

УДК 681.5.01

Єфименко М.В.¹, Луценко Н.В.²

¹ гол. конструктор НВП "Хартрон-Юком", д.т.н., доцент

² старш. викл. НУ "Запорізька політехніка"

КВАТЕРНІОНІ МОДЕЛІ В ЗАДАЧАХ КЕРУВАННЯ ОРІЄНТАЦІЄЮ КОСМІЧНОГО АПАРАТА

Успіх у вирішенні завдань керування кутовим рухом КА багато в чому залежить від обраної моделі кутового руху КА. В даний час найпоширенішою є модель, в якій динаміка описується рівнянням Ейлера (1), а кінематика - кінематичним рівнянням в параметрах Родріга-Гамільтона (2):

$$J\dot{\omega} + \omega \times J\omega = M_u, \quad (1)$$

$$\dot{A} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 0 & -\omega^T \\ \omega & -\Phi(\omega) \end{bmatrix} \cdot A, \quad (2)$$

де ω – абсолютна кутова швидкість обертання КА; J – момент інерції КА; M_u – керуючий момент; A – вектор параметрів Родріга-Гамільтона (нормований кватерніон), що визначає кутове положення КА в просторі; $\Phi(\omega)$ – лінійний кососиметричний оператор векторного добутку, що визначається рівністю $\Phi(\omega) \square y = x \times y$.

Переваги моделі – відсутність обчислювальних особливостей і мінімальна надмірність вектора стану. Недоліки – нелінійність моделі, що істотно ускладнює синтез законів керування. Задачу синтезу можна істотно спростити, якщо при побудові керування в якості моделі кутового руху КА використовувати модель, побудовану на основі динамічних рівнянь обертального руху твердого тіла в параметрах Родріга-Гамільтона (3). У цьому випадку в якості компонентів вектора стану КА використовуються параметри Родріга-Гамільтона і їх похідні [1-4].

$$\ddot{A} = (I_4 - AA^T)U - \|\dot{A}\|^2 A. \quad (3)$$

У зазначених роботах математична модель обертального руху КА є векторне диференціальне рівняння і описується із застосуванням апарату векторно-матричного обчислення. Параметрам Родріга-Гамільтона можна поставити у відповідність гіперкомплексне число – кватерніон зі скалярною частиною λ_0 і векторної частиною λ :

$$A = \lambda_0 + \lambda; \quad \lambda = (\lambda_1 \quad \lambda_2 \quad \lambda_3)^T.$$

У доповіді розглянуті питання опису обертального руху твердого тіла з застосуванням кватерніонів і отримані кватерніонні диференціальні рівняння для опису, яких використовується тільки кватерніонне обчислення. На прикладі рішення задачі стабілізації та задачі термінальної переорієнтації показано, що застосування розроблених моделей істотно спрощує задачу синтезу керування, яка в цьому випадку зводиться до синтезу керування для системи, що є сукупністю інтегруючих ланок другого порядку. У багатьох випадках для таких систем задачу синтезу має аналітичне рішення.

Отримані при цьому алгоритми керування реалізуються значно простіше, ніж алгоритми, отримані при використанні традиційної моделі

Запропонований підхід пройшов експериментальну перевірку в системі керування КА «Egyptsat-1» і показав свою високу ефективність (рис. 1,2).

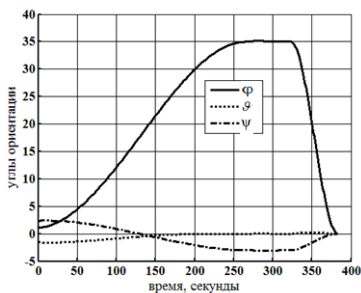


Рисунок 1 - КА «Egypstsat-1».
Трасова зйомка. Кути орієнтації

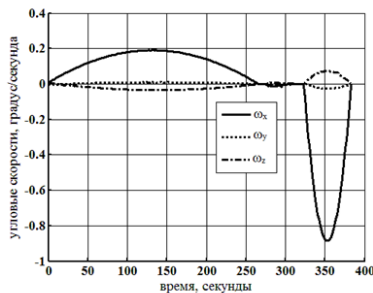


Рисунок 2 - КА «Egypstsat-1».
Трасова зйомка. Кутові швидкості

Робота може бути корисною для фахівців, що займаються створенням систем керування КА.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ефименко Н.В. Синтез алгоритмов управления пространственной пере-ориентацией космического аппарата с использованием динамических уравнений вращательного движения твердого тела в параметрах Родрига-Гамильтона / Н.В. Ефименко // Проблемы управления и информатика. 2015. № 3. С. 145–155.
2. Ефименко Н.В. Синтез оптимального по времени пространственного разворота космического аппарата с использованием динамического уравнения вращательного движения твердого тела в параметрах Родрига-Гамильтона / Н.В. Ефименко // Проблемы управления и информатика. 2017. № 3. С. 109–128.
3. Ефименко Н.В. Математическая модель углового движения космического аппарата в параметрах Родрига-Гамильтона и ее свойства / Н.В. Ефименко // Электронное моделирование. 2018. Т.4. № 6. С. 21–36.
4. Ефименко Н.В. Управление переориентацией космического аппарата посредством маховиков // Проблемы управления и информатики. 2008. №5. С. 121-128.