

ГІБРИДНА СИСТЕМА ОРІЄНТАЦІЇ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ НАНОСУПУТНИКІВ

Явіся В.С.

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: yavisya@bigmir.net*

Hybrid system of telecommunication nanosatellites orientation

An analysis of the ways of orientation and stabilization of nanosatellites is carried out. Known methods are evaluated for the possibility of their practical implementation with restrictions on weight, dimensions, energy consumption. The hybrid method of orientation and stabilization is proposed, which allows to change the orbit of such spacecraft.

За останні роки завдяки мініатюризації електронних компонентів відбувається стрімкий розвиток нового виду космічної техніки – наносупутників (НС). Сфера їх застосування в перспективі виявляється навіть ширше, ніж звичайних супутникових платформ. Ряд застосувань НС можливий тільки у випадку рішення завдання забезпечення стабільного та керованого положення НС на орбіті.

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 супутника. Активні методи стабілізації реалізують за допомогою двигунів-маховиків, моментного магнітопривіду 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.

Можливість застосування однієї з перерахованих систем стабілізації залежить від сукупності вимог до НС, які випливають з його призначення.

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 в продовж коротких інтервалів часу. Таким чином, система орієнтації телекомунікаційного НС повинна будуватись на активних методах.

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. При реалізації

моментного магнітопривіду для орієнтації по одній осі необхідне застосування двох котушок, розташованих під прямим кутом одна відносно іншої. 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 систем з моментним магнітопривідом та з ІД фактично відбувається в два однакові за тривалістю етапи – на першому відбувається розгін до певної кутової швидкості обертання, а на другому – 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; ω_m – швидкість обертання маховика;

- для системи з моментним магнітопривідом:

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

де I – струм котушки; p – число витків котушки; S – площа рамки котушки; B – індукція магнітного поля Землі;

- для системи з ІД:

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

де F – сила, що розвивається ІД.

Зазначимо, що для системи на двигунах-маховиках кут обертання є лінійною функцією часу, а для систем з моментним магнітопривідом та з ІД – залежність квадратична. Для порівняння активних систем були обрані наступні значення параметрів, що входять до формул (1-3): $m_m = 0,02$ кг, $r = 0,03$ м, $\omega_m = 1,16$ рад/с (в середньому 4000 обертів за хвилину), $I = 0,43$ А, $p = 100$, $S = 0,005$ м², $B = 30$ мкТл, $F = 100$ 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 всі три 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 осі 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; системи із моментним магнітопривідом не забезпечують

одночасну тривісну орієнтацію, що пов'язано із структурою магнітного поля Землі; системи з ІД мають ресурс роботи, який обмежений запасами палива.

З погляду на це обґрунтованим буде одночасне використання хоча б двох систем. Наприклад, орієнтацію може забезпечувати система на двигунах-маховиках, а їх розвантаження буде виконуватись моментним магнітопривідом. Однак, лише компактні іонні прискорювачі дозволять НС змінювати орбітальну позицію або утримуватись на ній тривалий час.

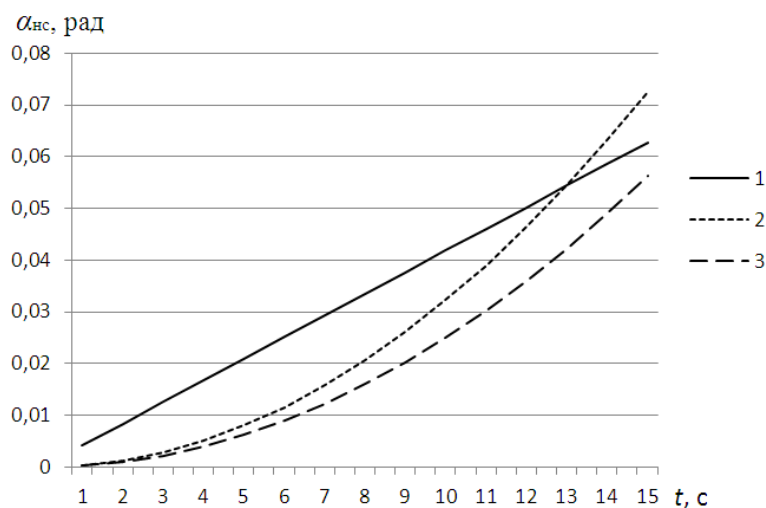


Рис . 1. Часова залежність величини кута повороту НС: 1 – для системи на двигунах-маховиках, 2 – для системи із моментним магнітопривідом, 3 – для системи з ІД.

Також двигуни малої тяги можуть використатися для керованого сходу з орбіти ушкоджених НС. Це змусить їх згоряти в атмосфері Землі й частково вирішить проблему космічного сміття. Оскільки системи орієнтації на двигунах-маховиках та магнітних виконавчих органах не дозволяють здійснювати зміни орбіти НС, найбільш доцільним буде використання комбінованої системи, яка може бути реалізована в двох варіантах. В першому, вона складається з двигунів-маховиків та ІД, в другому – з магнітних котушок та ІД. Двигуни-маховики або магнітні котушки дозволяють вирішувати завдання стабілізації й орієнтації. ІД в першому варіанті реалізації будуть задіяні, в основному, для періодичного розвантаження двигунів-маховиків, в другому – для допомоги системі з моментним магнітопривідом виконувати одночасну тривісну орієнтацію. Але в обох варіантах ІД 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. Левантовский В. И. Механика космического полета в элементарном изложении. – М.: Наука, 1980. 512 с.
2. Явися 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.