

## ЕНЕРГЕТИЧНИЙ РОЗРАХУНОК ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ НАНОСУПУТНИКІВ

Явіся В.С.

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

### Energy calculation of telecommunication nanosatellites

When using nano satellites to create a satellite communication system, it is necessary to ensure their operation by the appropriate power plant. The calculation of the specific energy consumption of the main telecommunication nanosatellite systems was carried out and the format of the power plant was proposed.

Існуючі системи супутникового зв'язку (ССЗ) умовно можна розділити на дві групи за орбітальною ознакою, тобто низькоорбітальні та геостаціонарні. Причинами стримування подальшого розвитку геостаціонарних ССЗ є: перенасиченість геостаціонарної орбіти, не спроможність створення глобального покриття поверхні Землі, і головне – значна затримка сигналів, а відповідно – складність забезпечення нормативної якості обслуговування. Низькоорбітальні ССЗ не мають зазначених недоліків.

В перспективі такі системи замість крупно габаритних космічних апаратів можуть використовувати наносупутники (НС) формату *CubeSat*. До складу космічного сегменту буде входити кілька тисяч НС. При цьому підвищується надійність усієї системи, оскільки втрата або вихід з ладу окремих НС незначним чином вплине на характеристики такого низькоорбітального угруповання. За функціональним призначенням НС поділяються на декілька груп, але більша частина з них необхідна для створення зон обслуговування на поверхні Землі.

Виконання такого завдання потребує певного енергозабезпечення. Зазвичай, основними споживачами є приймально-передаюче обладнання та система орієнтації НС.

Антенні системи НС повинні забезпечити формування парціальних променів, які створюють зону покриття діаметром близько 700 км, як, наприклад, це здійснюють низькоорбітальні супутники *Iridium NEXT*. Функціонально один апарат *Iridium NEXT* можна замінити певною кількістю НС. При використанні такого кластеру НС, ширина діаграми спрямованості окремого НС буде залежати від місця зони, яку він обслуговує, в межах зони відповідальності всього кластеру (покриття діаметром понад 4000 км) [1].

Зазвичай для формування такої спрямованої діаграми можна використати фазіровану антенну решітку або параболічну антену. Але такий підхід виявляється неприйнятним у випадку застосування НС в наслідок значних ваго габаритних показників зазначених антен. Тому для формування діаграми спрямованості пропонується використовувати спіральну конічну антену. За

умови знаходження НС на висоті 750 км для покриття зони діаметром 700 км, необхідна антена із шириною діаграми  $\theta = 50^\circ$ . Для середньої частоти взаємодії НС і абонентського терміналу 1,6 ГГц при довжині антени  $l=21$  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  $V=11$  см<sup>3</sup>, тобто 1,1 % від загального об'єму *CubeSat-1*. Антени НС, що формують парціальні промені на межі зони обслуговування кластеру, повинні забезпечити ширину діаграми спрямованості до  $\theta = 30^\circ$ , при цьому підсилення становить  $G=13-15$  дБ, але довжина антени збільшиться до  $l=56$  см при тому ж діаметрі. Тоді у складеному вигляді об'єм антени збільшиться майже у 2,5 рази. [2].

Відповідно до [3], загасання для ідеальної ізотропної антени у вільному просторі визначається:

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

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

Тому на межі зони обслуговування кластеру (відстань понад 1500 км) загасання становить  $L = 160$  дБ.

Чутливість сучасних приймачів терміналів персонального супутникового зв'язку близько  $-118$  дБ. Враховуючи підсилення антени до  $G=15$  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:

$$P = 160 - 118 - 15 + 3 + 3 + 3 = 36 \text{ дБ},$$

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.

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 комбіновану систему, яка буде складатись з магнітних котушок або двигунів-маховиків, що дозволяють вирішувати безпосередньо завдання стабілізації й орієнтації, а також іонних двигунів, які будуть задіяні, в основному, для 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 близько 4-8 Вт [4].

При цьому необхідно врахувати той факт, що частина електричної потужності витрачається на підзарядку акумулятора, який забезпечує роботу НС під час знаходження його в тіні Землі. Виходячи з цього, сонячна батарея повинна забезпечити потужність живлення на рівні 45 Вт [5].

Потужність потоку сонячного випромінювання на вході в атмосферу Землі, складає близько 1366 ват на квадратний метр [6]. На сьогодні переважна більшість виробників сонячних батарей представляють продукцію з ККД, що не

перевищує 20%. [7], хоча є заяви про нові гелієві сонячні панелі, виготовлені із застосуванням нанотехнологій та нових напівпровідникових матеріалів з ККД до 35% [8].

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:

$$P = 1366 \times \eta \times S$$

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:

$$S = \frac{P}{1366 \times \eta},$$

тобто  $S = 0,165 \text{ м}^2$ . 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 90 см.

Виходячи з цього та враховуючи необхідність наявності акумулятора у конструкції НС, його формат можна визначити як *CubeSat-2*, коли в одному кубі із стороною 10 см будуть розташовані елементи енергоустаткування (сонячні батареї та акумулятор), а в іншому – обладнання відповідно до функціонального призначення.

## Література

1. Wind-sail, сайт компанії. Космический сегмент спутниковой связи Иридиум. /Электронный ресурс/ <https://wind-sail.ru/equipment/svyaz/sistema-mobilnoj-sputnikovoj-svjazi-iridium>.
2. Неганов Н.А., Клюев Д.С., Табаков Д.П. Устройства СВЧ и антенны. Теория и техника антенн. Часть 2. – М.: Едиториал УРСС, 2016. – 728 с.
3. Рекомендації Міжнародного союзу електрозв'язку ІТУ-R Р.525-2.
4. 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.
5. Явіся В.С., Лисенко О.І., Петрова В.М. Оцінка питомого енергоспоживання телекомунікаційними наносупутниками // XI Науково-практична конференція «Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення. Застосування підрозділів, комплексів, засобів зв'язку та автоматизації в операції Об'єднаних сил». Доповіді та тези доповідей. – К.: ВІПІ. – 2018. – С. 240.
6. Энциклопедия по машиностроению XXL /Электронный ресурс/ <http://mash-xxl.info/info/495944>.
7. Альтернативная энергетика /Электронный ресурс/ [http://b-eco.ru/solar\\_panels](http://b-eco.ru/solar_panels).
8. Солнечные батареи в космическом пространстве /Электронный ресурс/ <http://solarb.ru/solnechnye-batarei-v-kosmicheskom-prostranstve>.