbital frame using magnetorquers and a rotor. *Acta astron.*, 2020, vol. 173, art. no. 1950201.
- [3] Aleksandrov A.Yu., Aleksandrova E.B., Tikhonov A.A. Stabilization of a programmed rotation mode for a satellite with electrodynamic attitude control system. *Advances in Space Research*, 2018, vol. 62, pp. 142–151.