

УДК 681.865.8

Єфименко М.В.<sup>1</sup>, Бойко Е.О.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> д-р техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

<sup>2</sup> студ. гр. РТ-612м НУ «Запорізька політехніка»

## **ДИНАМІЧНА КВАТЕРНІОНА МОДЕЛЬ РУХУ ВЕКТОРА І ЇЇ ЗАСТОСУВАННЯ У ЗАДАЧАХ УПРАВЛІННЯ ОРІЄНТАЦІЄЮ КОСМІЧНОГО АПАРАТУ**

В даний час найбільш ефективним способом отримання даних про поверхню Землі є супутникова зйомка. Для отримання високоякісних зображень земної поверхні система керування супутника має забезпечувати під час зйомки високі точнісні характеристики. Закони управління, що забезпечують високі точнісні характеристики системи управління, ґрунтуються на припущенні, що відомі всі параметри кутового руху космічного апарату (КА). При цьому найчастіше в якості параметрів кутового руху беруть кватерніон орієнтації та вектор абсолютної кутової швидкості. Вектор кутової швидкості можна виміряти за допомогою вимірювача кутової швидкості, але кватерніон безпосередньо виміряти неможливо. Практично у всіх системах орієнтації первинні дані про кватерніон орієнтації представлені у вигляді векторів. Векторні вимірювання є непрямыми вимірюваннями і в явному вигляді не містять параметрів орієнтації. Для визначення параметрів орієнтації векторні вимірювання піддаються математичній обробці за спеціальними алгоритмами. Основним недоліком всіх відомих алгоритмів визначення орієнтації за векторними вимірами є те, що вони вимагають застосування чисельних методів, що ускладнює їхнє застосування на борту КА. У зв'язку з цим цікавить задача побу-

дови заданої орієнтації КА безпосередньо за векторними вимірюваннями без визначення кватерніону орієнтації. Цим питанням і присвячено цю роботу.

В роботі отримано математичну модель руху вектора у вигляді кватерніонного диференціального рівняння  $\dot{\xi}_B = \mu_B + \alpha \xi_B$ , де  $\alpha$  – довільний параметр, який можна вибрати, виходячи з особливостей задачі керування.

Отримана модель аналогічна кватерніонній моделі [1] На основі отриманої моделі доведена наступна теорема.

**Теорема 1.** *Нехай обертальний рух космічного апарату задано рівнянням  $J\dot{\omega}_B^{BI} + \omega_B^{BI} \times (J\omega_B^{BI}) = M_u$ . Позначимо через  $\xi_I$  та  $e_B$  нерухомі орти в інерційній системі координат  $I$  та зв'язаній системі координат  $B$  відповідно. Будемо вважати, що на борту КА є інформація про вектор абсолютної кутової швидкості  $\omega_B^{BI}$  і проєкції вектора  $\xi$  на осі базису  $B$  в вигляді вектора  $\xi_B$ , вектор  $e_B$  постійний і задані його координати.*

*Тоді закон управління, де*

$$u = -\xi_B \times \xi_B \times \mu_B, \mu_B = -K_1 e - K_2 \xi_B,$$

$$e = \xi_B - e_B \quad \dot{\xi}_B = -\omega_B^{BI} \times \xi_B,$$

$$K_1 = \text{diag}(k_{1i}), K_2 = \text{diag}(k_{2i}), k_{1i} > 0 \quad k_{2i} > 0 \quad i = 1, 2, 3,$$

*забезпечує асимптотичну стійкість одновісної орієнтації  $\xi_B = e_B$ .*

На основі доведеної теореми запропоновано алгоритми одновісної орієнтації КА безпосередньо за векторними вимірюваннями без визначення кватерніону орієнтації.

При цьому, на відміну від відомих робіт [2], в яких для розв'язання задачі одновісної орієнтації використовувався прямий метод Ляпунова, вперше вдалося звести задачу знаходження управління до тривіальної задачі знаходження управління  $u$ , що забезпечує асимптотичну стійкість розв'язання системи  $\dot{e} = \mu_B$ .

Рівняння для вектора  $e$  є лінійним рівнянням з постійними коефіцієнтами і має дуже простий вигляд, що дозволяє при синтезі керування  $u$  застосувати добре розвинені методи теорії лінійних систем з постійними коефіцієнтами.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. N. Yefymenko, R. Kudermetov, Quaternion models of a rigid body rotation motion and their application for spacecraft attitude control, Acta Astronautica, 194 (2022) pp 76-82.

2. Лебедев Д.В., Ткаченко А.И. Системы инерциального управления. Алгоритмические аспекты. – Киев: Наукова думка, 1991. – 202 с.

Зав. кафедри

Микола ЄФИМЕНКО

Відповідальний на факультеті

Олександр ПИРОЖЕНКО