

СТРУКТУРА РОЗПОДІЛЕНОГО ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОГО СУПУТНИКА

Явіся В.С., Лисенко О.І.

Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

E-mail: yavisya@bigmir.net

STRUCTURE OF DISTRIBUTED TELECOMMUNICATION SATELLITE

Large spacecraft will not be able to burn completely in the atmosphere. Therefore, it is proposed to build a spacecraft in the form of a distributed satellite, which consists of a group of nanosatellites. When using low orbits, the proposed solution generally increases the reliability of the entire system. It is also possible to gradually upgrade the space segment.

Для забезпечення самоочищення космосу та вирішення проблеми космічного сміття доцільно використовувати низькі орбіти. Однак при цьому космічні апарати (КА) великих розмірів не зможуть повністю згоріти в атмосфері. Тому для створення системи супутникового зв'язку (ССЗ) пропонується побудова КА у вигляді розподіленого супутника, який складається з угруповання наносупутників (НС).

Для визначення структури розподіленого супутника пропонується розглянути найбільш відому низькоорбітальну ССЗ *Iridium*. В ній функціонують понад 70 супутників, 66 з яких є активними. Вони розміщуються на 6-ти приполярних орбітах. Розроблений для цієї мережі механізм між супутникових зв'язків дозволяє передавати сигнал з одного супутника на інший без ретрансляції цього сигналу на Землю. У наземний сегмент входять дві центральні станції управління і контролю. Вони здійснюють управління орбітальним угрупованням КА, забезпечують синхронізацію ССЗ, організовують групові тракти передачі [1, 2].

Антенні системи КА *Iridium NEXT* формують 48 парціальних променів, які створюють загальну зону покриття діаметром понад 4000 км. Одна зона має діаметр близько 700 км.

Для виключення дублювання від сусідніх космічних апаратів частина променів виводиться з активного режиму роботи. В середньому кожен апарат створює близько 32 парціальних променів (сот) [3].

Середня пропускна здатність при використанні смуги частот 10,5 МГц для зв'язку між мобільним терміналом і супутником становить понад 110 каналів на одну соту поверхні Землі [3]. Для обслуговування абонентів можливості апарата дозволяють створити до 5700 телефонних каналів, але їх реальна кількість становить близько 3840. Враховуючи таке обмеження, в мережі на супутниках *Iridium NEXT* можливе одночасне обслуговування 253440 абонентів.

Пропонується створити НС угруповання, яке буде складатись з кластерів. Кожен кластер за об'ємом виконуваних функцій буде аналогічним супутнику

системи *Iridium*. За таких умов, для створення глобальної системи супутникового зв'язку необхідно буде розташувати на шести орбітах мінімум 66 кластерів НС (по 11 на кожній орбіті).

Склад кластеру із НС може бути не однорідним з погляду на функції, що виконуються окремими апаратами: основна частина НС може використовуватися для зв'язку із абонентськими терміналами, інші – для концентрації і комутації навантаження всередині кластеру, зв'язку із сусідніми кластерами НС, які розташовані на власній та суміжних орбітах, а також для зв'язку із наземними станціями. Оскільки відстань між НС кластеру складає лише кілька десятків метрів, взаємодія між ними може здійснюватися за допомогою *Wi-Fi* або оптичного сигналу [4]. Склад кластеру пояснює рис.1.

