

ВИКОРИСТАННЯ КОНЦЕПЦІЇ РОЗПОДІЛЕНОГО СУПУТНИКА ДЛЯ ПОБУДОВИ КОСМІЧНОГО СЕГМЕНТУ СИСТЕМИ STARLINK

Явісія В.С., Лисенко О.І.

*Навчально-науковий інститут телекомунікаційних
систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: yavisya42@gmail.com*

USING THE CONCEPT OF DISTRIBUTED SATELLITE FOR BUILDING THE SPACE SEGMENT OF THE STARLINK SYSTEM

The architecture of the Starlink system ensures the presence in orbit of tens of thousands of expensive satellites, which fail quite often. At the same time, all satellite equipment is lost, even if it is working. To reduce such losses, it is suggested to use the approach of a distributed structure of society.

Останніми роками відбувається справжня космічно-технологічна революція під назвою Starlink. До недавнього на навколоземній орбіті не було жодного супутника системи, але на сьогодні це одна з найбільших систем супутникового зв'язку (ССЗ). Попри те, що системі ще дуже далеко до завершення розгортання, вона вже функціонує та поступово змінює наш світ, зокрема допомагаючи Україні протистояти повномасштабному російському вторгненню [1].

Наразі архітектура системи Starlink складається з трьох основних компонентів: угруповання супутників на низьких орбітах, мережі наземних станцій, а також терміналів користувачів.

Абсолютна більшість супутників Starlink розміщена на орбітах висотою 540-550 км, що значно зменшує затримку сигналу до кінцевого споживача. Другий етап розвитку системи передбачає створення ще одного сузір'я з 7518 апаратів, які будуть розміщені на орбітах висотою 330-350 км. Ці супутники працюватимуть у V-діапазоні [1].

У перспективі компанія SpaceX планує збільшити кількість активних супутників до 42 тисяч. Це величезна цифра. Але, враховуючи успіхи SpaceX у здешевленні вартості запусків та серійного виробництва апаратів, вона вже не виглядає такою неймовірною, як лише кілька років тому.

Супутники Starlink, як і всі інші штучні супутники, піддаються постійному впливу різноманітних факторів, які пришвидшують їх деорбітацію. Так, наприклад, ще в лютому 2022 року 40 супутників Starlink пошкодила потужна геомагнітна буря.

Станом на березень 2024 року, Starlink вже запустила 5240 супутників, але в робочому стані перебувають не всі апарати. На сьогодні понад 570 супутників було знищено сонячними бурями та іншими проблемами [2].

Відмова апарату може відбутись через несправність або некоректну роботу

лише одного елементу певної системи. Це призводить до втрати решти іншого, а головне, справного обладнання, що розташовано на супутнику. З погляду на таку сумну статистику відмов, пропонується використати концепцію розподіленого супутника, згідно якої функціональні блоки кожної системи будуть знаходитись в фізично окремому корпусі [3]. Тоді великий супутник Starlink можна замінити угрупованням (кластером), що, наприклад, складається з декількох малих наносупутників (НС) формату CubeSat. Необхідна кількість НС обчислюється сотнями тисяч, тому промислове виробництво такої кількості апаратів може бути суттєво здешевлено і призведе до зменшення вартості космічного сегменту.

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 лазерного променя [4]. Склад кластеру пояснює рис.1.

