

## **СИСТЕМА ОРІЄНТАЦІЇ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ НАНОСУПУТНИКІВ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ МАРСУ**

**Явіся В.С., Лисенко О.І., Гетьман О.В.**

*Навчально науковий Інститут телекомунікаційних систем*

*КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*

*E-mail: [yavisya42@gmail.com](mailto:yavisya42@gmail.com)*

### **ORIENTATION SYSTEM FOR TELECOMMUNICATION NANOSATELLITES FOR MARS RESEARCH**

An analysis of the ways of orientation and stabilization of telecommunication nanosatellites for the study of Mars. Known methods are evaluated in terms of their practical implementation with restrictions on weight, size and energy consumption. A complex method of orientation and stabilization of telecommunication nanosatellites is proposed, which additionally allows to change their orbit.

На сьогодні існує багато проектів щодо колонізації та дослідження Марсу. Після розгортання першого поселення на Марсі передбачається вирішення завдань, щодо дослідження його поверхні. Отже необхідно потурбуватися про створення системи зв'язку та навігації для дослідників, яким необхідно віддалятися від базового поселення на значні відстані.

Доцільним буде застосування супутникових засобів. В такому разі процес виведення супутників на орбіту Марсу не вимагатиме запуску ракет-носіїв з поверхні планети. Супутники зв'язку можуть там опинитись практично одразу після від'єднання від корабля, що здійснює доставку вантажів, на етапі наближенні його до Марсу.

З погляду на це, одним з можливих варіантів побудови системи супутникового зв'язку на Марсі, розглядається використання угруповання, що складається з наносупутників (НС).

Для виконання функцій, що покладаються на окремий НС необхідно передбачати засоби керування положенням НС на його орбіті.

Взагалі завдання орієнтації й стабілізації вирішується двома методами [1]: пасивним та активним. На відміну від активних, пасивні методи (гравітаційний, аеродинамічний, тиском сонячних променів, обертанням) не вимагають витрат енергії, яку необхідно запасати на борті НС. Активні методи стабілізації реалізують за допомогою двигунів-маховиків, моментного магнітоприводу або реактивних двигунів (РД). Причому РД вимагають наявності на борту значних запасів палива, тому останнім часом широко застосовують іонні двигуни (ІД), для роботи яких необхідна на порядок менша кількість палива, ніж для звичайних РД.

Коли НС вирішує завдання, не пов'язані з необхідністю змінювати просторове розташування протягом усього строку експлуатації, доцільно впроваджувати пасивні методи. В інших випадках, наприклад при використанні

НС в якості елемента системи супутникового зв'язку, обґрунтованим буде застосування активних методів, оскільки вони, окрім стабілізації, здатні забезпечити зміну орієнтації всього НС або його зовнішніх конструктивних елементів впродовж коротких інтервалів часу. Таким чином, система орієнтації телекомунікаційного НС повинна будуватись на активних методах.

Потрібно зазначити, що в наслідок фактичної відсутності магнітного поля на Марсі, активні методи, які використовуються для стабілізації й орієнтації НС можуть бути лише двох типів: на основі двигунів-маховиків та з РД.

Для оцінки ефективності активних методів орієнтації зробимо ряд уточнень. НС стандарту CubeSat являє собою куб з ребром  $R=0,1$  м та масою близько  $m_{нс} = 3$  кг. При використанні двигунів-маховиків на одній осі розташовується два маховики, які працюватимуть синхронно. ІД розташовуються на краю поверхні певних сторін CubeSat. Оскільки, для системи на двигунах-маховиках зміна швидкості обертання маховиків відбувається майже миттєво, при розрахунках цей час можна не враховувати. У свою чергу робота системи з ІД фактично відбувається в два за тривалістю етапи – на першому відбувається розгін НС до певної кутової швидкості обертання, а на другому – його гальмування [2].

Тоді, можна показати, що кут повороту НС навколо певної осі для різних систем орієнтації визначають наступні вирази:

- для системи на двигунах-маховиках:

$$\alpha_{нс}(t) = 3 \frac{m_m r^2}{m_{нс} R^2} \omega_m t \quad (1)$$

де  $m_m$  – маса маховика;  $r$  – радіус диска маховика;  $\omega_m$  – швидкість обертання маховика;

- для системи з ІД:

$$\alpha_{нс}(t) = \frac{3F}{4m_{нс} R} t^2 \quad (2)$$

де  $F$  – сила, що розвивається ІД.

