

Удосконалення електронної платформи та випробування льотної моделі університетського наносупутника PolyITAN-3- PUT формату Cubesat для пошуку природних ресурсів Землі

Improvement of the electronic platform and testing of the flight model of the university nanosatellite PolyITAN-3-PUT format Cubesat for the search for natural resources of the Earth

1. **Номер державної реєстрації** : 0122U001856,
2. **Науковий керівник** Анатолій ДЕМЧИШИН, к.т.н., Anatoliy DEMCHYSHYN, PhD
3. **Суть розробки**, основні результати. (*укр., англ.*).

Роботу присвячено удосконаленню підсистем та випробуванню університетського наносупутника (НС) формату Cubesat шляхом розробки, моделювання та дослідження службових підсистем для забезпечення корисного навантаження - оптико-електронного сканера зі здатністю зйомки поверхні Землі в видимому діапазоні світла з розрізненням від 15м до 30 м при функціонуванні його на орбіті з висотою від 400 км до 700 км, силами студентів, магістрантів, аспірантів та наукових співробітників КПІ ім. Ігоря Сікорського.

В контексті роботи отримано наступні основні результати:

- розроблено блок узгодження передавальної радіоапаратури С-діапазону Познанського технічного університету (Польща) та електронної плати процесору НС, що є прикладом успішного міжнародного співробітництва;

- створено математичну модель інтегрування траєкторії польоту НС з використанням вимірювань GPS/GALILEO координат, що дало можливість розраховувати маневр для наведення ОЕС НС на точку зйомки на рівні світових аналогів;

- розроблено і реалізовано програмно-апаратний комплекс оптично-електронної системи НС із застосуванням процесору з рівнем споживання потужності менше семи Ват, що є на рівні найновіших світових напрацювань. Час виходу на операційний режим складає не більше 180 с, швидкість захвату кадрів складає не менше 1 кадру/с, розрахункове розрізнення зображення на висоті 400 км складає не гірше 34 м на піксель;

- удосконалено конструкцію сонячних батарей з фотоелементами на основі арсенід галієвих шарів за рахунок оптимізації підключення фотоелементів та розводки плат, що дало змогу зменшити втрату енергії та покращити орієнтацію супутника. Проведено виготовлення сонячних панелей та їх монтаж. Виміряне ККД склало більше за 30.7% (при проєктному-27%).

- розроблено модель теплового стану НС, яка демонструє циклічний нагрів і охолодження зовнішніх елементів НС від мінус 30°C до плюс 50°C; при цьому температурний режим активованих систем всередині НС варіюється від 0°C до 90°C. Теплова модель підтверджена результатами термовакуумних випробувань, які показали відмінність в межах $\pm 10\%$.

The work is aimed on the improvement and testing of the subsystems of the university nanosatellite (NS) of Cubesat format through the development, modeling and research of service subsystems to ensure the payload - an optical-electronic scanner with the ability to image the Earth's surface in the visible light range with the resolution of 15m to 30m when operating in orbit with an altitude from 400 km to 700 km, by the efforts of students, master's students, post-graduate students and research staff of Igor Sikorsky Kyiv polytechnic institute.

In the context of the work, the following main results have been obtained:

- a coupling hardware and software interface between C-band receiver-transmitter developed by Poznań University of Technology (Poland) and electronic processor of the nanosatellite has been developed, which demonstrates a successful international scientific cooperation.

- a mathematical model was created for integrating the trajectory of the NS using GPS/GALILEO coordinates, which made it possible to develop a maneuver to guide the NS's optical electronic system at the imaging point on the level of world analogues;

- the hardware-software complex of the optical-electronic system of the NS was developed and implemented using a processor with power consumption of less than seven watts, which is on par with the latest world technologies. The time to enter the operating mode is no more than 180 s, the frame capture rate is no less than 1 frame/s, the estimated resolution of the image at an altitude of 400 km is no worse than 34 m per pixel.

- The design of solar batteries with photocells based on gallium arsenide layers has been improved by means of optimization of the connection of photocells and board layout, which made it possible to reduce energy loss and improve satellite orientation. The manufacturing and installation of solar panels was carried out. The measured efficiency was more than 30.7% (while planned - 27%).

- a model of the thermal state of the NS has been developed, which demonstrates the cyclic heating and cooling of the external elements of the NS from minus 30°C to plus 50°C; at the same time, the temperature regime of the activated systems inside the NS varies from 0°C to 90°C. The thermal model is confirmed by the results of thermal vacuum tests, which showed a difference within ±10%.