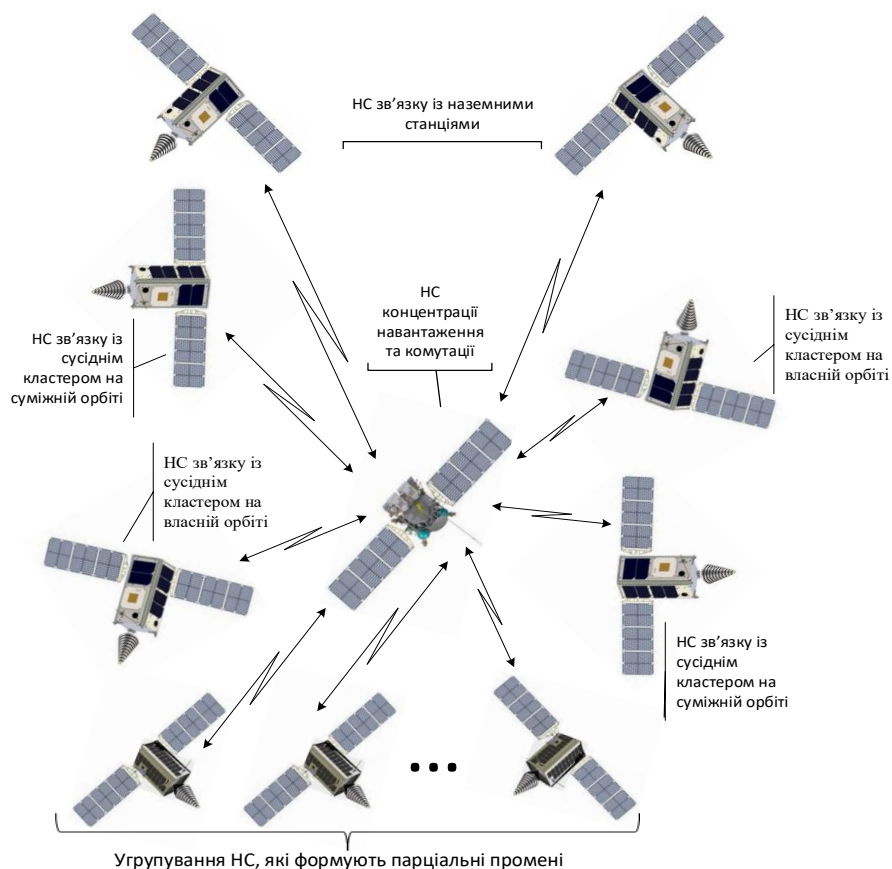


Рис.1. Склад кластеру із НС.

Приблизний склад НС угруповання може визначатися наступним чином.

Найбільша кількість НС буде призначена для зв'язку із абонентськими терміналами, НС даної категорії необхідні для формування парціальних променів, з яких утворюється певна зона покриття. Функцію концентрації і комутації навантаження всередині кластеру може 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 [5].

При такому підході втрата окремого НС не призведе до відмови всього кластеру, скоріш за все відбудеться незначне погіршення окремих показників (зменшення пропускної спроможності або зменшення кількості терміналів, які обслуговуються), тоді як при використанні великих супутників можлива повна втрата функціоналу, який виконує такий апарат. Оскільки функціонування ССЗ Starlink передбачає періодичний запуск на орбіту нових носіїв з супутниками для оновлення угруповання, згодом втрачений НС можна замінити новим і таким чином відновити функціонал кластеру.

За рахунок використання розподіленого супутника ефективність супутникового сегменту на базі НС виявляється значно вищою у порівнянні із існуючими ССЗ. Окрім того, запропоноване рішення в цілому підвищує 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 [6]. Немаловажним є і той факт, що з'являється можливість поетапного оновлення космічного сегменту. Використання НС вирішить проблему космічного сміття, оскільки НС будуть знаходитись на низькій орбіті та по закінченні своєї місії будуть повністю згорати в земній атмосфері.

Література

1. Starlink. Як влаштована система глобального супутникового інтернету. <https://universemagazine.com/starlink-yak-vlashtovana-systema-globalnogo-suputnykovogo-internetu>.
2. Starlink. https://uk.wikipedia.org/wiki/Starlink#cite_note-178.
3. Низькоорбітальна супутникова система інтернету речей на базі розподіленого супутника / Ільченко, М.Ю., Наритник, Т.М., Присяжний, В.І., Капштик, С.В., Матвієнко, С.А. / Космічна наука і технології. 2020, №4 (125): с.57-85 / <https://doi.org/10.15407/knit2020.04.057>.
4. Monitoring System and Fixed Communication on the Basis of Nanosatellites. Lysenko, A., Yavisya, V., Alekseeva, I., Tureichuk, A. 2018 International Scientific-Practical Conference on Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2018 - Proceedings, 2019, pp. 495–498, 8632097.
5. Approach to building a national satellite communications system. Sparavalo, M., Yavisya, V., Lysenko, A., Tureichuk, A. 2019 International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics, UkrMiCo 2019 - Proceedings, 2019, 9165399.
6. Concept of Construction of Satellite Communication and Navigation System clear Space. Tachinina, O.M., Lysenko, O.I., Yavisya, V.S., Alekseeva, I.V. 2020 IEEE 6th International Conference on Methods and Systems of Navigation and Motion Control, MSNMC 2020 - Proceedings, 2020, pp. 110–113, 9255538.