Зазначимо, що для системи на двигунах-маховиках кут обертання є лінійною функцією часу, а для системи з ІД – залежність квадратична. Для порівняння активних систем були обрані наступні значення параметрів, що входять до формул (1-2):  $m_m = 0,02$  кг,  $r = 0,03$  м,  $\omega_m = 1,16$  рад/с (в середньому 4000 обертів за хвилину),  $F = 100$  мкН.

Часова залежність величини кута повороту для певної системи із урахуванням зазначених вище допущень представлена на рис. 1.

Виходячи з характеристик, які наведені на рис. 1, можна заключити, що обидві системи володіють приблизно однаковими можливостями на інтервалі часу до 15 с, впродовж якого кутове положення НС змінюється майже на 0,7 рад або 4 градуси. Причому добір параметрів та аналіз проведений за умови, що системи мають близькі ваго-габаритні характеристики та показники енергоспоживання. Повний оберт навколо певної вісі відбудеться менш ніж за

дві хвилини. Зазвичай такої швидкодії системи орієнтації для телекомунікаційного НС цілком достатньо. Але кожна із систем має певні недоліки: системи на двигунах-маховиках потребують періодично здійснювати їх розвантаження, а системи з ІД мають ресурс роботи, який обмежений запасами палива.

З погляду на це обґрунтованим буде одночасне використання обох систем. Наприклад, орієнтацію може забезпечувати система на двигунах-маховиках, а їх розвантаження буде виконуватись системою з ІД. Зазначимо, що лише компактні іонні прискорювачі дозволять НС змінювати орбітальну позицію або утримуватись на ній тривалий час.

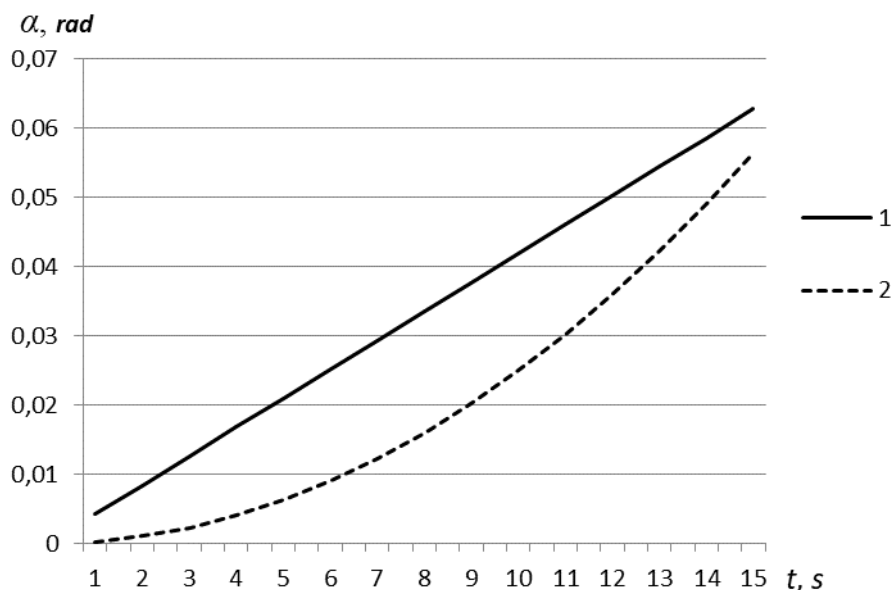


Рис . 1. Часова залежність величини кута повороту НС: 1 – для системи на двигунах-маховиках, 2 – для системи з ІД.

Також двигуни малої тяги можуть використатися для керованого сходу з орбіти ушкоджених НС. Отже, оскільки системи орієнтації на двигунах-маховиках не дозволяють здійснювати зміни орбіти НС, доцільним є використання комбінованої системи, яка складається з двигунів-маховиків та ІД. Двигуни-маховики дозволяють вирішувати завдання стабілізації й орієнтації. ІД будуть задіяні, в основному, для періодичного розвантаження двигунів-маховиків та забезпечать можливість зміни орбіти НС, що в цілому дозволить значно збільшити їхній термін служби, а також здійснювати плановий відхід з орбіти по закінченні експлуатації.

### Література

1. Явіся В.С. Гібридна система орієнтації телекомунікаційних наносупутників // Тринадцята міжнародна науково-технічна конференція «Перспективи телекомунікацій». Матеріали конференції. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2019. – С. 273-275.
2. Явіся В.С., Лысенко А.И. Анализ методов ориентации и стабилизации наноспутника // Науковий вісник Академії Муніципального Управління, Збірник наук. праць АМУ. Серія «Техніка». – Вип.1-2(11)–2016. – К.: АМУ, 2016. – С. 262–270.