УДК: 629.78

В.П. Харченко, доктор технічних наук (ННАЦ НАУ)
Р.В. Радутний (ННАЦ НАУ)
О.Г. Кириченко (ННАЦ НАУ)
Є.Ю. Коваленко, к.т.н., доценнт (НТУУ "КПІ")
Д.В. Бібік, науковий співробітник (НТУ "ХПІ")

Кубсат ДЗЗ з високою роздільною здатністю

Пропонується концепція кубсата ДЗЗ нетрадиційної конструкції, оптична частина якого виконана по схемі телескопа Кассегрена. Кубсат також може служити пасивним ретранслятором.

На поточний момент супутники дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), зокрема, супутники оптичної розвідки, являють собою одне з найактуальніших використань космічних технологій. Розвиток їх, однак, стримується кількома факторами. Вимоги щодо збільшення роздільної здатності вимагають збільшення розмірів оптичних систем супутника. Розміри та маса оптичних систем, в свою чергу, диктують збільшення розмірів та маси конструкції супутника, що призводить до неможливості запуску супутника як попутного навантаження. Пуск же супутника оптичної розвідки як основного навантаження збільшує і без того високу вартість такого супутника на вартість ракети-носія.

Так, наприклад, супутники оптичної розвідки серії Misty мали масу близько 19 000 кг. Перший супутник серії було запущено за допомогою багаторазового космічного корабля Space Shuttle, що збільшило його вартість ще на 400-500 млн. доларів, другого – за допомогою також недешевої важкої ракети-носіїв. Таким чином, при загальних витратах на програму близько 9.5 млрд. доларів США вартість кожної місії складає більше 4 млрд. доларів США.

В результаті супутники оптичної розвідки є одними з найдорожчих виробів космічної галузі, запускаються не так часто, як диктують вимоги кінцевих користувачів, відповідно, не можуть обстежувати задані райони з частотою, яка задовольнила б кінцевих користувачів.

Виходом з такого тупика є запуски пакетів дешевих супутників ДЗЗ, з розведенням їх по орбіті таким чином, щоб вони пролітали над заданим районом по черзі. Розмістивши такі супутники на низькій орбіті, можна зменшити відстань від супутника до об'єкта зйомки, що дозволило б збільшити якість та роздільну здатність зображень.

Низька орбіта, однак, означає, що час існування супутника буде обмежений місяцями, тижнями, днями або навіть годинами. З одного боку це безумовно мінус, з іншого – навпаки, нові можливості. Так, обмежений час існування дозволяє різко зменшити вимоги до системи живлення, радіаційній

стійкості електроніки, ресурсу двигунів системи орієнтації та інших компонентів, що, в свою чергу, дозволяє зменшити вартість виробу.

Таким чином, вимальовується абрис космічного апарату нового покоління – мініатюрного дешевого кубсата ДЗЗ з коротким часом існування, використанням масових, доступних на цивільному ринку компонентів; кубсата, який може бути виведений на орбіту як попутний вантаж або за допомогою недорогої ракети-носія легкого чи навіть надлегкого класу.

Очевидно, що в габарити кубсата не впишеться оптична схема традиційної конструкції. Це приводить до висновку про необхідність використання схеми, в якій можуть бути використані розкладні елементи, наприклад, дзеркала. Найбільш перспективною в цьому плані видається схема Кассегрена.