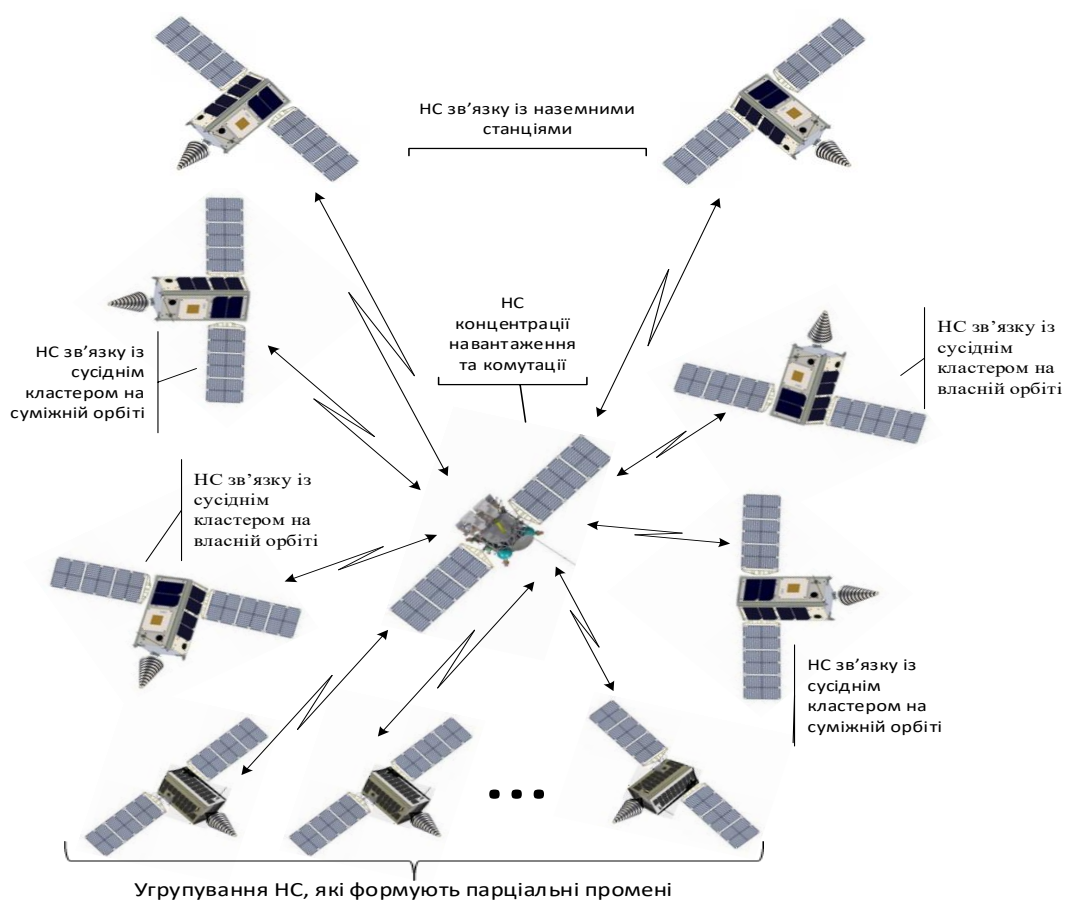


Рис.1. Склад кластеру із НС.

Мінімальна кількість НС у одному кластері визначиться наступним чином. Для зв'язку із абонентськими терміналами, за умови формування одним НС одного парціального променя, потрібно 32 апарати. Функцію концентрації і комутації навантаження всередині кластеру буде виконувати один НС (бажано із дублюванням). Для зв'язку із іншими кластерами на власній та суміжних орбітах – чотири НС, для зв'язку із наземними станціями – два НС. Таким чином, для виконання функцій аналогічних за обсягом тим, що виконує супутник *Iridium NEXT*, в кластері повинно бути не менше 40 НС.

При побудові ССЗ на базі кластерів НС, яка є схожою на систему *Iridium* та має лише шість орбіт, потрібно зазначити, що вони повинні знаходитись на

висоті близько 350 км. При менших висотах внаслідок кривизни Землі не можливо забезпечити покриття діаметром 4000 км, а тому необхідно збільшувати кількість орбіт, що приведе к збільшенню вартості системи та ускладненню управління нею.

Для формування діаграми спрямованості, яка забезпечить обслуговування території, що за площею співвідноситься із зоною обслуговування одного парціального променя супутника *Iridium NEXT*, 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 пропонується використовувати спіральну конічну антену.

За умови знаходження НС на висоті 350 км для покриття зони діаметром 700 км, залежно від розташування такої зони відносно кластеру НС необхідна антена із шириною діаграми спрямованості θ від 30° до 60° . Для середньої частоти взаємодії НС і абонентського терміналу 1,6 ГГц та діаметрі спіралі $d=6$ см при $\theta=60^\circ$ довжина антени $l=13$ см, її підсилення становить $G=7-8$ дБ. У згорнутому стані така антена являє собою пружину, що займатиме об'єм близько $V=8$ см³, тобто 0,8 % від загального об'єму НС формату *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 4 рази [4].

Такий підхід дозволяє вирішити питання створення спрямованої діаграми для НС при мінімальних ваго габаритних показниках антенної системи.

Використання розподіленого супутника дозволяє підвищити надійність усієї системи, оскільки втрата або вихід з ладу окремих НС незначним чином вплине на характеристики угруповання, а у випадку часткового резервування НС в кластері такі події можуть бути повністю нівельовані. Немаловажним є і той факт, що з'являється можливість поетапного оновлення космічного сегменту.

Література

1. SatcomDV. Информация о системах спутниковой связи. /Електронний ресурс/ http://www.satcomdv.ru/informaciya_o_sistemah_sputnikovoj_sa.
2. Alexander Lysenko, Valerii Yavisya, Andrii Tureichuk, Irina Alekseeva. Monitoring system and fixed communication on the basis of nanosatellites //2018 5th International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T). October 10-13, 2018, Kyiv, Ukraine, pp. 495-498.
3. Satlink. Технические характеристики спутниковой системы связи Iridium /Электронный ресурс/ http://www.satlink.ru/Spytnikovaia_sviaz/Iridium/Tehnicheskie_harakteristiki.html.
4. Lysenko, O.I., Tachinina, O.M., Yavisya, V.S., Alekseeva, I.V. Concept of construction of satellite communication and navigation system clear space. IEEE 6th International Conference, «Methods and systems of navigation and motion control», Kyiv, Ukraine, October, 22-24, 2020).– K.: NAU, 2020. – pp. 110–113.