

СУЧАСНІ НИЗЬКООРБІТАЛЬНІ УГРУПОВАННЯ КОСМІЧНИХ АПАРАТІВ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ З ВИКОРИСТАННЯМ РАДАРІВ ІЗ СИНТЕЗОВАНОЮ АПЕРТУРОЮ

Інститут технічної механіки

Національної академії наук України і Державного космічного агентства України,
вул. Лешко-Попеля, 15, 49005, Дніпро, Україна; e-mail: oksana.volosheniuk@gmail.com

Мета роботи полягає у визначенні сучасних тенденцій розвитку низькоорбітальних угруповань космічних апаратів (КА) з використанням радарів із синтезованою апертурою (SAR), що мають ряд суттєвих переваг у дистанційному зондуванні Землі (ДЗЗ). Показано, що в усьому світі продовжує зростати попит на дані ДЗЗ, продукти і сервіси на їх основі. Розглянуто принципові можливості використання радарів із синтезованою апертурою у ДЗЗ. Показано основні відмінності й переваги отримання зображень за допомогою КА із SAR у порівнянні з оптичними КА. Визначено основні напрямки використання низькоорбітальних КА ДЗЗ, що несуть радіолокаційні прилади із SAR. Показано, що огляд земної та водної поверхні за допомогою КА із SAR є одним із найефективніших методів ДЗЗ. Зокрема, показано ефективність використання низькоорбітальних угруповань КА у вирішенні багатьох завдань соціально-економічної галузі та завдань, націлених на постійний оперативний моніторинг різних об'єктів. Розглянуто характеристики різних, в тому числі комерційних, низькоорбітальних угруповань КА ДЗЗ, виведених на орбіту протягом останнього десятиріччя. Розкрито проблеми та перспективи розвитку низькоорбітальних угруповань КА із SAR. Проведено огляд діючих та запланованих угруповань КА із SAR з традиційними технологіями та технологіями мініспутникових платформ. Показано, що технічні характеристики продовжують удосконалюватись, з'являється можливість отримувати дані з будь-якого району Землі у будь-який час. Показано, що малі КА на низьких і наднизьких орбітах мають значні переваги перед традиційними КА за енергетичними характеристиками, але програють їм у тривалості сеансів зв'язу та часі активного існування. Отримані результати дають можливість виробити рекомендації щодо проектування низькоорбітальних угруповань вітчизняних КА ДЗЗ, зокрема створення моделей і алгоритмів визначення параметрів необхідних орбіт, моделей динаміки КА.

Ключові слова: дистанційне зондування Землі, низькоорбітальні угруповання космічних апаратів, радіолокаційні прилади із синтезованою апертурою, просторова роздільна здатність, ширина смуги захвату, сцена, частота переглядів.

