

## ЕНЕРГЕТИЧНИЙ РОЗРАХУНОК 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*

### ENERGY CALCULATION OF TELECOMMUNICATION NANOSATELLITES FOR MARS STUDY

When using nanosatellites to create a satellite communications system in the study of Mars, it is necessary to provide them with power. The calculation of the specific energy consumption of the main systems is performed and the format of such telecommunication nanosatellites is proposed.

В процесі колонізації Марсу для дослідників його поверхні необхідно створити системи зв'язку та навігації. Сьогодні вже існують пропозиції створення таких систем з використанням угруповань наносупутників (НС) [1].

До складу космічного сегменту такої системи буде входити певна кількість НС. Саме за рахунок використання НС підвищується надійність усієї системи, оскільки втрата або вихід з ладу окремих НС незначним чином вплине на характеристики всього угруповання.

За функціональним призначенням НС угруповання будуть відрізнятися. При кластерній побудові системи, до складу кластеру будуть входити НС для зв'язку із абонентськими терміналами, НС для концентрації і комутації навантаження всередині кластеру, НС зв'язку із сусідніми кластерами, а також для зв'язку із станцією на поверхні Марсу. Причому більша частина з них необхідна для створення зон обслуговування на поверхні Марсу.

Виконання такого завдання потребує вирішення питання енергозабезпечення обладнання НС. Зазвичай, основними споживачами є приймально-передаюче обладнання та система орієнтації НС [2].

Тому спочатку визначмо відстань від НС кластеру до межі зони обслуговування на поверхні Марсу, яка позначена  $a$  на рисунку 1. Зазначимо, що  $h$  – висота орбіти кластеру НС.

Довжина поверхні планети в екваторіальному поясі:

$$l_M = 2\pi R, \quad (1)$$

де  $R$  – радіус Марсу, складає  $l_M=21264$  км.

Кут  $\alpha$  знайдемо з виразу:

$$\alpha = 2\pi / \left( \frac{l_M}{r_K} \right) \quad (2)$$

де  $r_K$  – радіус зони обслуговування кластером НС.

Тоді, відповідно до теореми косинусів, відстань  $a$  визначається:

$$a = \sqrt{R^2 + (R + h)^2 - 2R(R + h) \cos \alpha} \quad (3)$$

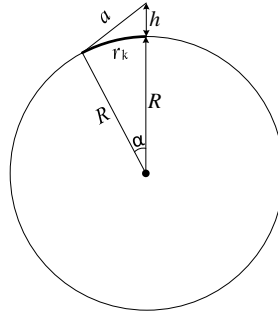


Рис. 1. До визначення відстані від НС кластеру до межі зони обслуговування на поверхні Марсу.

Для формування діаграми спрямованості НС для зв'язку із абонентськими терміналами пропонується використовувати спіральну конічну антену.

Ширина діаграми спрямованості окремого НС за теоремою косінусів в позначеннях рис. 1, визначається:

$$\theta = \arccos \left( \frac{a^2 + (R+h)^2 - R^2}{2a(R+h)} \right) \quad (4)$$

Якщо висота орбіти НС – 700 км, радіус зони обслуговування окремого НС – 650 км, то ширина діаграми спрямованості  $\theta = 53$  градуси.

Для середньої частоти взаємодії НС і абонентського терміналу 1,6 ГГц при довжині антени  $l=18$  см та діаметрі спіралі  $d=6$  см, підсилення становить  $G=9-11$  дБ. У згорнутому стані така антена являє собою пружину, що займатиме об'єм близько  $V=0,9$  см<sup>3</sup>, тобто 0,9 % від загального об'єму CubeSat-1.

Загасання для ідеальної ізотропної антени у вільному просторі визначається:

$$L = 32,4 + 20 \lg(f) + 20 \lg(d), \quad (5)$$

де  $f$  – частота в МГц,  $d$  – відстань в км.