4. **Наявність охоронних документів** на об'єкти права інтелектуальної власності (*заявка на патент, патент, свідоцтво на авторське право*).

Заявка на патент:

- Дзеркально-лінзовий об'єктив. МПК (2023.01) G02B 17/08; G02B 17/02; G02B 13/14 / В.М. Сокурєнко, О. М. Сокурєнко; Заявник: Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». – № а 2023 04339.

заявки на свідоцтво на авторське право:

- Програмний застосунок моделювання зубчастих коліс системи фокусування об'єктиву наносупутника / А. А. Демчишин, Б.М. Рассамакін; Заявник: Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». –№ с202307972. заявл. 22.11.2023

- Програмний застосунок видалення шуму матриці з масивом кольорових світлофільтрів Баєра / А. А. Демчишин, Б.М. Рассамакін; Заявник: Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». – № с202307973. заявл. 22.11.2023

5. **Порівняння зі світовими аналогами**

Сьогодні провідні навчальні заклади світу мають програми зі створення університетських наносупутників. Серед цих Вищих Навчальних Закладів є: університет Токіо (низка наносупутників «XI-VI (V)») [1]; Берлінський технічний університет («Beesat») [2]; технологічний університет міста Делфт; Нідерланди («Delfi-C3») [3, 4]. («Delfi-C3»). Студенти з Colorado Space Grant Consortium (COSGC) у співробітництві з Lockheed Martin розробили мініатюрний супутник, відомий як ALL-STAR (3U) (дозвільної здатності зйомки – до 50 м, на висоті орбіти 600 км) -<http://www.ecoruspace.me/ALLSTAR.html>. [5]

Aalto 1 це 3U кубсат, який був побудований фінським університетом Aalto. Супутник зібраний студентами в рамках освітнього проекту. Завданнями космічного апарата є: розробка першого фінського супутника ДЗЗ. (дозвільної здатності зйомки - 120...150 м, на висоті орбіти 700 км) - <http://www.ecoruspace.me/Aalto+1.html>. [6]

Фірма Планета Labs, Inc., заснована в Каліфорнії, є провідною в проектах з дистанційного зондування Землі **тільки на висотах 380-420 км** і має в експлуатації декілька десятків дуже малих супутників - платформи складаються з наносупутників стандарту Cubesat формату 3U. Блок корисного навантаження має можливість отримувати зображення з роздільною здатністю – від 50 до 8 метрів, що досить для застосування при екологічному моніторингу, виявленні змін на поверхні Землі та інших додатках.

№	Повні дані про статті
1	Наносупутники CubeSat XI-IV - <i>Mass</i> : 1.00 kg (2.20 lb). <i>Nation</i> : Japan . <i>Agency</i> : Tokyo . <i>Class</i> : Technology . <i>Type</i> : Navigation technology satellite. <i>Spacecraft</i> : Cubesat . <i>USAF Sat Cat</i> : 27848 . <i>COSPAR</i> : 2003-031J. <i>Apogee</i> : 833 km (517 mi). <i>Perigee</i> : 818 km (508 mi). <i>Inclination</i> : 98.7000 deg. <i>Period</i> : 101.40 min. <i>Summary</i> : Cubesat XI carried technology tests for the University of Tokyo. http://www.astronautix.com/c/cubesat.html
2	Наносупутники BEESAT - <i>Mass</i> : 1.00 kg (2.20 lb). <i>Nation</i> : India . <i>Class</i> : Technology . <i>Type</i> : Technology satellite. <i>Spacecraft</i> : Cubesat . <i>COSPAR</i> : 2009-051. <i>Summary</i> : Cubesat from Technische Universitat Berlin, Germany. http://www.astronautix.com/b/index.html
3	Наносупутники Delfi-C3 - <i>Nation</i> : Netherlands . <i>Agency</i> : ISRO . <i>Class</i> : Technology . <i>Type</i> : Navigation technology satellite. <i>Spacecraft</i> : Cubesat . <i>USAF Sat Cat</i> : 32789 . <i>COSPAR</i> : 2008-021G. <i>Apogee</i> : 636 km (395 mi). <i>Perigee</i> : 614 km (381 mi). <i>Inclination</i> : 98.0000 deg. <i>Period</i> : 97.20 min. <i>Summary</i> : http://www.astronautix.com/b/index.html
4	<i>Наносупутники Technical University of Delft nanosat.. Turn-key CubeSat and nanosat missions</i> http://www.isispace.nl/satellite-solutions/
5	Hands on education through student-industry partnerships - Jessica Brown, Lockheed Martin Space Systems Company; Mark Wolfson, Lockheed Martin Space Systems Company. http://www.ecoruspace.me/ALLSTAR.html
6	Разработка первого финского спутника Д33. http://www.ecoruspace.me/Aalto+1.html
7	Results from the Planet Labs Flock Constellation / Christopher R. Boshuizen, James Mason, Pete Klupar, Shannon Spanhake Planet Labs Inc.: 28th Annual AIAA/USU Conference on Small Satellites, 2014. http://www.ulalaunch.com/28th-annual-aiaausu-conference-on-small-sats.aspx

