

А. В. Седелников, Л. А. Манукян (Самара, Самарский национальный исследовательский ун-т им. академика С. П. Королёва). **Моделирование вращательного движения малого космического аппарата по измерениям магнитометров и датчиков угловой скорости.**

УДК 519657

DOI https://doi.org/10.52513/08698325_2024_31_1_1

Резюме: В работе сравниваются два метода оценки угловой скорости вращательного движения.

Ключевые слова: малый космический аппарат, вращательное движение, магнитометр, методическая погрешность, точность оценки угловой скорости.

В работе исследуется вращательное движение малого космического аппарата ISOI (SXC3-219). Данный космический аппарат представляет собой спутник дистанционного зондирования Земли с помощью гиперспектрометра [1]. Рассматривалось неуправляемое движение малого космического аппарата (неориентированный полет) и движение с управлением. Управление осуществлялось различными исполнительными органами. Для снижения угловой скорости вращения малого космического аппарата использовались магнитные исполнительные органы. Они работали по известному алгоритму « $-\dot{B}$ » [2]. Для поддержания орбитальной ориентации малого космического аппарата использовались двигатели-маховики. Они обеспечивали рабочий диапазон угловых скоростей ± 5 град/с при выполнении целевых задач.

Угловая скорость вращения космического аппарата измерялась датчиками угловой скорости и оценивалась с помощью измерений магнитометра двумя методами. Первый метод заключался в использовании формулы Бура [3]:

$$\begin{aligned}\omega_{x1} &= \frac{[B_{y1}(B_{z1} - B_{z0}) - B_{z1}(B_{y1} - B_{y0})]}{(t_1 - t_0)(B_{x1}^2 + B_{y1}^2 + B_{z1}^2)}; \\ \omega_{y1} &= \frac{[B_{z1}(B_{x1} - B_{x0}) - B_{x1}(B_{z1} - B_{z0})]}{(t_1 - t_0)(B_{x1}^2 + B_{y1}^2 + B_{z1}^2)}; \\ \omega_{z1} &= \frac{[B_{x1}(B_{y1} - B_{y0}) - B_{y1}(B_{x1} - B_{x0})]}{(t_1 - t_0)(B_{x1}^2 + B_{y1}^2 + B_{z1}^2)},\end{aligned}\tag{1}$$

где $\vec{B}_0(B_{x0}, B_{y0}, B_{z0})$ и $\vec{B}_1(B_{x1}, B_{y1}, B_{z1})$ — компоненты вектора индукции магнитного поля Земли, измеренные соответственно в моменты времени t_0 и t_1 в строительной системе координат магнитометров, а $\vec{\omega}_1(\omega_{x1}, \omega_{y1}, \omega_{z1})$ — компоненты вектора угловой скорости вращения малого космического аппарата в строительной системе координат магнитометра.

Поскольку оценка (1) не даёт проекцию угловой скорости на вектор индукции магнитного поля Земли, то использовалась другая модель, основанная на производных вектора индукции магнитного поля Земли:

$$\begin{aligned}\omega_{x1} &= \frac{\dot{B}_{y1}\dot{B}_{z0} - \dot{B}_{z1}\dot{B}_{y0}}{(t_1 - t_0)(\dot{B}_{x1}^2 + \dot{B}_{y1}^2 + \dot{B}_{z1}^2)}; \\ \omega_{y1} &= \frac{\dot{B}_{z1}\dot{B}_{x0} - \dot{B}_{x1}\dot{B}_{z0}}{(t_1 - t_0)(\dot{B}_{x1}^2 + \dot{B}_{y1}^2 + \dot{B}_{z1}^2)}; \\ \omega_{z1} &= \frac{\dot{B}_{x1}\dot{B}_{y0} - \dot{B}_{y1}\dot{B}_{x0}}{(t_1 - t_0)(\dot{B}_{x1}^2 + \dot{B}_{y1}^2 + \dot{B}_{z1}^2)},\end{aligned}\quad (2)$$

где $\vec{B}_0(\dot{B}_{x0}, \dot{B}_{y0}, \dot{B}_{z0})$ и $\vec{B}_1(\dot{B}_{x1}, \dot{B}_{y1}, \dot{B}_{z1})$ — компоненты производной по времени вектора индукции магнитного поля Земли, измеренные соответственно в моменты времени t_0 и t_1 в строительной системе координат магнитометров.

В результате проведенных исследований установлена хорошая сходимость оценок (1) и (2) между собой и с измерениями датчика угловой скорости при неориентированном полете с большой угловой скоростью. В режиме управления магнитные исполнительные органы искажают измерения магнитометров, существенно снижая точность оценок (1) и (2). В режиме орбитальной ориентации угловая скорость настолько мала, что приближённая формула Бура не может быть использована для точной оценки угловой скорости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Iuliev N., Podlipnov V., Petrov M., Tkachenko I., Ivanushkin M., Fomchenkov S., Markushin M., Skidanov R., Khanenko Y., Nikonorov A., Kazansky N., Soifer V.* 3U CubeSat-Based Hyperspectral Remote Sensing by Offner Imaging Hyperspectrometer with Radially-Fastened Primary Elements. — *Sensors*, 2024, v. 24(9), Art. № 2885.
2. *Sedelnikov A. V., Salmin V. V.* Modeling the disturbing effect on the Aist small spacecraft based on the measurements data. — *Scientific Reports*, 2022, v. 12, 1300.
3. *Lapshin V. V.* The equations of a solid body motion. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2021, 1191, 012011.

Поступила в редакцию
23.VI.2024

UDC 519.657

DOI https://doi.org/10.52513/08698325_2024_31_1_1

Sedelnikov A. V., Manukyan L. A.* (Samara, Samara National Research University named after Academician S. P. Korolev). **Simulation of the rotational motion of a small spacecraft based on measurements of magnetometers and angular velocity sensors.*

Abstract: The paper compares two methods for estimating the angular velocity of rotational motion.

Keywords: small spacecraft, rotational motion, magnetometer, methodological error, accuracy of angular velocity estimation.