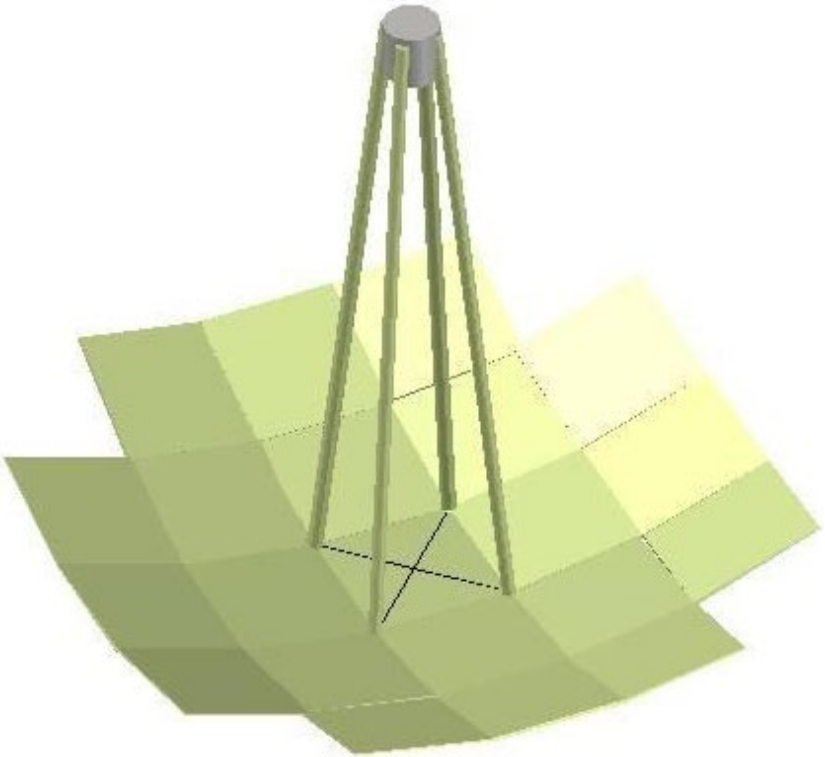
Розкладне дзеркало може складатися з сегментів. Форма та розміри кубсата диктують розмір сегмента – це має бути квадрат розміром 100х100 мм, 100х200 мм або 100 на 300 мм, відповідно до стандартів кубсатів U1, U2, U3. На думку розробників, оптимальним є вибір стандартів U2 та U3. Цей стандарт дозволить вписати дзеркало максимального розміру і водночас не надто ускладнити кінематику розкладної конструкції дзеркала.

Площа дзеркала кубсата, виконаного в форматі U2 складає 0.21 кв.м, що приблизно еквівалентно діаметру круглого дзеркала 0.54 м, а кубсата, виконаного в стандарті U3 — відповідно, діаметру 0.6-0.7 м, що значно переважає аналогічні показники інших кубсатів ДЗЗ й наближається до показників деяких “повноцінних” супутників ДЗЗ.

Так, наприклад, діаметр дзеркала супутника GeoEye-1 складав 1.1 м, при тому, що сам космічний апарат має масу 1955 кг, довжину 4.35 м, а запуск було здійснено окремим пуском ракети-носія Delta-2[11].

Також передбачено чотири опори для розміщення блока управління. Блок управління містить камеру, блок управління камерою, блок зв'язку та інші блоки. У разі використання адаптивної оптики до кожного сегмента дзеркала можуть бути прикріплені струни для зміни кривизни. Силові приводи для натягування струн можуть бути електромагнітні або п'єзоелектричні.

Зовнішній вигляд отриманої конструкції показано на мал.1.



Мал. 1. Схема кубсата ДЗЗ в стандарті U2 (в розкладеному вигляді)

Вся конструкція композитна. Композитні матеріали нестійкі до впливу космічних факторів, зокрема вакууму та сонячної радіації, однак з огляду на недовгий час існування супутника таке рішення є прийнятним.

Дзеркало також виконане з композитного матеріалу з металевим напиленням. Це дозволяє використати його не лише для фокусування зображення на об'єктиві камери, але й для фокусування радіохвиль системи зв'язку.