Тому в центрі зони обслуговування кластеру (відстань до 1000 км) загасання становить  $L = 156$  дБ.

Чутливість сучасних приймачів терміналів персонального супутникового зв'язку близько  $-118$  дБ. Враховуючи підсилення антени до  $G=11$  дБ, втрати, що пов'язані із формуванням спіральною антеною сигналу із круговою поляризацією порядку 3 дБ, а також можливі втрати в атмосфері до 3 дБ, потужність випромінювання із «запасом» в 3 дБ повинна становити:

$$P = 156 - 118 - 11 + 3 + 3 + 3 = 36 \text{ дБ},$$

тобто 4 Вт. Коефіцієнт корисної дії (ККД) передавача, як правило, не перевищує 30%, що відповідає потужності споживання 14 Вт. Додатково для роботи приймача потрібно 5 Вт.

При цьому необхідно врахувати той факт, що частина електричної потужності витрачається на підзарядку акумулятора, який забезпечує роботу НС під час знаходження його в тіні Марсу.

Необхідне взаємне розташування променів НС в кластері можна

забезпечити лише при керованому польоті НС. Тому на кожному НС необхідно мати систему орієнтації та стабілізації. Доцільно використовувати систему, яка буде складатись з двигунів-маховиків, що дозволяють вирішувати безпосередньо завдання стабілізації й орієнтації, а також іонних двигунів, які будуть задіяні, в основному, для розвантаження двигунів-маховиків та зміни орбіти НС. Це дозволить здійснити конфігурування взаємного розташування НС в кластері, значно збільшити термін служби НС та здійснювати їх плановий відхід з орбіти по закінченні експлуатації. Ця система також забезпечить необхідне положення сонячних батарей відносно Сонця. Всього система стабілізації споживає до 8 Вт.

Виходячи з цього, сонячна батарея повинна забезпечити потужність живлення близько 45 Вт.

Середнє значення сонячної постійної для Землі дорівнює  $1367 \text{ Вт/м}^2$ , оскільки відстань від Сонця до Марсу є більшою – 1,524 астрономічної одиниці, то сонячна постійна для Марсу складе близько  $590 \text{ Вт/м}^2$ . На сьогодні переважна більшість виробників сонячних батарей представляють продукцію з ККД, що не перевищує 20-35%. За умов розташування поверхні сонячної батареї НС перпендикулярно напрямку поширення сонячних променів (із допуском на незначне відхилення до 15 градусів), електрична потужність, яка виробляється, може бути знайдена:

$$P = 590 \times \eta \times S \quad (6)$$

де  $\eta$  – коефіцієнт корисної дії сонячної батареї;  $S$  – площа поверхні сонячної батареї.

Для отримання необхідної потужності живлення площа поверхні сонячної батареї повинна бути не меншою, ніж:

$$S = \frac{P}{590 \times \eta} \quad (7)$$

тобто  $S = 0,38 \text{ м}^2$ . Стандартний розмір НС формату *CubeSat-1* – куб із стороною 10 см. За умови використання двох симетричних батарей, одна сторона якої дорівнює зазначеним 10 см, інша, за умови округлення розрахункового значення у більший бік, кратний 10 см – повинна мати довжину близько 2 м.

Виходячи з цього та враховуючи необхідність наявності акумулятора у конструкції НС, його формат можна визначити як *CubeSat-3*. Загальна вага такої конструкції буде знаходитись в межах 9 кг.

### Література

1. Monitoring System and Fixed Communication on the Basis of Nanosatellites. Lysenko, A., Yavisiya, V., Alekseeva, I., Tureichuk, A. 2018 International Scientific-Practical Conference on Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2018 - Proceedings, 2019, p. 495–498.
2. Явісія В.С. Енергетичний розрахунок телекомунікаційних наносупутників // Тринадцята міжнародна науково-технічна конференція «Перспективи телекомунікацій». Матеріали конференції. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2019. – С. 276-278.