1. Дворкин Б. А., Дудкин С. А. Новейшие и перспективные спутники дистанционного зондирования Земли. Геоматика. 2013. № 2. С. 16–36.
2. Данилова Т. Д., Нафиева Е. Н., Тарасова П. Д. Итоги запусков космических аппаратов ДЗЗ в 2018 г. и дальнейшие перспективы. Геопроби. 2019. № 1. С. 16–19.
3. Бакланов А. И. Новые горизонты космических систем оптико-электронного наблюдения Земли высокого разрешения. Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы. 2018. № 3. С. 17–28. <https://doi.org/10.30894/issn2409-0239.2018.5.3.17.28>
4. Волошенко О. Л. Світові тенденції розвитку низькоорбітальних космічних систем оптико-електронного спостереження Землі. Технічна механіка. 2020. № 3. С. 39–53. <https://doi.org/10.15407/itm2020.03.039>
5. Moreira A., Prats-Iraola P., Younis M. A Tutorial on Synthetic Aperture Radar. IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine. 2013. V. 1, № 1. Р. 6–43. <https://doi.org/10.1109/MGRS.2013.2248301>
6. Лысенко А. А., Улыбышев С. Ю. Методика орбитального построения спутниковой системы для решения задачи оперативного глобального мониторинга. Инженерный журнал: наука и инновации. 2017. № 11. С. 9. URL: <http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2017-11-1699>. <https://doi.org/10.18698/2308-6033-2017-11-1699>
7. Неронский Л. Б., Михайлов В. Ф., Брагин И. В. Микроволновая аппаратура дистанционного зондирования поверхности Земли и атмосферы. Радиолокаторы с синтезированной апертурой антенны. 1999. С. 177.
8. Фомин А. Н., Тяпкин В. Н., Дмитриев Д. Д., Андреев С. Н., Ишук И. Н., Купряшкин И. Ф., Гречкосеев А. К. Теоретические и физические основы радиолокации и специального мониторинга. Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2016. 292 с.
9. TDX (TanDEM-X: TerraSAR-X add-on for Digital Elevation Measurement). URL: <https://earth.esa.int/web/eoportal/satellite-missions/t/tandem-x> (accessed 16.12.2021).
10. Леухин А. Н., Безродный В. И., Воронин А. А. Дистанционное зондирование Земли с помощью радиолокаторов с синтезированной апертурой антенны. Учен. зап. Казан. Ун-та Сер. Физ.-матем. науки. 2018. Т. 160, кн. 1. С. 25–41.
11. Paek S. W., Balasubramanian S., Kim S., De Weck O. Small-Satellite Synthetic Aperture Radar for Continuous Global Biospheric Monitoring: A Review. Remote Sensing. 2020. V. 12, № 16. P. 31. <https://doi.org/10.3390/rs12162546> (accessed 18.12.2021). <https://doi.org/10.3390/rs12162546>
12. Cosmo-SkyMed (Constellation of 4 SAR Satellites). URL: <https://earth.esa.int/web/eoportal/satellite-missions/c-missions/cosmo-skymed> (accessed 24.12.2021).
13. AOSCS for TanDEM-X Formation flight at 200m separation in low-Earth orbit. URL: <https://elib.dlr.de/67867/1/Man204529.pdf> (accessed 26.12.2021).
14. What is the RCM? URL: <https://asc-csa.gc.ca/eng/satellites/radarsat/what-is-rcm.asp> (accessed 24.01.2022).

15. Observing Systems Capability Analysis and Review Tool (OSCAR). URL: <https://space.oscar.wmo.int/satellites/> (accessed 23.01.2022).
16. New Space Index. Concise original overview of commercial satellite constellations, small satellite rocket launchers and NewSpace funding options. URL: <https://www.newspace.im/> (accessed 24.02.2022).
17. NovaSAR-S. URL: <https://www.sstl.co.uk/Missions/NovaSAR-S/NovaSARS/NovaSAR-S-Small-satellite-Synthetic-Aperture-Radar> (accessed 24.02.2022).
18. *Filippazzo G., Dinand S.* The Potential Impact of Small Satellite Radar Constellations on Traditional Space Systems. 5th Federated and Fractionated Satellite Systems Workshop. Toulouse, France, 2017. P. 12.
19. *Голов Н. А., Усачов В. А., Корянов В. В., Топорков А. Г.* Перспективные технологии создания космического комплекса радиолокационного зондирования Земли на базе малых космических аппаратов и ракет-носителей легкого класса. Инженерный журнал: наука и инновации. 2019. № 5. С. 20. <https://doi.org/10.18698/2308-6033-2019-5-1881>
20. *Peral E. et al.* Radar Technologies for Earth Remote Sensing from CubeSat Platforms. Proceedings of the IEEE. 2018. V.106, № 3. P. 404–418. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2018.2793179>
21. Monitor Any Location On Earth In Near Real-Time. URL: <https://www.iceye.com> (accessed 25.02.2022).
22. SAR Constellation Technical Specs. URL: <https://umbra.space/sar-specs> (accessed 26.02.2022).
23. Capella X-SAR (Synthetic Aperture Radar) Constellation. URL: <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/content/-/article/capella-x-sar> (accessed 26.02.2022).

Отримано 22.05.2022,
в остаточному варіанті 09.06.2022