Тильний бік дзеркала покритий являє собою сонячну батарею, площа якої дорівнює площі дзеркала. При типовій для низької навколоземної орбіти інсоляції у 1367 Вт/кв.м та з урахуванням типового ККД недорогих фотовольтаічних елементів у 10% це дозволяє отримати близько 38 Вт, чого цілком достатньо для стабільного функціонування як камери, так решти електронних блоків. Під час проходження космічного апарата в тіні Землі

електроніка живиться від акумулятора, а камера вимикається для економії енергії.

Груба орієнтація космічного апарата здійснюється за рахунок форми. Очікується, що рештки атмосфери на низьких орбітах будуть давати достатній опір для того, щоб орієнтувати супутник дзеркалом назад, а гравітаційна стабілізація орієнтуватиме його камерою донизу. Точну орієнтацію планується здійснювати за допомогою магнітного поля Землі.

Параболічне дзеркало супутника робить можливим використання його як пасивний ретранслятор, причому навіть на затіненій частині орбіти.

Такі супутники можуть регулярно запускатися як попутник вантаж.

Але, на думку розробників, оптимальною орбітою для таких супутників є нетипова для інших космічних апаратів орбіта висотою 200-250 км. Для запуску на таку орбіту пропонується модульна ракета-носій легкого класу "Гроно", яка розробляється в Науково-Навчальному Аерокосмічному Центрі Національного авіаційного університету України. У разі використання РН "Гроно" на НКО може бути виведено до 12 кубсатів кубсатів стандарту U3, а також блок розведення. Більш детально проект "Гроно" буде описаний в іншій публікації.

Висновки: описана схема кубсата можлива, працездатна, і являє собою нове слово в цій галузі. Створення та серійне виробництво кубсатів ДЗЗ дозволило б покрити потреби України в отриманні супутникових зображень високої роздільної здатності як для мирних, так і для військових цілей.

Список літератури

1. Мележик О. Космос – Україні // Вісник НАН України – 2014 – № 12 – С. 58–61.
2. Козлова Т., Вольвах В., Собчук М. Аналіз використання супутників дистанційного зондування Землі // Наукоємні технології - 2016 - Т.29 - № 1 – С. 91-95.
3. Попов М., Топольницький М., Подліпаєв В. Видова космічна розвідка в локальних військових конфліктах // Наука і оборона - 2015 - № 1 - С. 25-35.
4. Гудзенко А. Тенденции развития малых космических аппаратов дистанционного зондирования Земли // Проблеми інформатизації та управління: зб. наук. пр. – Київ, НАУ - 2013 – Вип. 1 (41) – С. 18-25.
5. CubeSat 101: Basic Concepts and Processes for First-Time CubeSat Developers
https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/nasa_csli_cubesat_101_508.pdf
6. Храмов Д. Миниатюрные спутники стандарта «CubeSat» // Космічна наука і технологія - 2009 - Т. 15 - № 3 - С. 20-31.
7. Rassamakin B., Ducheiko M., Bayskov N., Ostapchuk S., Lauch A., Lanevsky E., Hominich V., Melnyk R., Starovit I. Nanosatellites of the PolyITAN series: results of experiments and prospects for development // Conference: X International

Scientific Conference “Functional Basis of Nanoelectronics”, Odesa, September 2019 - P. 164-173.

8. V. Yu. Terebizh. Optimal Baffle Design in a Cassegrain Telescope // Experimental Astronomy - 2001 - 11 (1) - P. 171-191.

9. Mohammed Zeeshan, Deshmukh R.R, Syed Shafiuddin. An overview of different optical remote sensing techniques // International Journal of Engineering and Advanced Technology - 2017 - March 2017 - P. 181-183.

10. M. S. Wong, X. Zhu, S. Abbas, C. Y. T. Kwok, M. Wang. Chapter 20. Optical remote sensing // Urban Informatics, April 2021 - P. 315-344.

11. GeoEye-1, https://www.eoportal.org/satellite-missions/geoeye-1

12. SkySat (constellation of high-resolution Earth imaging satellites from the Planet)
https://earth.esa.int/eogateway/missions/skysat