Порівняння характеристик підсистем наносупутників різних виробників:

- кількість каналів наносупутника PolyITAN-3-PUT НТУУ "Київський політехнічний інститут" - 24 (аналогі: SSBV(Aerospace & Technology group) -12, SSTL(SGR-07) (Surrey Satellite Technology Ltd) -12);
- кількість антен PolyITAN-3-PUT - 2 (аналогі: SSBV(Aerospace & Technology group) -1, SSTL(SGR-07) (Surrey Satellite Technology Ltd) -1);
- похибка визначення швидкості PolyITAN-3-PUT - 0.05м/с (аналогі: SSBV (Aerospace & Technology group) 0.25 м/с (2σ), SSTL(SGR-07) (Surrey Satellite Technology Ltd) -0.15м/с);
- похибка визначення висоти PolyITAN-3-PUT - 5 м (типове 3 м) (аналогі : SSBV (Aerospace & Technol. group) 10 м (2σ), SSTL(SGR-07) (Surrey Satellite Technol. Ltd) -10 м).
- роздільна здатності зйомки PolyITAN-3-PUT дорівнює 34 м на висоті до 700 км – аналог наносупутник 3U Aalto 1 (<http://www.ecoruspace.me/Aalto+1.html>.) - дозвільної здатності зйомки - 120...150 м, на висоті орбіти 700 км.

6. Економічна привабливість для просування на ринок (*вартість реалізації проекту, терміни впровадження та окупності, показники*).

Вартість реалізації проекту з урахуванням запуску у виробництво та пуску на орбіту – 300000 євро. Термін впровадження – 1 рік. Окупність за рахунок продажу отриманих даних космічного сканування зацікавленим установам – 5 років.

7. Потенційні користувачі (*галузі, міністерства, відомства, підприємства, організації*).

Знімки, отримані НС PolyITAN-3-PUT можуть бути використані організаціями, що займаються дослідженнями та розробками в космічній галузі та геології, а саме: Національне космічне агентство України (НКАУ) та його підприємства; державне підприємство ДП «КБ Південне ім. М.К. Янгеля»; Національний центр аерокосмічної освіти молоді ім. А.М. Макарова, м. Дніпро; Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАНУ.

Розроблена платформа НС має інвестиційну привабливість завдяки переліченим характеристикам, і може бути використана організаціями, що займаються дослідженнями та розробками в космічній галузі в якості носія їх власних корисних навантажень, наприклад, для проведення малобюджетного космічного біологічного експерименту в рамках програми Біосат.

8. Стан готовності розробки (лабораторний або промисловий зразок, технічна документація, бізнес-план, готова до впровадження тощо із зазначенням технологічного рівня готовності (TRL))

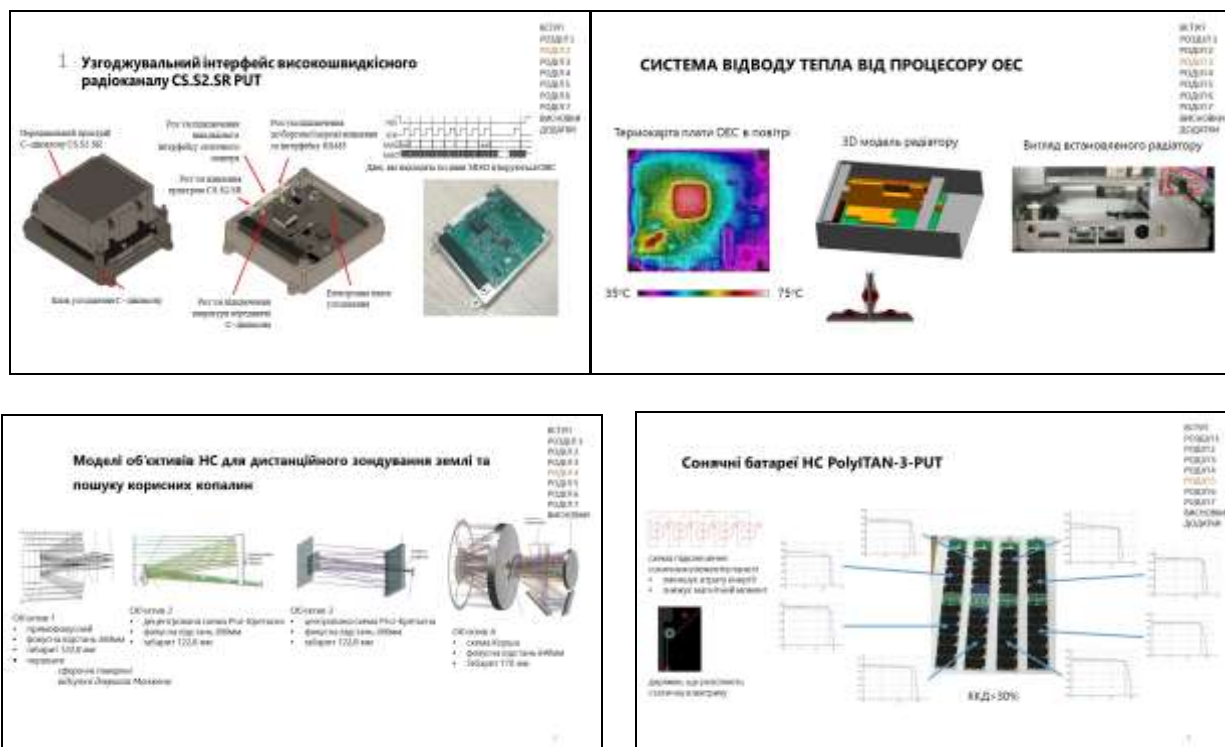
Підготовлено технічну документацію на підсистеми льотної моделі наносупутника. Розроблено та випущено дослідні зразки підсистем наносупутника, включаючи їх тестування в складі льотної моделі у робочому середовищі користувача (TRL6).

9. Існуючі результати впровадження.

На навколосезній орбіті вже запущено наносупутники PolyITAN-1 (запуск 2014р.), PolyITAN-2 (запуск 2016р), PolyITAN-3-HP30 (запуск 2022р), призначення яких – відпрацювання космічних технологій, вивчення складу та стану атмосфери, визначення ефективності відводу тепла від електронних елементів на основі теплових труб та радіаторів спеціальної форми.

10. Назва підрозділу, телефон, e-mail.

Науково-дослідна (експериментальна) лабораторія процесів в енергетичному обладнанні Навчально-наукового інституту атомної та теплової енергетики КПІ ім. Ігоря Сікорського, Тел. +380-44-2048098 e-mail tef@kpi.ua



11. Перелік публікацій за матеріалами досліджень за період виконання (**вагомі:** монографії, підручники, посібники, наукові статті, дисертації, інші публікації).

- Засоби вимірювання теплових потоків при термовакuumних дослідженнях та випробуваннях виробів космічної техніки / Ю. А. Поштаренко та ін.; Космічна наука і технологія. – Том 28(1). – 2022. – С. 51-60. <https://doi.org/10.15407/knit2022.01.051>

- Vertically-aligned pn junction Si solar cells with CdTe/CdS luminescent solar convertors / M Semenenko et al. *Thin Solid Films*, Volume 761, 1 2022, 139536.

- M.G. Dusheiko Silicon nanowire arrays synthesized using the modified MACE process: Integration into chemical sensors and solar cells / M.G. Dusheiko VM Koval, TY Obukhova // *Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics*. – 2022. – Vol. 25 (1). – P. 058-067

- Сенсори температури на основі кремнієвих нанониток, одержаних методом метало-стимульованого хімічного травлення / Я.О. Ліневич [та ін.] // Луцьк: Перспективні технології та прилади. – 2022. – Випуск 21. – С. 137-145. DOI 10.36910/10.36910/6775-2313-5352-2022-21-21

- Сокурєнко В. М., Сокурєнко О. М. Асферичні дзеркальні об'єктиви наносупутників для дистанційного зондування Землі та пошуку корисних копалин // Вісник Київського політехнічного інституту. Серія Приладобудування. – 2023. – № 65(1), с. 13-18. DOI: 10.20535/1970.65(1).2023.283200.

12. Надати ключові слова до розробки

НАНОСУПУТНИК, ДИСТАНЦІЙНЕ ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ, С-ДІАПАЗОН, СТІЛЬНИКОВА ПАНЕЛЬ, ТЕПЛОВА МОДЕЛЬ, BROADCOM, GPS, GALILEO